

Y se hizo la luz

VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA ELÉCTRICA

Francisco Manuel Hernández Acevedo



Secretaría de Educación Pública

Mtro. Aurelio Nuño Mayer

Secretario de Educación Pública

Dr. Rodolfo Tuirán Gutiérrez

Subsecretario de Educación Media Superior

Mtro. Daniel Hernández Franco

Coordinador Sectorial de Desarrollo Académico

Francisco Manuel Hernández Acevedo

Licenciado en Física por la UNAM.

Profesor de Ciencias en bachillerato; jefe de Departamento en la Coordinación Nacional del Servicio Profesional Docente, SEP.

Alejandra Pellicer

Coordinadora de la serie. Consejo para la Evaluación de la Educación del Tipo Medio Superior A.C. (COPEEMS)

Coordinación editorial

Oficina de Enlace de la Comunicación de la SEMS

DCG. Luz María Zamitiz Cruz

Diseño gráfico y editorial

Primera edición, 2016

Secretaría de Educación Pública

Subsecretaría de Educación Media Superior

Argentina Núm. 28 Col. Centro Histórico, Del. Cuauhtémoc

Ciudad de México.

Se permite la reproducción total o parcial del material publicado citando la fuente. Los textos son responsabilidad del autor y no reflejan necesariamente la opinión de la Subsecretaría de Educación Media Superior.



9



29



45



51



75



89



Índice

| | |
|--|-----------|
| I. Introducción | 9 |
| A. Contexto | 11 |
| i. Estudiantes | |
| ii. Intervención docente | |
| B. Estructura de la Propuesta Didáctica (PD) | 16 |
| C. Los propósitos de la PD | 23 |
| D. Enfoque didáctico de la PD. Enfoque práctico instrumental | 24 |
| II. Siglos XVIII y XIX. Mitología, literatura y ciencia | 29 |
| III. Preguntas generadoras | 45 |
| IV. Conceptos preliminares | 51 |
| A. Conceptos de Física | 53 |
| i. Trabajo mecánico o físico | |
| ii. Energía y energía potencial gravitacional | |
| iii. Carga eléctrica | |
| iv. Aislantes y conductores eléctricos | |
| B. Herramientas gráficas | 67 |
| C. Aritmética y Álgebra. Errores y orientaciones | 71 |

97



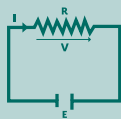
111



129



141



151



163



169



| | |
|--|------------|
| v. Actividad: el recibo de la luz | 75 |
| vi. Conexión histórica: ciencia, máquinas y producción | 89 |
| vii. Experimento: calentar dos kilos de agua | 97 |
| viii. ¿Más energía o más potencia? | 111 |
| ix. Ley de Ohm | 129 |
| x. Leyes de conservación | 141 |
| xi. Conclusiones | 151 |
| xii. Evaluación | 163 |
| xiii. Apéndices | 169 |
| A. Respuestas a los retos, problemas y preguntas | 171 |
| B. Uso de una hoja de cálculo | 173 |
| C. Bibliografía | 186 |





I. Introducción



Reflexiones sobre el quehacer del profesor de Física

“Vivimos en el seno de una sociedad que depende en forma profunda de la ciencia y la tecnología y en la que nadie sabe nada acerca de esas materias. Esto constituye una fórmula segura de desastre.”

Sagan, Carl (1997). El mundo y sus demonios.
México: Editorial Planeta, p.44.

A. El contexto

En su libro *Razas culturales*, Emilio Rosenblueth define la cultura como la forma de ser de los pueblos; las costumbres, las maneras de proceder y hacer, el lenguaje y los modismos particulares, las herramientas y sus usos, etcétera. En estos términos se puede afirmar que buena parte de la humanidad vive inmersa en la cultura de la *tecnología del silicio*,¹ sin lugar a dudas esto también es cierto para



una proporción grande de la población de nuestro país.

Hasta hace muy poco era habitual declarar que nuestra cul-

¹ Casi todos los circuitos integrados que constituyen los sistemas electrónicos de computadoras, automóviles, teléfonos, radios, tv,... están fabricados con silicio.



tura es tecno-científica, sin embargo, a pesar de que en la mayoría de los países del mundo amplios sectores de sus poblaciones son adeptos al consumo de dispositivos electrónicos (*gadgets*), la mayoría desconoce los procedimientos con los que se trabaja en ciencia; la gente disfruta de los desarrollos tecnológicos, pero al mismo tiempo ignora y no está interesada en saber y/o comprender los principios básicos para su fabricación (que no necesariamente son difíciles). Lo anterior tiene diversas consecuencias para las personas en lo individual, para las comunidades y para las sociedades en su conjunto en el corto, mediano y largo plazos.² La tecnología, su empleo y explotación en beneficio de unos pocos es un asunto muy grave como para delegar su cuidado a políticos, empresarios y expertos exclusivamente. Como consecuencia de lo anterior existe un consenso cada vez más amplio sobre la necesaria participación de las personas en asuntos que impactan en su vida, y para ello se requiere de un ciudadano “capaz de comprender que la sociedad controla la ciencia y la tecnología a través de la provisión de recursos, que usa conceptos científicos, destrezas procedimentales y valores en la toma de decisiones cotidianas, que reconoce las limitaciones así como las utilidades de la ciencia y la tecnología en la mejora del



² La tecnología, por comodidad y conveniencia, está diseñada justamente para que quien la emplea no requiera ningún conocimiento de cómo funciona.



bienestar humano, que conoce los principales conceptos, hipótesis, y teorías de la ciencia y es capaz de usarlos, que diferencia entre evidencia científica y opinión personal, que tiene una rica visión del mundo como consecuencia de la educación científica, y que conoce las fuentes fiables de información científica y tecnológica y usa fuentes en el proceso de toma de decisiones”.³

Es verdad que en estos últimos 150 años, como en ningún otro periodo de la historia, la ciencia ha establecido la agenda de la investigación y del desarrollo, ha impactado y transformado a la sociedad, no obstante, al mismo tiempo, la gente está decepcionada de la ciencia y de los científicos; muchos ven en la ciencia el mecanismo que aceleró o enfatizó las desigualdades sociales y/o creen que es la fuente de las calamidades que acontecen. Los estudiantes no son ajenos a estas ideas, los bachilleres las comparten parcialmente. Inclusive, ocasionalmente toman decisiones importantes (con altos costos personales) sin emplear criterios o conocimientos científicos, aun cuando es pertinente usarlos para decidir más juiciosamente. Es fundamental no perder de vista que los ámbitos de socialización de las generaciones más jóvenes provienen del Internet y de la TV (y su publicidad) y que de ellos adquieren la información que configura sus intereses, actitudes y concepciones y, aún más, que en estos ámbitos pululan ideas pre-científicas, pseudo-científicas o anticientíficas; además, en la TV se insiste machaconamente en descalificar lapidariamente al racionalismo.

En este contexto el profesor de Física tiene que intervenir para cumplir con una agenda de aprendizajes esperados. La tarea es muy compleja, sin embargo, como se explicará más adelante, se pueden emplear la información y los medios que los estudiantes usan en sus ámbitos de socialización para la enseñanza de la Física; es posible y deseable confrontar sus ideas previas y los conceptos científicos, es recomendable aprovechar las *Tecnologías de la Información y la Comunicación* (TIC) para interesarlos en la ciencia y, asimismo, es

³ Esta es la definición de una persona alfabetizada científicamente según la NSTA (*National Science Teachers Association*, 1982).



necesario consignar que la tv abierta, más que cualquier otro medio (con muy pocas excepciones), es una fuente abundante de patrañas, pero esto también puede servir para la enseñanza de la Física.

Todo lo anterior corresponde al entorno de los estudiantes. Además, se identifican cuatro problemas genéricos en el ámbito de la enseñanza de la Física que deben señalarse, tener presentes y que pueden listarse y caracterizarse de la siguiente manera:

1. Los estudiantes no reconocen el valor social del conocimiento pues no encuentran un vínculo entre lo que deben aprender de los contenidos curriculares y la utilidad de éstos en su cotidianidad, tampoco pueden identificar el valor histórico del conocimiento, en tanto desconocen las soluciones a problemas prácticos que la ciencia ha otorgado. Es cierto que, por lo regular, los docentes omiten mostrar esta visión pragmática que es parte sustantiva de la ciencia. En este caso se pierde la oportunidad de usar el contexto histórico del desarrollo de los conceptos como un medio para generar interés en los contenidos de la asignatura. Finalmente, cuando se parte de una fórmula **$F=ma$** , por ejemplo, sin discutir ni dar indicios de su origen, de manera implícita se está presentando una concepción atemporal de la Física, con modelos imperecederos, abstractos, teóricos y parcialmente falsos.
2. Los estudiantes no comprenden ni reconocen la importancia de los métodos de la ciencia, en particular de la Física. Tampoco conocen ni construyen criterios para determinar qué temas y conceptos son susceptibles de ser investigados por la ciencia; no identifican qué procesos son válidos para determinar si una hipótesis científica es válida o no; emplean conceptos científicos, pseudo-científicos o pre-científicos dependiendo del contexto, éstos suelen ser contradictorios y los usan sin ningún conflicto por la falta de coherencia lógica.
3. Existen serios problemas en el uso de las Matemáticas para la elaboración de modelos en la Física. En primer lugar,



en general, no hay correspondencia de los contenidos de Matemáticas y Física. Asimismo, se emplea casi exclusivamente el álgebra como medio para modelar la Física (cuando es posible emplear otras herramientas) y con frecuencia no se distingue la herramienta matemática de los conceptos y de los fenómenos de la Física. En contraposición, aunque también significa un reto a resolver, es difícil que los estudiantes puedan atender una clase completa que sea únicamente un discurso conceptual sin la inclusión de “las fórmulas”; la experiencia señala que se sienten perdidos y que no pueden identificar qué es lo importante de dicho discurso; es común que al revisar sus apuntes ellos no hayan escrito nada o sólo reparen en los ejemplos que les resultan más significativos de la descripción fenomenológica. Los estudiantes entienden –y no está mal del todo– que el núcleo de los conceptos se presenta en las fórmulas, pero la importancia otorgada no se centra en el valor epistemológico de la fórmula (la modelación matemática contribuye a la comprensión del concepto), sino porque saben que una parte medular de la evaluación corresponde a ejercicios donde deben aplicarlas.

4. Nula o poca importancia al laboratorio de Física. No se emplea el laboratorio como una fuente de observaciones que sirvan para iniciar el desarrollo de un concepto o para confrontar ideas previas o para poner a prueba lo que se afirma en los diferentes medios en los que socializan. Tampoco se discute la relación entre la fenomenología y la construcción teórica y, en muchas ocasiones, se reproducen prácticas insustanciales y cuyos resultados son predecibles o que en el mejor de los casos sólo sirven para validar los desarrollos teóricos. Aunado a esto, hay que considerar que las evaluaciones se centran en los contenidos teóricos y no en los procedimientos experimentales; los estudiantes captan perfectamente el mensaje implícito, esto es, el laboratorio



no importa.

Hasta aquí se ha descrito el conjunto de dificultades que debe enfrentar un profesor de Física, son problemas genéricos del contexto de los estudiantes (en particular los estudiantes de bachillerato) y otros corresponden al quehacer dentro del aula en esta asignatura. Es verdad que no se mencionó, por ejemplo, la falta de material, equipo y condiciones adecuadas de los laboratorios de las escuelas, y se reconoce que no es un asunto menor, sin embargo, tal como se demostrará en el desarrollo de esta *Propuesta Didáctica* (PD), los experimentos sugeridos requieren material barato y que se puede conseguir con relativa facilidad.

B. La Estructura de la Propuesta Didáctica (PD)

A continuación se presenta un esquema (diagrama de flujo) de la PD de este fascículo.

Destaca de la imagen que en sentido estricto no es una secuencia (no es una sucesión de pasos) y que más bien corresponde al esquema de una estructura o entramado, esta es la razón por la que no se denominó *secuencia didáctica*. En el esquema se reconocen tres tipos de rectángulos y dos tipos de flechas. Los rectángulos corresponden al conjunto mínimo de apartados indispensables que se requiere para la comprensión de los conceptos que son el eje de esta propuesta; salvo el número VI, todos coinciden con un capítulo del fascículo. A su vez, el último rectángulo, denominado “Apéndices”, es necesario para poder llevar a cabo la evaluación final. Los óvalos son sólo algunos de los apartados complementarios y tienen diferente relevancia en la PD. Nótese que los óvalos están unidos a los rectángulos por flechas delgadas; la mayor relevancia la determina la doble punta de flecha. A su vez, las flechas gruesas indican la relación entre los recuadros básicos, las dos flechas significan que la relación es indisoluble. El recuadro sombreado es único y se refiere a las condiciones sin las cuales no se puede dar inicio a la PD propiamente dicha.



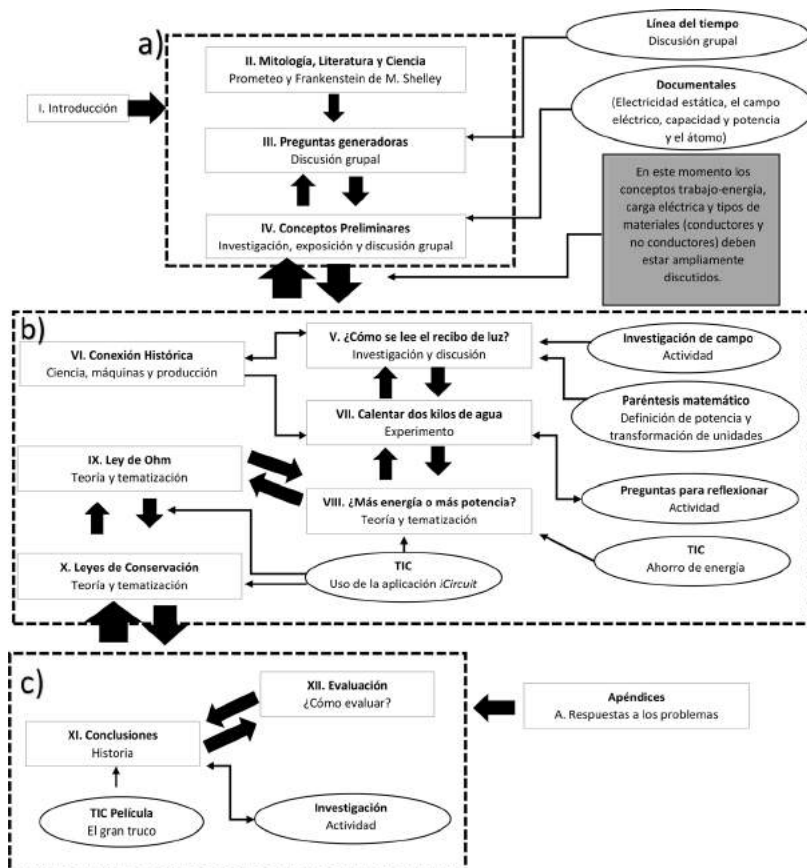


Figura 1

Esquema o diagrama de flujo de la propuesta didáctica (PD). Por simplicidad sólo se presentan los apartados básicos y algunos de los apartados complementarios

También hay tres rectángulos mayores que contienen a los rectángulos menores. Cada uno de ellos delimita las tres etapas de la PD. El inicio atañe al rectángulo a), el desarrollo al b) y el c) al cierre de la PD; es evidente que las etapas tienen diferente extensión y que el grueso de los quehaceres está en el desarrollo. A continuación se describe el contenido de algunos capítulos y de diversos apartados



¿Dudas sobre tu consumo de electricidad?
Resuélvelas en profeco.gob.mx/cfe.asp

Te brindamos la información más útil sobre el servicio que proporciona la **Comisión Federal de Electricidad**:

Cómo leer tu recibo de luz Aprende a descifrar de cabo a cabo todos los conceptos que aparecen en él.

¿Tu recibo llegó más caro de lo habitual? Un solo kilowatt basta para ser la diferencia. Te damos las razones por las que pudo incrementarse el cabo.

Cómo reducir el gasto eléctrico Consejos prácticos y efectivos para reducir tu consumo de energía y ahorrar dinero.

¿Qué es el programa "Luz Sustentable"? Si tu tarifa no es de alto consumo (DAC), el Gobierno Federal te canjeará cuatro focos incandescentes viejos por cuatro focos ahorradores nuevos, totalmente gratis.




 5508 8722
 01 800 468 8722

 Profeco


 SE

que se presentan a lo largo del fascículo.

- El primer capítulo se refiere al contexto histórico, abordado a través de la cultura de la época, en la que se desarrollan los conceptos de la Física que se tratan en el fascículo. Además, se incluye una lectura acerca de la evolución histórica de dichos conceptos.
- **Preguntas generadoras.** Son una lista breve de cuestionamientos sobre usos de conceptos del Electromagnetismo y que parten de observaciones cotidianas, de ideas comunes y/o de aplicaciones tecnológicas imprescindibles para la mayoría de los miembros de nuestra sociedad. La respuesta a estos planteamientos es la misión de los alumnos y es una parte fundamental de los propósitos didácticos. La otra parte es el método empleado para resolver dichas preguntas y que debe formar parte de la discusión en las



Conclusiones.

- **Conceptos preliminares.** Son el conjunto de conceptos técnicos de la Física y la Matemática que los estudiantes requieren para iniciar y llevar a cabo las actividades de la PD (y que en principio deben conocer). Se plantea que estos conceptos se aborden como parte de una investigación documental, de la discusión en clase con el docente y en respuesta a una batería de preguntas sobre dichos conceptos.
- **Desarrollo.** Es la realización organizada de las actividades (experimentos, prácticas de campo, investigaciones, etcétera) y el uso de herramientas (matemáticas, tecnológicas, documentales, etcétera) para responder las preguntas generadoras. El desarrollo está conformado por seis capítulos y por diversos apartados complementarios (véase la figura 1). Es posible clasificar las actividades en tres grupos: las que deben realizarse para la consecución de los propósitos, otras que pueden modificarse y llevarse a cabo y otras más que son prescindibles o son complementarias; el docente puede decidir cuáles usa y cuáles no, cuáles modifica, cuáles son demostrativas y cuáles encomienda a los estudiantes; inclusive, es posible que cambie el orden de presentación entre dos apartados básicos adjuntos que estén relacionados con dos flechas. Sin embargo, no puede perderse de vista que la Física es una ciencia experimental



y que por ello se requiere llevar a cabo *experimentos* y/o prácticas, cuantificar y medir y, con base en esto, poner co-tas a la certidumbre de la información recabada, se deben hacer cálculos, interpretar los resultados, discutir y exponer la información y las conclusiones derivadas de dichos experimentos. Este quehacer forma parte del desarrollo de los experimentos de la PD.

Asimismo, la modelación en ciencia, en particular en Física, hace uso de una amplia gama de herramientas matemáticas; tanto a nivel de representación de los resultados de los experimentos como de la validación de los mismos y/o como hipótesis de trabajo (se propone un modelo matemático que describe adecuadamente cómo cambian las variables cuantificables-medibles en un fenómeno particular). Todos los resultados que se obtienen con la herramienta matemática deben ser escrutados en términos de factibilidad y congruencia con la fenomenología; esto forma parte del análisis en el desarrollo de la PD.

- **Cierre.** Como ya se mencionó, la última etapa corresponde al cierre de la PD y consta de dos capítulos. El primero se avoca a las conclusiones y a una investigación. Los cuatro objetivos de esta etapa consisten en que los estudiantes: 1. En equipo o individualmente, elaboren un reporte con las conclusiones finales (en términos de las respuestas a las preguntas generadoras), 2. Expongan ante el grupo las conclusiones presentadas en su reporte final, 3. Discutan en clase, con la participación del docente, las conclusiones obtenidas por los equipos o personas y, 4. Discutan sobre el método empleado para la obtención de conocimiento (metacognición); en este punto la intervención docente es fundamental. Nótese que el nivel de intervención docente aumenta del primero al cuarto punto. Finalmente, esta sección incluye una propuesta de evaluación, para ello, se requiere usar la información del primer apéndice y los contenidos y resultados de las actividades que se realizan a lo



largo de toda la PD.

En la PD se incluyen recuadros al margen con diversos tipos de actividades e información. Los tipos más comunes se denominan *Actividad*, *Paréntesis*, *TIC* y *Nexos*. Su contenido se describe a continuación.

- **Actividad.** Estos apartados están conformados por preguntas, retos o problemas, experimentos y prácticas de campo. Estas últimas se corresponden con los *estudios de observación*, donde el alumno (investigador) no tiene el mismo control sobre las variables que en el caso de un experimento. Para el desarrollo de la PD es conveniente realizar las actividades de los recuadros, además de las actividades que forman parte de desarrollo de los capítulos, pues la evaluación final tiene como base el trabajo y los resultados de dichas actividades. Por otro lado, los experimentos están diseñados para llevarse a cabo en la casa, el aula o el laboratorio; y como ya se mencionó, con materiales baratos y que se pueden conseguir en una tlapalería. Finalmente, los experimentos pueden ser realizados por el profesor (demostrativos) y/o por los estudiantes en equipo (es lo deseable) o individualmente.



- **Paréntesis.** Estos recuadros son cápsulas que otorgan información sobre procedimientos expertos, análisis dimensional y gráfico. La idea es que se hagan explícitos todos y cada uno de los pasos en los desarrollos algebraicos, se



otorguen estrategias que sirvan para desarrollar procedimientos expertos, emplear el análisis dimensional para poder determinar si los cálculos son erróneos y usar las gráficas como un medio de apoyo para explicar conceptos de la Física. También se incluye información técnica sobre conceptos de la Física que está relacionada con los contenidos y que puede ser útil o interesante.

- **TIC.** Son recomendaciones de uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación que pueden servir al docente como auxiliar en la exposición y explicación de conceptos. Este apoyo didáctico abarca una amplia gama de medios, desde películas y documentales hasta aplicaciones para dispositivos electrónicos. Es importante aclarar que su uso no es imprescindible para el desarrollo y consecución de los propósitos de la PD.



- **Nexos.** Estas cápsulas relacionan los temas abordados en la PD con conceptos de otras asignaturas o de otras áreas de la Física, con lecturas recomendables que estén relacionadas con los temas, con información sobre tecnología que se ha desarrollado con base en los conceptos que se abordan en ese momento y, muy importante, con opciones de carreras técnicas profesionales o profesionales o empleos que están relacionados con dichos contenidos.



Al final del texto se presentan tres apéndices, sus contenidos también se describen a continuación:

- A. Respuestas a los retos, problemas y preguntas.** En esta sección se presentan las respuestas a la mayoría de las actividades realizadas en la PD, incluidas aquellas de los recuadros. Su función es que pueda serle útil al maestro para la evaluación final.
- B. Uso de una hoja de cálculo.** Una herramienta muy “poderosa” del software común de las computadoras son las hojas de cálculo. Éstas permiten, entre muchas otras cosas, efectuar múltiples operaciones rápida y eficazmente (sin errores), hacer gráficas de diferentes tipos y elaborar modelos matemáticos del comportamiento de las variables de fenómenos de la Física. El segundo apéndice mostrará el uso de las hojas de cálculo como elemento auxiliar para el estudio de la Física.
- C. Bibliografía.** Este apéndice se divide en tres secciones: Bibliografía para los estudiantes, para los docentes y las fuentes consultadas, incluyendo Internet.

C. Los Propósitos de la PD

El eje de la propuesta son los conceptos *voltaje*, *corriente* y *potencia eléctrica*, éstos articulan las actividades. No obstante, son un pretexto, un muy buen pretexto para el cumplimiento de dos propósitos más generales. En primer lugar, se pretende que la aplicación de procedimientos —tanto en las actividades particulares como en la propuesta en su totalidad— se reconozca como una manera flexible, sistemática y confiable para obtener conocimiento generalizable (de hecho es la mejor manera de obtenerlo). En segundo lugar, se espera que los estudiantes logren dos aprendizajes más: 1. Que los procedimientos les permitan identificar qué temas, conceptos y/o afirmaciones son susceptibles de ser investigadas por la ciencia



(y cuáles no) y, 2. Que el aprendizaje y uso adecuado de los conceptos técnicos les sirvan para tomar mejores decisiones. No hay engaño, este es un enfoque práctico (incluso utilitario) de los propósitos, es el aspecto instrumental de la enseñanza y que incluye elementos básicos de la alfabetización científica.⁴



D. Enfoque Didáctico de la PD

Se requiere explicar los fundamentos del enfoque práctico-instrumental de la PD. Históricamente los aprendizajes en la escuela han tenido tres finalidades globales: la intención formativa, su enfoque propedéutico y su aspecto instrumental. En el área de ciencias y Matemáticas se enseña con la intención de conformar una estructura mental en concordancia con la Lógica, en los niveles básicos se enfatiza el método deductivo, el rigor procedimental y la ejecución eficiente de algoritmos. Por cierto, con poca fortuna, con

⁴ Se refiere a un conjunto de atributos convenientes relacionados con la ciencia y para el desarrollo de una ciudadanía plena. Estos atributos están referidos en la cita anterior (3), y para los fines de este fascículo es pertinente hacer énfasis en que no se refiere a un cúmulo de conocimientos técnicos-científicos que se deban saber ni a la aplicación estricta de un método ni al gusto y aceptación de la ciencia. Uno de los precursores de la alfabetización científica fue Abraham Arons de la Universidad de Seattle al principio de la década de los 80's del siglo pasado.



base en la repetición y mecanización, se ha trabajado tradicionalmente la enseñanza de ciencias y Matemáticas. El método funciona, pero es muy poco eficaz.

Por otro lado, ante la recurrente y justa pregunta de los alumnos “¿Y esto para que me va a servir?”, un segmento de las respuestas aluden a que algunos contenidos son el fundamento de lo que se estudiará en el futuro, y es cierto, pero muy impreciso. La mayoría de los contenidos de Matemáticas⁵ o de Física no se vuelven a usar, la respuesta no toma en cuenta que, con excepción de quienes optan estudiar carreras del área tecno-científica, el resto no volverá a usar ecuaciones de segundo grado o la ley de Coulomb por mencionar un par de ejemplos, tampoco considera que la mayoría de nuestros jóvenes no seguirá estudiando. Entonces, el enfoque propedéutico es insuficiente porque no atiende las necesidades de la mayoría de los estudiantes.

El tercer aspecto, hasta hace poco el menos atendido, es el instrumental.⁶ Enseñamos una herramienta —en ocasiones altamente sofisticada— y nunca o casi nunca se muestra cómo se aplica. Los “problemas” que se plantean en la clase de Física están excesivamente simplificados y sólo sirven para evaluar un aspecto (la mayoría de las veces se fija el interés en la correcta aplicación del álgebra y la aritmética). Los problemas son idealizaciones que están lejos de replicar la complejidad de la realidad, casi siempre parten de ejemplos artificiosos y como resultado no son estimulantes ni interesantes. Asimismo, no se distingue entre tareas laboriosas, difíciles y

⁵ Aunque de aquí en adelante ya no se haga referencia explícita, casi todo cuanto se dice de la asignatura de Física vale para la de Matemáticas.

⁶ Sucede lo mismo en otras áreas del conocimiento, como la lectura y escritura. Por otro lado, en otro ámbito de ideas, el abandono de la enseñanza instrumental en el mundo latino tiene que ver, al menos en parte, con la influencia del desarrollo de la Ciencia en Alemania, Austria y Prusia a finales del s. xix y principios del xx y una reacción anti-materialista en esa región de Europa. Es necesario consignar que en Europa continental los germanos llevaban la batuta del desarrollo científico, en la segunda mitad del s. xix es el tiempo de la institucionalización de la escuela y el modelo de Europa continental es el que se adopta en América Latina (el Estado es el que financia la investigación científica) a diferencia y en oposición del modelo anglosajón (el financiamiento de la investigación lo lleva a cabo la iniciativa privada).



complejas; sin tenerlo presente, la inmensa mayoría del quehacer en la clase de Física son tareas difíciles —conceptual o procedimentalmente— y con ello se pretende simular la realidad. Para diferenciar los tipos de tareas se emplearán tres problemas típicos.

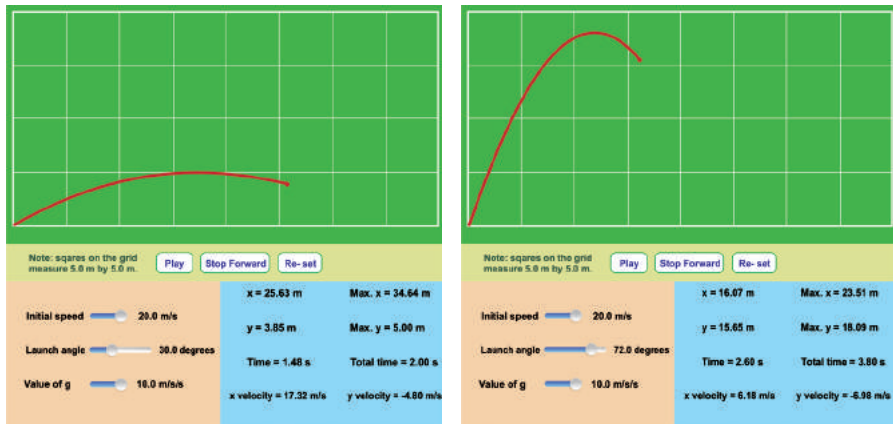
- i Se pide a cada uno de los estudiantes que calcule la presión que ejerce sobre el piso al estar parado.
- ii Se pide que calcule el alcance de un proyectil al ser lanzado a 30° sobre la horizontal con una rapidez inicial de 20m/s y suponiendo que la fuerza de fricción es despreciable.
- iii Se pide que calcule el gasto de agua en la ciudad de León, Guanajuato.

En el caso (i) se requiere saber que la presión está determinada por la fuerza que se aplica en una superficie dada, en fórmula $P = F / A$, donde F es la magnitud de la fuerza y A es el área, a su vez es necesario reconocer que la fuerza es el peso, $F = mg$. El cálculo del área de la suela de los zapatos es una tarea laboriosa y en la que se invierte más trabajo. En resumen, se requieren dos conceptos y el uso de las fórmulas correspondientes, es necesario efectuar un par de operaciones básicas y el núcleo del reto está en el cálculo del área (que será aproximado).

En el caso (ii) se asume que no hay fuerza de fricción y en consecuencia que el movimiento se puede descomponer en las direcciones vertical y horizontal; en la dirección vertical se trata de un movimiento uniformemente acelerado (MUA) y en la horizontal de un movimiento rectilíneo uniforme (MRU). Además se tienen que emplear trigonometría para el cálculo de los componentes vertical y horizontal de la velocidad inicial, $V_{ox} = V_o \cdot \cos(\theta)$ y $V_{oy} = V_o \cdot \text{sen}(\theta)$, así como álgebra y aritmética para el cálculo del alcance ($y = V_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$, $x = V_{ox}t$ y $V_y = V_{oy} - gt$). Conceptualmente la física del problema se reduce a tres hechos que son consecuencia de la ausencia de fricción: el movimiento es simétrico (el proyectil tarda lo mismo en subir que en bajar), en la máxima altura la componente vertical de la velocidad es cero ($V_y = 0$) y el tercero, como ya



se dijo, la constancia de la componente horizontal de la velocidad. El problema es difícil, requiere de una herramienta matemática de mayor sofisticación y de tres conceptos físicos con sus respectivas formulaciones matemáticas.



Las imágenes fueron tomadas de la aplicación para iPad *ProjectileHD*.

En el caso (iii) de inicio se deben asumir varias hipótesis e investigar para obtener información sin la cual no se puede resolver el problema. Requiere tomar medidas, extrapolar y hacer cálculos relativamente simples (obtener un promedio, multiplicar y dividir). El único concepto de la Física que es indispensable es el de gasto o caudal, $Q = V/t$ (donde V es el volumen o la masa y t es el tiempo) y es posible que también se requiera usar la densidad, esto es $\rho = m/V$. Debe ponerse énfasis en que el problema parte de una situación más realista y como ya se dijo, desde el principio el estudiante debe tomar decisiones, pero también a lo largo del desarrollo. Su resultado puede tener implicaciones personales o para la comunidad, además, depende de las hipótesis asumidas y tiene asociada de manera intrínseca cierta incertidumbre. Finalmente, es una condición necesaria valorar la factibilidad de sus cálculos con fuentes



independientes de información (CONAGUA u otros compañeros, por ejemplo). Recapitulando, en el caso de un problema complejo, se debe echar mano de diversos elementos: herramientas matemáticas que no tienen porque ser sofisticadas, se deben efectuar mediciones, investigar, hacer suposiciones, etcétera.

Esta PD plantea una serie de retos, *preguntas generadoras*, para cuya solución se requiere de tareas complejas, como en el caso (iii). Nótese que se pretende usar el método científico en su totalidad en la solución de un problema-reto, esto no es necesario para la solución de los casos (i) y (ii) y aquí radica una diferencia fundamental entre los problemas laboriosos y difíciles por un lado, y complejos, por el otro.





II. Siglos XVIII y XIX

Mitología, literatura y ciencia

“Al llegar a este punto de mi reflexión, no pude más y lloré de dolor. Intenté, en vano, desterrar estos pensamientos, pero a medida que mis conocimientos aumentaban, crecía también mi desaliento...”

Mary W. Shelley (2005). Frankenstein o el moderno Prometeo.
México: Grupo Editorial Tomo, p. 144.

En el Museo del Prado, en Madrid, está un cuadro cuyo título es “Prometeo con el fuego”⁷ del artista flamenco P. P. Rubens y la pintura se refiere a uno de los eventos de la vida de este personaje de la mitología griega. Existen diversos indicios que hacen suponer que con el paso del tiempo el mito de Prometeo ha sido enriquecido con la imaginación de poetas y filósofos y quizá esta es la causa de que



⁷ La imagen se tomó del Catálogo Online del Museo Nacional del Prado.



sea de los mitos que cuentan con más versiones. Sin ánimo de ser exhaustivos únicamente se mencionará que, en general, Prometeo es reconocido por tres hechos: por sus relaciones con Pandora y con Hércules y, además, por entregar el fuego a los hombres en contra de la voluntad del rey de los dioses, Zeus. Prometeo es un titán, personificación de fuerzas brutales y ciegas, pero a diferencia del resto de los titanes, él es inteligente y astuto. El poeta Hesíodo cuenta que Prometeo desencadenó la cólera de Zeus por dos motivos y siempre en beneficio de los hombres, sus predilectos. En el primer engaño, Zeus, resentido por la estafa de la que es sujeto, les arrebató el fuego a los hombres y los condena a las zozobras y tormentos. Esquilo narra que la vida de los hombres en esta condición era miserable. Prometeo no descansó sino hasta que les devolvió el fuego; Zeus, otra vez timado, busca vengarse de los hombres y del propio Prometeo; a los primeros les envía a Pandora, la mujer, y según Hesíodo esta es la causa de todas las desgracias de los hombres.⁸ A Prometeo lo condena con incomparable crueldad; la versión más extendida es que el benefactor de los hombres fue encadenado a una roca indestructible en la cima más alta del Cáucaso y que —según Esquilo— todos los días, durante millares de años, un águila le devorará el hígado y éste se regenerará durante cada noche para repetir el suplicio en cada ciclo.

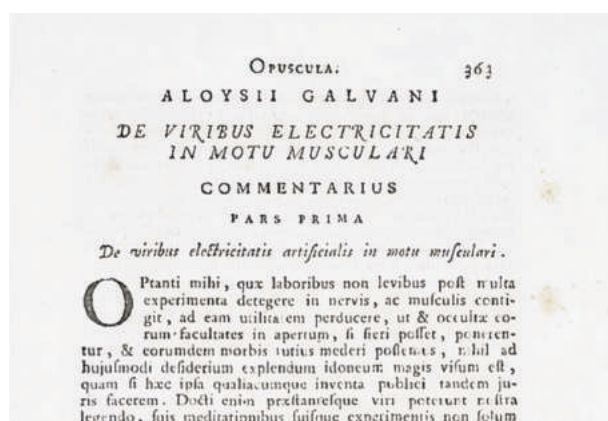
Para finalizar esta breve e incompleta descripción del mito de Prometeo, es importante hacer tres comentarios. En primer lugar, algunos autores —Platón entre ellos— ubican a Prometeo como creador de los hombres o muy cerca de este acto. En segundo lugar, la entrega del fuego puede interpretarse como una alegoría del control, por parte de los hombres, de un agente transformador y de su importancia para el desarrollo de la civilización. Por último, y esto

⁸ Es muy ilustrativo descubrir cuán parecidos son los mitos judío-cristianos del pecado original y la expulsión del Jardín del Edén y, por otro lado, el Diluvio Universal, con los planes de Zeus para exterminar a la humanidad y las causas que produjeron la cólera del rey de los dioses griegos contra los hombres. Recuérdese que según el judío-cristianismo Adán es expulsado del paraíso porque, seducido por Eva, prueba el fruto del árbol prohibido, y el fruto es el conocimiento y la valoración ética (el bien y el mal).



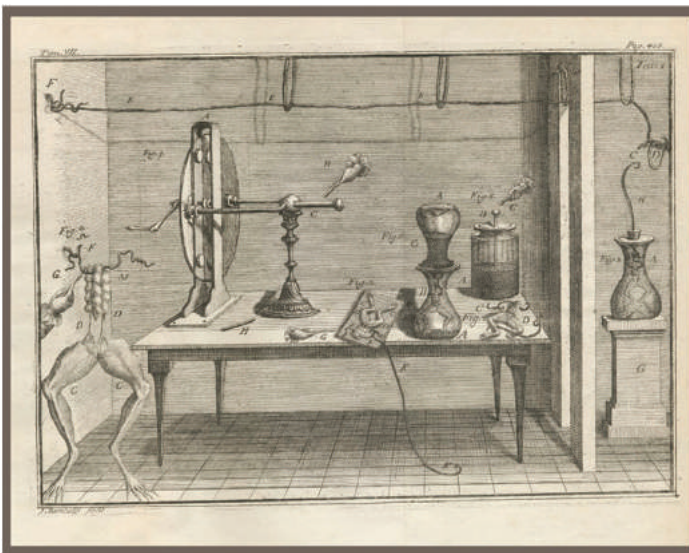
casi nunca se menciona, Prometeo es el inventor del número y la letra, la domesticación de las bestias, la navegación, la medicina, etcétera, y lo enseña a los hombres; pero esto no es todo, también les muestra que en las entrañas de la Tierra hay riquezas útiles y acerca del cielo los adiestra en el conocimiento de los astros y sus movimientos. Esto último convirtió a Prometeo en símbolo de la ciencia que, por cierto, tuvo su origen en la civilización Griega.

En 1818 la escritora inglesa Mary Shelley publica una novela popularmente conocida como *Frankenstein*. La autora se inspiró en al menos tres fuentes distintas: el mito judío del *Golem*, que se refiere a la creación de un ser animado con base en materia inanimada; la idea del filósofo J. J. Rousseau sobre la perversidad que las sociedades producen en el espíritu de los hombres y, destaca para el tema de este fascículo, los experimentos consignados en la obra *De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Comentarium*, del médico Luigi Galvani, en donde se muestra la función de la electricidad en la fisiología animal. Muy significativos son sus experimentos, repetidos por otros, donde se conseguía que algunos animales vivos, por medio de una descarga eléctrica, entraran en un estado “cataléptico” y con otra descarga eran reanimados o, aún más impresionantes, cuando llevó a cabo sus prácticas con cadáveres humanos. Es cierto



que la autora nunca hace mención de los experimentos con electricidad, pero tampoco hay lugar a muchas dudas sobre el impacto de estos experimentos, se puede imaginar el estupor de las personas al ver convulsionarse a individuos muertos durante las demostraciones públicas de Galvani. Por otro lado, también es necesario decir que se experimentó con cualquier cantidad de animales vivos (pollos, conejos, ratones, borregos, perros, gatos, caballos, etcétera) y eso solamente era el inicio. Probablemente resulte menos sorprendente que el nombre completo de la obra de Shelley, por demás ampliamente recomendable, es *Frankenstein o el Prometeo moderno*.

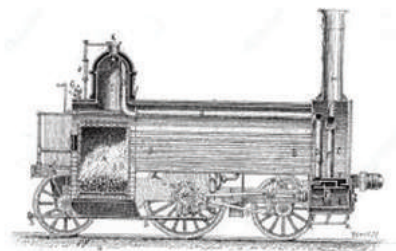
Casi 30 años antes de la publicación de *Frankenstein*, el 13 de marzo de 1781 William Herschel anunció el descubrimiento de un nuevo planeta, y si bien al principio hubo alguna controversia sobre si era un cometa, al final se confirmó —con medidas independientes de otros astrónomos— que efectivamente se trataba de un nuevo planeta, Urano. En 1785, Charles Augustin de Coulomb, en analogía a la ley de Gravitación Universal y con una balanza de torsión, determinó la fórmula que permite calcular la magnitud de la fuerza entre dos cargas eléctricas. A principio del s. XIX surgen en Inglaterra los



primeros prototipos de locomotoras de vapor, antes de éstas, los trenes eran jalados por caballos a lo largo de vías. Todo esto, y más, constituían éxitos de la nueva ciencia, se instauraba de manera gradual y diferenciada la aceptación de una nueva forma de obtener conocimiento y, muy importante, causaba admiración y desconcierto en las personas. En el ámbito social también había cambios formidables: el inicio de la Guerra de Independencia de los Estados Unidos en 1775, nueve años después se proclamaría la Asamblea Nacional y comienza la Revolución Francesa, la Independencia de Haití en 1795 y la instauración de la primera república laica y el primer gobierno en la historia de occidente dirigido por un afrodescendiente.

Herschel, Alessandro Volta y Luigi Galvani fueron contemporáneos, los tres vivieron en una época de cambios fundamentales y participaron de ellos. Galvani y Volta, además, eran colegas en la Universidad de Pavia. Volta, motivado por los experimentos y la rivalidad con Galvani, en 1800 desarrolla la primera pila eléctrica que, aunque ya existían diseños para almacenar carga eléctrica, Volta es precursor al desarrollar un implemento que otorga “energía” eléctrica de manera constante y con base en una reacción química.

Para finalizar este apartado se incluye un par de secciones del libro *Invitación a la Física* de Yoah Ben-Dov, este texto, accesible y ligero, es un ensayo completo sobre la evolución de los conceptos fundamentales de la Física. La selección está relacionada con la manera en la que se llegó a formular la ley de conservación de la energía.



ACTIVIDAD

REFLEXIONAR Y DISCUTIR

En este momento es pertinente plantear a los estudiantes las siguientes preguntas, pedir que se lleve a cabo una investigación para resolverlas y que las respuestas sean discutidas en clase.

1. ¿Qué inventos o desarrollos importantes ocurrieron a finales del s.xviii y principios de s. xix?
2. ¿Qué inventos o desarrollos dependieron del uso de la electricidad?
3. ¿Qué inventos o desarrollos que requieren la electricidad cambiaron a las sociedades?
4. ¿Qué inventos o desarrollos que requieren la electricidad son fundamentales para nuestra civilización?

El calor y la mecánica

La unidad de energía que hoy utilizamos lleva el nombre de uno de sus investigadores, James Prescott Joule, cervecero y científico aficionado, quien fue el primero en medir de manera precisa la creación de calor por medio del roce. En 1843 concibió un dispositivo arreglado de modo que la caída de un peso hiciera girar, por medio de poleas, una rueda de paletas inmersa en un fluido. La fricción producto de la rotación de las paletas genera un aumento de la temperatura del fluido. Joule demostró que el producto del peso por la altura de la caída —es decir, la “fuerza viva”— liberada con la caída es proporcional a la cantidad de calor asociado al aumento de temperatura del fluido. Joule concluyó que existía un “equivalente mecánico del calor”, es decir, una magnitud constante que fija la re-



lación entre la “fuerza viva” gastada por el rozamiento y la cantidad de calor producido. Puesto que la “fuerza viva” liberada por la caída del peso corresponde a un trabajo mecánico, se sigue que el equivalente mecánico del calor se identifica con la constante de proporcionalidad que relaciona una cantidad de trabajo mecánico con una cantidad de calor. Esta constante es independiente de las especificaciones del experimento, como del tipo de fluido que se utilice. En el sistema actual de unidades, el equivalente mecánico del calor es igual a 4.2 julios (unidades de trabajo mecánico) por caloría, valor muy cercano al que Joule obtuvo en sus experimentos. La existencia de este equivalente mecánico del calor sugirió que el calor y la “fuerza viva” mecánica son, en realidad, una misma magnitud física, y el valor de 4.2 fija la relación entre las unidades convencionales que sirven para medir esta magnitud en diversas circunstancias. El calor no es pues una entidad física en sí: si sólo es una forma de trabajo mecánico, no puede ser una sustancia o un fluido. Ya en 1840 Joule había demostrado que el calor creado en un circuito eléctrico es proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente que atraviesa el circuito. De este modo, también existe un “equivalente eléctrico del calor”, y Joule dedujo que los fenómenos eléctricos también son una manifestación de la “fuerza viva”. En un principio los trabajos de Joule suscitaron cierto escepticismo, y los dos artículos que envió al periódico de la Royal Society en Londres fueron rechazados. Le criticaban que sus experimentos no eran lo suficientemente precisos como para extraer conclusiones específicas. Sin embargo, años más tarde sus trabajos fueron reconocidos, después de que otros investigadores llegaron a conclusiones similares a las suyas.

Uno de esos investigadores fue Julius Roben Mayer, un médico que trabajaba en un barco holandés que hacía la ruta del Pacífico. Durante el verano de 1840, después de una escala en la isla de Java, Indonesia, Mayer notó que la sangre de las venas de los marinos europeos era de un rojo especialmente intenso. Como sabemos, eso es signo de una fuerte presencia de oxígeno. Mayer explicó este fenómeno comparando el cuerpo humano con un motor térmico. En



efecto, los músculos del cuerpo humano realizan un trabajo mecánico y emiten calor. Como la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el aire ambiente es más débil bajo los trópicos que en Europa, el flujo de calor liberado por el cuerpo en el aire se reduce. Eso significa que una menor producción de calor es suficiente para mantener el cuerpo a una temperatura constante. El cuerpo desacelera su ritmo de actividad y necesita menos oxígeno para efectuar la combustión química de los alimentos. De este modo, la sangre de las células musculares que van por las venas hacia el corazón está mucho más cargada de oxígeno, lo que explica el color rojo intenso.

La interpretación de Mayer de sus observaciones del color de la sangre concuerda con un hecho bien sabido: que en un clima cálido disminuye el apetito. Existe pues una relación entre la cantidad de alimento absorbida por un organismo y la cantidad de calor que éste produce. Mayer postuló que esta relación se puede expresar por medio de una proporción matemática, es decir, que cada caloría que el cuerpo produce corresponde a una cantidad definida de alimento. A esta cantidad de alimento se le ha llamado “equivalente químico del calor”, y es la misma que utilizan los nutricionistas cuando hablan del “valor calórico de un alimento”.

Al igual que Joule, Mayer creía en la equivalencia de trabajo mecánico y calor, y consideraba que el cálculo del calor producido por el cuerpo debía incluir el calor del roce resultante del trabajo mecánico de la actividad muscular. Puesto que el cuerpo absorbía y gastaba diversos equivalentes de calor, Mayer concluyó que el cuerpo no produce un calor superior al que absorbe por vía alimenticia, y por lo tanto el calor total gastado por el cuerpo en forma de diversos equivalentes —emisión de calor hacia el ambiente, trabajo mecánico, procesos de formación o de almacenamiento de grasas— es igual a la cantidad de equivalente químico de calor absorbido bajo la forma de alimento. De modo análogo, postuló que el equivalente químico del alimento que aparecía en las células verdes de una planta es igual al equivalente de calor absorbido por la planta en forma de luz solar.

Las ideas de Mayer sobre el cuerpo hacen recordar a Descartes,



para quien el mundo físico, incluidos los organismos vivos, era una enorme y compleja máquina. Como él, Mayer no hizo una distinción fundamental entre la materia inanimada y la animada, y sólo consideró que ambas se rigen por leyes diferentes. Mayer difería en esto de los “vitalistas”, mayoritarios en la biología de la época, que imaginaban que los organismos vivos poseían una fuerza particular de la que carecía la materia inanimada. Sin embargo, existe una diferencia importante entre el enfoque de Mayer y la metodología mecanicista de Descartes. Según éste, para comprender el funcionamiento de un mecanismo, un reloj por ejemplo, hay que descomponerlo, comprender el funcionamiento de cada uno de sus componentes individuales, y luego determinar las relaciones que reúnen a todos esos componentes. En otras palabras, la visión cartesiana consiste en comprender el todo por medio de un conocimiento detallado de las partes. Mayer, por supuesto, no sabía que los sistemas biológicos complejos transforman el alimento en calor y en trabajo mecánico. Hubiera sido bastante más útil imaginar un modelo mecánico según el enfoque cartesiano. Sin embargo, inspirándose en consideraciones similares a las que guían el establecimiento de un balance económico -cantidad de alimento absorbido por una parte, y cantidad de calor gastado por otra-, llegó a comprender un aspecto importante de la actividad del cuerpo humano. En este punto el método de Mayer es muy parecido al de Carnot, el que también obtuvo sus resultados haciendo una abstracción de los detalles de la estructura. Por lo tanto, podríamos decir que los trabajos de Carnot y de Mayer corresponden a un enfoque “holístico”, que considera un sistema en su totalidad, y se opone a la visión “analítica” de Descartes, que intenta descomponer cada sistema en sus elementos más fundamentales. (Ben-Dov, Yoav 1999. *Invitación a la Física*).

De la Fuerza a la Energía

Los principios enunciados por Mayer son tan generales que pueden



aplicarse a sistemas físicos de estructuras muy diferentes. De este modo, sin saber nada de la estructura de su motor, uno puede establecer un balance de calor de un automóvil y concluir que la cantidad de calor producida por el motor, agregada al equivalente en calor del trabajo mecánico producido, es igual a la cantidad de equivalente químico de calor que proviene de la combustión del carburante. Al volver a Europa, Mayer continuó sus investigaciones sobre el comportamiento del combustible, el calor y el trabajo mecánico en diversos sistemas biológicos y físicos. Retomando ciertos resultados experimentales sobre la expansión del gas, calculó el equivalente mecánico del calor y obtuvo un valor muy cercano al de las mediciones de Joule.

La existencia de equivalentes mecánicos, eléctricos y químicos del calor llevaron a Mayer a postular la existencia en el universo de una entidad física fundamental que se manifestaba en distintas formas —trabajo, calor, relaciones químicas— y a la cual, bajo la influencia de Leibniz, llamó “fuerza”. Según Mayer, Newton había utilizado de manera incorrecta este concepto y creía que este término sólo debía referirse a esta entidad fundamental. Finalmente fue aceptado el sentido newtoniano de “fuerza”, mientras que el de Mayer se denomina hoy “energía”, que viene de una palabra griega que significa “acción”. Esta terminología fue introducida por Hermann von Helmholtz, quien también fue el primero en expresar de manera clara el principio de la conservación de la energía. De acuerdo con este principio, no existe creación ni destrucción de energía, sino su conversión de una forma a otra. Cada una de estas manifestaciones se asocia a un componente del abanico de fenómenos físicos. De este modo, existe una energía térmica, una energía luminosa, una energía potencial, ligada a la posición en un campo de fuerza (la “fuerza muerta” de Leibniz), una energía cinética, ligada al movimiento (la “fuerza viva” de Leibniz), una energía electromagnética y, un descubrimiento más reciente, una energía nuclear.

Después de todas estas metamorfosis, la energía aún se conserva. Podemos establecer así para todo sistema físico un balance energético, similar al que se realiza en un balance financiero de la



cuenta bancaria: la energía recibida del exterior por el sistema, menos la energía restada al sistema, es igual a la variación de energía del sistema. De ello se deduce que la energía de un sistema aislado —que no intercambia ninguna energía con el exterior— permanece constante.

El universo es por definición un sistema aislado (pues no tiene “exterior”), con lo cual su energía es constante y sólo sufre transformaciones ocasionadas por diversos procesos físicos. Por elegante que sea, esta generalización a todo el universo del principio de conservación de la energía —debida a Rudolf Clausius— debe sopesarse con prudencia, ya que los sistemas aislados que suelen estudiar los físicos son sistemas finitos y el estado actual de nuestros conocimientos no nos permite asegurar que el universo no sea un sistema infinito. En un sistema así, el concepto de energía total y, por ende, el de la conservación de la energía, no tienen ningún sentido.

*La conservación de la energía en los sistemas aislados explica los fracasos sucesivos de quienes intentan construir máquinas de movimiento perpetuo. Ya antes del siglo diecinueve estos intentos se consideraban vanos; vimos que uno de los argumentos que Carnot utilizó en sus Reflexiones era el hecho, para él evidente, de que no se puede crear trabajo a partir de nada. Sin embargo, esta evidencia se basaba únicamente en el fracaso de numerosos intentos de construcción de un *perpetuum mobile* y, tal vez, en la intuición de que nada es gratis en este mundo. El principio de conservación de la “fuerza viva”, conocido desde el siglo diecisiete, se limitaba entonces a los sistemas mecánicos desprovistos de roce. El principio de conservación de la energía, que se aplica a todos los sistemas y a todos los procesos físicos, permite deducir explícita e independientemente del sistema físico considerado la imposibilidad de crear trabajo a partir de nada. Cuando Mayer y Helmholtz decidieron publicar sus resultados, se encontraron con dificultades muy similares a las de Joule. Johann Christian Poggendorff, editor de los muy respetables *Annalen der Physik und Chemie*, rechazó sus artículos. El pretexto oficial era que los trabajos no contaban con un fundamento experimental suficiente, aunque tal vez ocultaba otra razón más de fondo.*



La filosofía dominante en la comunidad académica alemana de fines del siglo dieciocho era una forma de romanticismo metafísico, la *Naturphilosophie*. Este movimiento, que se originó en los escritos de filósofos y metafísicos como Böhme, Leibniz, Kant y Schelling, y que se vio especialmente influenciado por las ideas del poeta Johann Wolfgang von Goethe, destacaba la unidad fundamental de la naturaleza tal como se manifiesta en los fenómenos físicos, químicos, biológicos y psicológicos. De este modo, en biología, inspirándose en los trabajos de botánica de Goethe y anticipándose a las tesis de Darwin, los «filósofos naturales» intentaron demostrar que las diversas formas de vida evolucionaron a partir de una misma forma original. En física, imitando a Goethe en su crítica de la descomposición experimental de la luz por Newton pusieron en duda el método cartesiano y profesaron una aprehensión global de la naturaleza.

Durante la primera mitad del siglo diecinueve, una nueva generación de físicos, impresionada por los éxitos de la física matemática y experimental de las escuelas francesa e inglesa, rechazó la *Naturphilosophie*, en la que percibía una oscura especulación. Los trabajos de Mayer y de Helmholtz recordaban un poco esta filosofía, por lo cual estos físicos tendieron a rechazarlos. En cierto sentido su desconfianza estaba justificada. La demostración de la conservación de la energía se basaba en argumentos cercanos en espíritu a la *Naturphilosophie*, en tanto introducía una equivalencia entre fenómenos de orden diferente y se apoyaba de manera general en consideraciones holísticas más que analíticas. Además, esta energía que pasa sin cesar de una forma a otra no dejaba de recordar la sustancia aristotélica o spinozista que, a pesar de sus cambios de propiedades, permanece idéntica a sí misma. Tal interpretación de la energía, bastante fiel por lo demás al sentido que Mayer le daba a la “fuerza”, tendía a ver en la existencia de diversos equivalentes de calor la expresión de la unidad de la naturaleza detrás de sus múltiples manifestaciones, y a identificar la energía con el principio fundamental y unificador tan caro a los *Naturphilosophen*. Le quitaba a la mecánica su estatus privilegiado y la reducía al estudio de una manifestación específica de la “sustancia universal energía”



y, aportando una respuesta a la cuestión de la naturaleza del calor, parecía hacer de la energía una extensión de la noción del fluido calórico al conjunto de los fenómenos físicos.

Sin embargo, también se podía interpretar el principio de conservación de la energía en un sentido que confirmaba la teoría mecánica del calor. La conservación de la “fuerza viva” en mecánica había sido reconocida en el siglo diecisiete, y los trabajos de Joule, Mayer y Helmholtz demostraban que esta “fuerza” admite un equivalente de calor. No obstante, esto no significaba que ella fuera una entidad física fundamental por sí sola. Podía ser considerada como una propiedad matemática, deducida de las magnitudes físicas reales —las masas y las velocidades de las partículas materiales—, que se conservaban por un azar ligado a la forma de las ecuaciones de la mecánica. Desde este punto de vista, similar al de Joule y al de Helmholtz, la existencia de equivalentes de la energía demostraba que los diversos fenómenos naturales —el calor, la luz, el magnetismo— se deben en definitiva a movimientos de partículas materiales y que el principio de conservación de la energía es idéntico al principio de conservación de la “fuerza viva”. Así, sigue siendo la “fuerza viva” mecánica la que se conserva, y la generalidad del principio de conservación de la energía traduce el hecho de que toda la física no es otra cosa que mecánica. En el próximo capítulo veremos de qué modo estas dos interpretaciones del concepto de energía —la energía como sustancia y la energía como propiedad— condujeron respectivamente a dos visiones del universo físico que se enfrentaron a fines del siglo diecinueve: el energetismo y el mecanicismo.

Retomemos ahora el argumento de Carnot sobre el funcionamiento de los motores térmicos. Como vimos, Carnot pensaba que, en el caso de una caída de agua que acciona una rueda, el trabajo mecánico realizado por un motor resulta de una “caída” de calórico (“fluido de calor”) entre la fuente caliente y la fuente fría. El principio de conservación de la energía, que unifica el calor y el trabajo en el seno de los fenómenos físicos, invalida esta analogía. En efecto, el agua transporta una energía cinética que se transforma en trabajo cuando la rueda es accionada, mientras que el calórico no



vehicula ninguna energía: es por sí mismo una forma de energía. Como el trabajo también es por sí mismo una forma de energía, el motor transforma en trabajo una parte del calor que recibe y el calor que entrega a la fuente fría es necesariamente inferior al recibido de la fuente caliente. Ahora bien, según la analogía de Carnot, el calor que atraviesa el motor permanece constante, al igual que el del agua que acciona la rueda. En su forma original, los trabajos de Carnot se basaban pues en postulados incompatibles con el principio de conservación de la energía. Aunque esto no llegó a afectar mucho su validez. Entre 1850 y 1851, Rudolf Clausius y William Thomson, lord Kelvin, demostraron que la nueva teoría de la energía integraba parcialmente los argumentos de Carnot y llegaba a conclusiones muy similares a las que él había obtenido: que el motor térmico de rendimiento óptimo es aquel donde sólo se producen procesos reversibles, y donde no hay ningún contacto entre cuerpos de temperaturas diferentes. (Ben-Dov, Yoav 1999. Invitación a la Física).



La imagen de Julius von Mayer se tomó de Internet del enlace: <http://www.ebay.es/itm/Julius-Robert-von-Mayer-Holzstich-deutscher-Arzt-Physiker-Heilbronn-E-1495-/321022801941>





III. Preguntas generadoras

En el video⁹ no hay referencia al lugar en donde ocurre el evento, la duración es menor a dos minutos y es espeluznante. El joven no tiene más de 20 años, parece que discute con dos hombres que intentan convencerle, no están hablando ni en español ni en inglés, él está en cuclillas en el techo del tren; de pronto se levanta y camina, acerca una mano al cable, parece que realiza una osada y estúpida exhibición; dos descargas lo iluminan dos veces, y al mismo tiempo se producen dos estruendos. Cae sobre el propio techo boca arriba, humea, se le quema el cabello, la gente se dispersa asustada, algunos pasajeros se bajan del tren y se alejan atemorizados, él está muerto... ¿Qué produjo su muerte?... Aun tomando en cuenta los relámpagos, el número de personas que mueren electrocutadas no es muy grande, pero los accidentes producidos por la electricidad sí son numerosos. Las consecuencias pueden ser menores o muy graves, y van desde quemaduras leves hasta la pérdida de miembros o la muerte. La imagen siguiente es una nota publicada en el periodo en el que se escribía este fascículo.

Muere trabajador electrocutado en anuncio espectacular

Juan Manuel Bama Agura | El Universal

16:53 CUAUHTÉMOC, MÉX. | Viernes 10 de abril de 2015

Twitter (317) | Facebook (14)

Al parecer el hombre recibió una descarga eléctrica y murió en el sitio

Un trabajador de una empresa de anuncios espectaculares murió al sufrir una descarga eléctrica cuando realizaba labores en una estructura ubicada sobre la autopista México-Querétaro, a la altura de avenida Huitzilquican, que conduce al centro municipal.

Fuentes locales informaron que a las 12:00 horas de hoy Saúl García Orozco, de 34 años de edad, efectuaba trabajos de soldadura en un anuncio espectacular ubicado en la autopista México-Querétaro, dirección hacia Naulcapán, en



TRÁGICA Falleció mientras laboraba en espectáculo

(Foto: Juan Manuel Bama Agura)

Ampliar foto

Hay un conjunto de preguntas útiles que surgen de lo que ocurre en la vida diaria y cuyas respuestas —también útiles— re-

⁹ En el enlace <https://www.youtube.com/watch?v=mwMhsmixfcE> se puede ver el video. Sin embargo, no está de más advertir que es muy impresionante.



quieren de conocimientos técnicos de Física, en este caso del Electromagnetismo. Como las cuestiones parten de observaciones y experiencias de la cotidianidad, influyen en la manera en que las personas pueden decidir y actuar. Otras de estas cuestiones forman parte del conjunto de aseveraciones que se reproducen en diversos medios, así se validan y no se ponen en duda ni se prueba su factibilidad. En el caso del video o de la nota de la imagen todo indica que en ambos casos la ignorancia fue la causa de los decesos, en este caso, nada más pertinente que saber de Física para tomar precauciones y decisiones prudentes.

¿Qué es lo que causa la electrocución: el voltaje o la corriente eléctrica? ¿Es verdad que hay mayor gasto de energía eléctrica si los aparatos se dejan conectados aún cuando están apagados, en comparación con los que se desconectan? ¿Efectivamente el uso de los celulares produce cáncer? Y para responderlas es necesario conocer las respuestas de algunas otras más básicas, esto es: ¿Cómo se cobra el gasto de energía eléctrica de los hogares, oficinas e industria? ¿Por qué se usa corriente eléctrica alterna y no corriente eléctrica directa en la redes de alimentación pública? O inclusive se requiere resolver cuestiones fundamentales como: **¿Qué es el voltaje y la corriente eléctrica?**, que por cierto constituyen los conceptos que articulan el contenido y los procedimientos que se incluyen en este fascículo.

Todo cuanto se expone y presenta en esta PD, tomando en cuenta la participación activa de los estudiantes, tiene el propósito de responder estas cuestiones. Es importante aclarar que se construyen las respuestas en un orden específico; desde las más fundamentales, que son la base, hasta las que corresponden a las aplicaciones. Por lo anterior, es necesario consignar que antes de resolver las tres primeras, las que son de interés general, es necesario revisar algunos conceptos y después desarrollar otros.

En el siguiente capítulo se abordan conceptos básicos de Física que posiblemente los estudiantes ya conozcan, de ser el caso, el contenido de la primera sección puede servir de repaso o ser omiti-



do. Las otras dos secciones que conforman el capítulo se refieren a las herramientas matemáticas que se requieren en el desarrollo de los contenidos del fascículo.

ACTIVIDAD

LÍNEA DEL TIEMPO

s. XVIII y s.XIX

Elaborar una línea del tiempo con tres vertientes y correspondiente al periodo que abarca desde 1760 hasta 1880. Es necesario incluir diez eventos históricos (sobre política, conquistas sociales, conflictos, desarrollos tecnológicos, etcétera) diez hechos del arte (Música, Pintura, Literatura, Arquitectura, etcétera) e incluir a los siguientes científicos: Charles, Gay Lussac, Avogadro, Volta, Ampere, Faraday, Coulomb, Maxwell, Edison, Tesla, Rumford, Newcomen, Watt, Carnot, Joule, J. R. Mayer, Von Helmholtz, Kelvin, L. Euler, Gauss y Poisson.

La idea es que los estudiantes citen alguno de los descubrimientos de estos científicos y los relacionen con lo que acontecía en ese tiempo y con hitos como los desarrollos de la máquina de vapor, la máquina de combustión interna, el ferrocarril, el telégrafo, la iluminación, entre otros. En el ámbito social es imprescindible ubicar las guerras de independencia de América (en particular México), la Revolución Francesa, las reformas napoleónicas, la institucionalización de la escuela y las revoluciones en Europa.

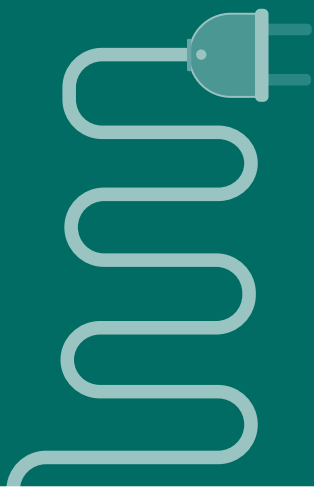
El propósito es mostrar, por un lado, que buena parte de los desarrollos tecnológicos son soluciones a necesidades particulares que, en algunos casos, se pueden generalizar. Y por otro,



que la diferencia es que en este periodo, con base en el éxito de Newton —el triunfo de la apuesta racionalista— y los cambios sociales y la instauración del capitalismo, se desarrolla una nueva manera de enfrentar los “imperativos” sociales: la ciencia inicia su papel activo y formal en los procesos productivos.

Los ejemplos paradigmáticos son la máquina de vapor (Termodinámica) y la iluminación de las primeras ciudades.





IV. Conceptos preliminares



Se debe insistir en que para dar respuesta a las preguntas generadoras vinculadas con el video y la noticia del periódico, es necesario retomar algunos conceptos y desarrollar otros. Este capítulo se centra en tres conjuntos de elementos que es necesario que los estudiantes sepan operar y/o puedan aplicar para el adecuado desarrollo de la PD. En función del quehacer docente, también son llamadas de atención sobre algunos de los errores y concepciones equívocas más comunes en los estudiantes de bachillerato. Las categorías son: 1. Conceptos de Física, 2. Herramientas gráficas y, 3. Aritmética y Álgebra (errores y orientaciones).

ACTIVIDAD

PREGUNTAS Y DISCUSIÓN

En clase se pregunta a los estudiantes:

1. ¿Qué es el trabajo físico o mecánico? ¿Cuál es la diferencia con el uso coloquial de la palabra trabajo?
2. ¿Qué es la energía? ¿Cuál es la diferencia con el uso coloquial de la palabra energía?
3. ¿Qué es la energía potencial?
4. ¿Cómo se calculan?

A. Conceptos de Física

i. El primer concepto necesario es el de *trabajo físico o trabajo mecánico o simplemente trabajo*. Se realiza trabajo físico cada vez que es necesario aplicar una fuerza para modificar la disposición de un conjunto de objetos.¹⁰

¹⁰ Jame C. Maxwell, en su libro *Materia y Movimiento* afirma que: “Trabajo es el acto de producir un cambio de configuración de un sistema en oposición a una fuerza que se resiste a ese cambio.”



5. ¿Qué es la carga eléctrica?
6. ¿Qué es un aislante eléctrico?

El propósito es discutir las ideas pseudo-científicas y/o pseudo-científicas de los estudiantes, confrontarlas y mostrar que una diferencia entre sus concepciones y los conceptos trabajo y energía de la Física es que estos últimos se pueden medir (además de que trabajo y energía en Ciencias son equivalentes).

PARÉNTESIS MATEMÁTICO

PRODUCTO PUNTO

Con los vectores, además de sumarse y multiplicarse por números o escalares (que modifican su magnitud), pueden efectuarse dos operaciones más: el producto punto y el producto cruz. El primero también se conoce como producto interno o producto escalar, su nombre se debe a que el resultado del producto punto de dos vectores es un número y es la operación que se requiere para el cálculo del trabajo.

En coordenadas rectangulares, en dos dimensiones esta operación se define de la siguiente manera:

Si $\vec{A} = (a_x, a_y)$ y $\vec{B} = (b_x, b_y)$ son vectores, entonces:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = a_x b_x + a_y b_y$$

Con base en esta definición es posible calcular la magnitud de cualquier vector, es decir:

$$\|\vec{A}\| = \sqrt{\vec{A} \cdot \vec{A}}$$

Asimismo, usando la fórmula (2) y la definición, también es posible determinar el ángulo entre dos vectores, esto es:

$$\cos(\theta) = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{\|\vec{A}\| \|\vec{B}\|}$$



Tres acotaciones son pertinentes. En primer lugar y a diferencia de la concepción coloquial de trabajo, en Física, para el cálculo o medición de éste, es condición indispensable que el objeto al que se aplica la fuerza se desplace y que este desplazamiento y la fuerza aplicada no sean perpendiculares (véase la figura 2B). En concreto, imagínese a un individuo empujando un muro de carga de un edificio, existe esfuerzo físico (incluso puede haber cansancio) como resultado de la tensión muscular, sin embargo, el trabajo físico realizado sobre la pared es cero. Asimismo, si un objeto se mueve horizontalmente, la fuerza de gravedad no realiza trabajo pues en este caso el desplazamiento (horizontal) y la fuerza (vertical hacia abajo) son perpendiculares.

En segundo lugar, se debe mencionar que en las clases de Física hay tres maneras de hacer el cálculo del trabajo, que cada una de ellas requiere herramientas matemáticas de diferente sofisticación y que cada una corresponde con situaciones más o menos simplificadas. En el nivel más elemental se supone que la fuerza y el desplazamiento tienen la misma dirección, en consecuencia, el valor del trabajo simplemente es el producto de las magnitudes de la fuerza y el desplazamiento. En fórmula:

$$W = \|\vec{F}\| \|\vec{d}\|$$

Donde W es el valor calculado o medido del trabajo y los pares de rectas que delimitan a los vectores fuerza y desplazamiento (\vec{F} y \vec{d}) se refieren a su magnitud (véase la figura 2A). Dichos símbolos no suelen usarse, no se pone énfasis en que la fuerza y el desplazamiento son vectores y que este primer caso es una simplificación. Asimismo, en general, tampoco se dice que esta aproximación es válida únicamente cuando los vectores fuerza y desplazamiento son constantes (o cuando las magnitudes y el ángulo entre ellos no cambian, y que corresponde a un caso raro para el que se requiere emplear Cálculo Diferencial e Integral).

El segundo acercamiento se refiere al cálculo del trabajo como el producto punto de los vectores \vec{F} y \vec{d} , esto es:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \quad (1)$$



En este caso, una de las maneras de calcular este producto punto es:

$$\vec{F} \cdot \vec{d} = \|\vec{F}\| \|\vec{d}\| \cos(\theta) \quad (2)$$

Donde θ es el ángulo entre \vec{F} y \vec{d} .

La interpretación física se refiere a que la componente de la fuerza que está en la dirección del desplazamiento, \vec{F}_d , es la única que contribuye a la realización del trabajo, considérese que dicha componente se calcula como: $F_d = \|\vec{F}\| \cos(\theta)$. Véase la *figura 2D*.

El último acercamiento corresponde a la definición formal de trabajo y sólo excepcionalmente se aborda en los cursos de bachillerato. En este caso ni la fuerza ni el desplazamiento tienen que ser constantes (y por ende tampoco el ángulo entre ellos), en consecuencia, el trabajo se calcula a lo largo de la trayectoria del objeto y en cada punto, esto es:

$$W = \int_b^a \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

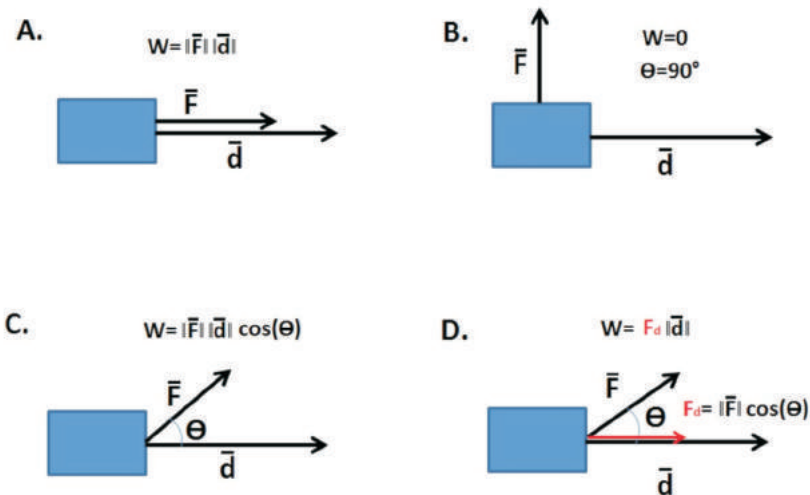


Figura 2



ii. El segundo concepto que es necesario discutir es el de *Energía*. Para los fines de este fascículo la energía es la capacidad de producir trabajo físico o mecánico. La relación entre trabajo y energía así definida es muy importante en dos sentidos: otorga una manera de calcular la energía por medio de la medición o del cálculo del trabajo; y también permite discriminar entre el concepto de energía del uso coloquial y la energía que se emplea en ciencia.

Es pertinente hacer un paréntesis. Considérese por ejemplo la “energía-positiva” o la “energía-negativa” a la que se refiere la gente cuando piensa en la buena o mala voluntad o disposición que unos tienen para con otros, ¿qué significa en términos del trabajo calculado o medido por medio de las fórmulas 1 y 2 citadas anteriormente? ¿Cuál es el mecanismo que permite transferir esas energías? ¿Cómo se mide el trabajo que deberían poder generar dichas energías? ¿Cuál es la diferencia entre la energía que produce la electrocución de una persona y la energía que transmiten quienes prodigan afecto? ¿La primera es mala y la segunda es buena?

Las cuestiones planteadas en el párrafo precedente no son un asunto menor; en la actualidad se habla de vampiros de energía (que roban la energía-positiva de la gente) o la energía cósmica que permite decretar cómo será mi futuro o también se asegura que es posible recargar la energía en el equinoccio primaveral vestidos de blanco, etcétera, y siempre en términos de la validez científica de estas aseveraciones. No puede dejar de destacarse que la mayoría de las personas no es capaz de identificar términos científicos ni de usarlos adecuadamente, tampoco conocen alguna forma de discriminar entre un concepto científico y otro que no lo es, desconocen un método que les permita distinguir los conceptos aceptados de manera consensuada por los científicos de los errores y engaños. Y sin perder de vista que todo esto puede tener costos muy altos para las personas en lo particular y para el conjunto de la sociedad.

Un criterio fundamental para discriminar entre lo que es susceptible de ser investigado por la ciencia y aquello que no lo es, es la medición —base de la ciencia positiva— y la contrastación de la medición del individuo A con la que el individuo B obtuvo de manera



independiente. Las energías positiva y negativa de las que se habla todos los días en todos lados deben poderse medir y su valor deberá ser equivalente, siempre, a la misma cantidad de trabajo físico.

EXPERIMENTAR Y MEDIR PARA PONER A PRUEBA

ENERGÍA POSITIVA Y LA PRUEBA DE DOBLE CIEGO

En ciencias, cuando la medición de un atributo depende de la apreciación y/o del juicio de las personas, es necesario poner controles para que dichas valoraciones no produzcan errores en las medidas. Estos errores se denominan sesgos y algunos son producidos por lo que las personas creen y/o por lo que desean que suceda. Los científicos, como cualquier otra persona, son susceptibles de cometer errores por sesgo, pero los métodos en ciencia permiten poner cotas a estas pifias. Por ello en Psicología, en estudios de opinión, en pruebas médicas, en medicina forense y criminalística, entre otros, se emplean pruebas de doble ciego (o enmascarados).

Se denominan pruebas de doble ciego porque los aplicadores no saben quiénes son los sujetos del grupo control y quienes son del grupo experimental y los sujetos de los grupos experimental y de control tampoco saben a cual pertenecen.

Es posible diseñar una prueba efectiva enmascarada para poner a prueba si efectivamente es posible transferir energía-positiva o energía-negativa en función de los efectos benéficos o nocivos sobre un grupo de personas.

Resulta significativamente paradójico que las personas que aseguran que “está comprobado científicamente” que la energía-positiva y la energía-negativa tienen un carácter beneficioso y perjudicial respectivamente, nunca mencionen el valor de dicha energía ni consignent sus unidades de medición. ¿Quién ha escuchado que



“Juan le transfirió a su novia 300 calorías de energía-positiva para que estuviese de mejor ánimo”? Esta ausencia debería generar escepticismo con relación a si conceptualmente estas energías son equivalentes al trabajo físico; lo único que se puede afirmar sin error es que si fuesen equivalentes debería existir una manera de medir la buena energía-positiva y la mala energía-negativa, pero no la han descubierto o simple y sencillamente no existe.

Es verdad que en la ciencia se emplean los términos energía positiva y energía negativa, sin embargo, no se corresponden con beneficio-perjuicio ni con bondad-maldad, respectivamente. Son denominaciones arbitrarias de la cuantificación de una magnitud que describen y explican las condiciones particulares de los sistemas que se estudian; pueden permutarse los nombres y nada pasa. Por ejemplo, a nivel atómico, se dice que los electrones que están ligados a los núcleos de los átomos tienen energía negativa, y los que no están ligados, están libres, tienen energía positiva. ¿Es buena una condición y mala la otra? No. ¿Es beneficiosa una de las condiciones y perjudicial la otra? Depende de qué se requiera, para aumentar la conductividad eléctrica sí, y si se desea disminuir la reactividad de sustancia, no.

Regresando a la discusión sobre trabajo y energía, si la energía es la capacidad de producir trabajo, entonces el trabajo realizado para elevar verticalmente un objeto y vencer a la fuerza de gravedad es una forma de energía. La energía potencial¹¹ se define como:

$$E_p = mgh$$

Donde ***g*** es la magnitud de la aceleración de la gravedad, ***mg*** es la magnitud del peso de un objeto cuya masa es ***m*** y ***h*** es la altura a la que se eleva dicho objeto y corresponde a la magnitud del desplazamiento. Nótese que:

$$E_p = (mg)h$$

¹¹ G. W. Leibniz, contemporáneo de Newton, fue el primero en hacer referencia a la energía potencial y la denominó “fuerza muerta”. A la energía cinética le llamó “fuerza viva” y su valor es un poco diferente al actual, para él era: mv^2 .



$$\|\overrightarrow{Peso}\| = mg$$

$$\|\vec{d}\| = h$$

$$\therefore E_p = \|\vec{F}\| \|\vec{d}\| = W$$

Donde el símbolo “ \therefore ” significa “por lo tanto”. Asimismo, debido a que el trabajo y la energía potencial son equivalentes, ambos deben tener las mismas unidades de medida. Considérese que las unidades de la masa $[m]$ y de la aceleración $[\vec{a}]$ son:

$$[m] = kg$$

$$[\vec{a}] = \frac{m}{s^2}$$

Por lo tanto, las unidades de la fuerza $[\vec{F}]$ son:

$$[\vec{F}] = kg \cdot \frac{m}{s^2} = N$$

N es el símbolo del newton, la unidad de fuerza en el Sistema Internacional de Unidades (SI). Así las unidades de la energía potencial $[E_p]$ están dadas por:

$$[E_p] = [mgh] = kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m = \frac{kg \cdot m^2}{s^2} = N \cdot m = J$$

$$[W] = J$$

Donde **J** es el símbolo del *joule* y es la unidad de energía del SI.

Es imprescindible hacer varios comentarios. En primer lugar debe consignarse que la energía y el trabajo son escalares (no magnitudes vectoriales) y por ello es más fácil operar matemáticamente con ellos. En segundo lugar se supone que la aceleración de la gravedad, \vec{g} , es constante, es decir, es constante tanto en dirección como en magnitud, lo cual es impreciso aunque sea una buena apro-



ximación. En realidad, la magnitud de la aceleración de la gravedad está dada por:

$$g = \frac{GM_T}{r^2}$$

NOTAS

NOMENCLATURA

En el SI las unidades que corresponden a los nombres de personas se escriben con minúsculas para diferenciarlas de los propios personajes. Por ejemplo: newton, joule o joules, pascal, etcétera. Asimismo, es válido castellanizar dichas unidades, esto es: neutonios o néwtones y vatios (en lugar de newtons o watts).

Escribir una magnitud física entre corchetes $[E_p]$ significa que se está haciendo referencia a las unidades con las que se mide dicha magnitud.

La $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$ es la constante de gravitación universal y como su nombre lo indica, es constante. M_T es la masa de la Tierra y si bien es prácticamente constante, su densidad no lo es. La distancia al centro de la Tierra, r , varía dependiendo de la altitud y, en consecuencia, \vec{g} varía tanto en magnitud como en dirección. No obstante lo anterior, cerca de la superficie terrestre, con fines didácticos, puede suponerse que $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ la magnitud de la aceleración es constante, sin perder de vista que es un vector y que a cada punto del espacio le corresponde uno que apunta hacia el centro de la Tierra (aproximadamente). Por otro lado, es importante identificar conceptos análogos de gravitación y electrostática. ¿A qué concepto de la electrostática corresponde el vector \vec{g} ? Resulta que \vec{g} , el campo gravitacional y \vec{E} , el campo eléctrico, tienen



una estructura análoga cuando el campo eléctrico se debe a una única carga eléctrica negativa y también cuando las magnitudes de ambos son constantes. De la misma manera, la energía potencial gravitacional es equivalente a la energía potencial eléctrica (que no es el voltaje) y las diferencias radican en que la fuerza gravitacional siempre es atractiva y la fuerza eléctrica puede ser atractiva o repulsiva y, para los propósitos de este fascículo, se puede considerar que sólo hay un tipo de masa y hay dos tipos de carga. Más adelante se retomarán estas analogías y se profundizará en la explicación.

iii El siguiente concepto es el de carga eléctrica. Es una propiedad fundamental de la materia, como la masa, y su definición es operativa. Es también una propiedad intrínseca de algunas partículas subatómicas (protón, electrón, positrón, antiprotón). Al igual que la ley de conservación de la masa, existe una ley de conservación de la carga, es decir, en un proceso físico la carga total se conserva. Como ya se mencionó, hay dos tipos de carga eléctrica denominadas arbitrariamente positiva y negativa, los electrones tienen carga (-) y los protones (+), las fuerzas entre cargas del mismo signo son repulsivas y entre cargas de signo diferente son atractivas. Finalmente, las cargas eléctricas interactúan con los campos eléctricos y magnéticos.

La magnitud de la fuerza electrostática está dada por la ley de Coulomb, su fórmula es:

$$F_e = \frac{K \cdot q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Donde **K** es una constante que depende del medio en el que se encuentran las cargas eléctricas, **q₁** y **q₂** son las cargas eléctricas y **r** es la distancia entre los centros de dichas cargas. La unidad de carga eléctrica es el coulomb o coulombio (C). Una pregunta que se puede formular a los estudiantes es: “¿Qué similitudes y diferencias hay entre la ley de Coulomb y la ley de gravitación universal?”

Los últimos conceptos previos de Física que es necesario que los estudiantes conozcan son *aislante* y *conductor eléctrico*. Hasta



ACTIVIDAD

RETOS PARA REFLEXIONAR

A continuación se presentan tres problemas sobre el cálculo del trabajo y la energía potencial. Para resolverlos es importante que se defina qué agente ejerce la fuerza y sobre qué objeto, pues de otra manera se obtienen respuestas contradictorias. Además, para verificar las respuestas es conveniente usar el teorema trabajo energía cinética, esto es:

$$W = \Delta E_c = E_{c \text{ final}} - E_{c \text{ inicial}}$$

Retos

1. Un objeto se desplaza verticalmente hacia arriba desde el punto A al B y con rapidez constante V_1 . ¿Qué trabajo se realiza?
2. Un objeto se desplaza verticalmente hacia arriba desde el punto A al B y con rapidez constante V_2 y con $V_1 < V_2$. ¿Qué trabajo se realiza sobre el objeto? ¿Mayor, menor o igual que en el primer reto?
3. Un objeto se desplaza verticalmente hacia arriba desde el punto A al B y con aceleración a_1 . ¿Qué trabajo se realiza?

hace relativamente poco tiempo, los materiales se clasificaban en dos categorías: aislantes y conductores de la electricidad, y esta clasificación era producto de la empiria, pues no existía modelo alguno de la estructura de la materia que explicase las diferencias en esta propiedad. Actualmente, usando incluso el modelo del átomo anterior al de Bohr (antes de 1925), se pueden explicar las propiedades eléctricas de estos tipos de materiales. Debe saberse que la certeza de la existencia de los átomos no se tuvo sino hasta 1905 (gracias a que Einstein describió y explicó adecuadamente el movimiento browniano¹² con base en la hipótesis atómica), sin embargo,



antes de esa fecha ya había indicios de su existencia: se conocían las leyes empíricas de la combinación de los gases (proporciones simples y múltiples), Thomson había descubierto el electrón, los esposos Curie la radioactividad y unos corpúsculos muy masivos que se denominaron “rayos alfa” (y que son núcleos de Helio).¹³ Aunque hoy el modelo estándar es muy refinado y complejo, es suficiente saber que los átomos están constituidos por protones y neutrones

TIC

DOCUMENTALES

Para los temas que se han abordado en esta sección de la serie *El Universo Mecánico y más allá* se recomiendan:

- *Electricidad estática* (capítulo # 28), disponible en la siguiente dirección electrónica: <https://www.youtube.com/watch?v=TN3jw9HFyXY>
- *El Campo eléctrico* (capítulo # 29), disponible en la siguiente dirección electrónica: https://www.youtube.com/watch?v=O_R-s4d89JI
- *Capacidad y potencial* (capítulo # 30), disponible en la siguiente dirección electrónica: https://m.youtube.com/watch?v=bPY_zHS55C8
- *El átomo* (capítulo # 49), disponible en la siguiente dirección electrónica: <https://www.youtube.com/watch?v=l-hZVUwsJ4k>

¹² En 1827 el biólogo Robert Brown observó el movimiento aleatorio de las partículas de polen en el agua. Einstein supuso, correctamente, que el movimiento caótico de las partículas de polen se debía a las colisiones de éstas con los átomos-moléculas de agua. Su hipótesis se ajustaba correctamente a los datos empíricos. La explicación apareció en uno de los cinco artículos que Einstein publicó en 1905 y que le dieron fama y a la postre el premio Nobel.

¹³ La hipótesis atómica tiene su origen en la especulación de los filósofos materialistas Demócrito y Leucipo sobre la realidad de pequeñas partículas indivisibles que conforman todo cuanto nos rodea.



que se encuentran en el núcleo y que son aproximadamente 2000 veces más masivos que los electrones, y éstos se encuentran alrededor del núcleo. Cada elemento químico se distingue de los otros en función del número de protones (o electrones, si no ha perdido o ganado alguno) y sus propiedades químicas y físicas dependen del número de electrones, de la facilidad con las que se les pueden quitar y de la capacidad de compartirlos con otros átomos.

A su vez, las propiedades eléctricas de los materiales se pueden explicar con el modelo atómico considerando las configuraciones electrónicas; es necesario saber que para cada elemento los electrones tienen permitido sólo algunos niveles de energía muy precisos y bajo ninguna circunstancia dos electrones pueden ocupar el mismo nivel. Un electrón puede pasar a un nivel más alto si absorbe energía y a un nivel más bajo si emite energía, siempre que ese nivel de energía no esté ocupado por otro electrón. Los niveles de energía de cada átomo son únicos y son una manera de distinguir un elemento de otro. La energía mínima para “arrancar” un electrón de su átomo se llama *función trabajo* y también depende de cada elemento; mientras menor sea la función trabajo, mayor es la conductividad eléctrica. “Cuando los átomos forman un sólido ocurren fenómenos colectivos entre ellos puesto que sus densidades son muy altas, lo que significa que están muy juntos, por lo que las fuerzas que ejercen unos sobre otros son de gran consideración: como consecuencia, los niveles de energía de los electrones se modifican considerablemente. Ahora, en lugar de tener un conjunto de valores muy precisos, se forman bandas de energía permitidas separadas por valores de energía prohibidos.”¹⁴ Las bandas de energía electrónica se van llenando desde los niveles más bajos a los más altos, una vez que una banda está llena, los nuevos electrones que llegan ocupan la siguiente banda. A las bandas completas (llenas) es muy difícil quitarles electrones, su función trabajo es grande y, en

¹⁴ Braun, Eliezer. *Electromagnetismo. De la ciencia a la tecnología*. Colección la Ciencia para todos #112. SEP-FCE. p 128.



consecuencia, son malos conductores eléctricos. Lo contrario sucede con los electrones que quedan en bandas que no están completas, es fácil arrancarlos, su función trabajo es pequeña y por ende son buenos conductores eléctricos.

B. Herramientas gráficas

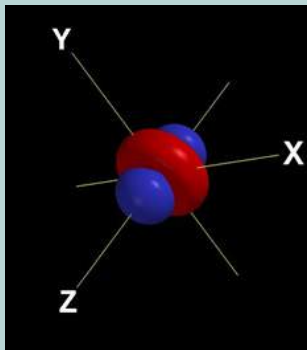
NEXOS

INVESTIGACIÓN

Dos temas del contenido de estas secciones tienen aplicaciones de frontera: por un lado están los estudios de Gravimetría, que consisten en la medición de las variaciones del campo gravitacional de la Tierra y con ello es posible determinar dónde hay yacimientos de metales o petróleo, entre otros. Ingenieros topógrafos, petroleros y geofísicos trabajan en esta área.

Por otro lado, la Física de Estado Sólido aborda lo concerniente al estudio de las propiedades de los agregados de átomos, materia fundamental en el desarrollo de la electrónica.

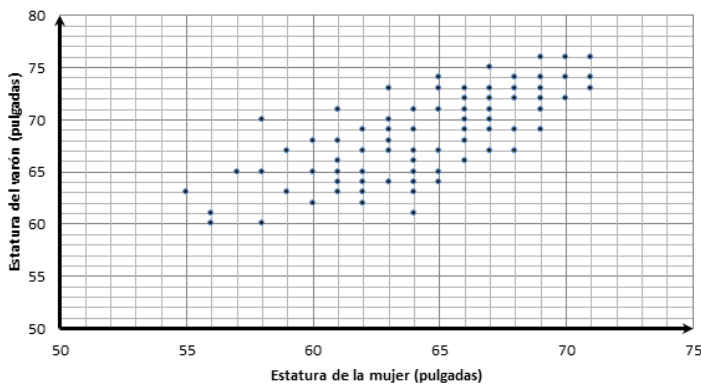
La siguiente imagen corresponde al modelo de una configuración electrónica del átomo de sodio.



Como ya se mencionó en la introducción, una herramienta muy útil para la modelación, la exposición y la explicación de los fenómenos de la Física son las gráficas. Los requisitos para los estudiantes de este nivel, desde los más básicos hasta los más elaborados, consisten en: 1. Hacer corresponder una pareja ordenada (x,y) con su localización en un sistema de coordenadas rectangulares, 2. Elaborar una gráfica que representa la relación funcional entre dos variables (que describen un fenómeno físico), 3. Obtener información de la gráfica que representa una relación funcional entre dos variables, 4. Construir un modelo matemático con base en los datos experimentales y, 5. Interpolarse y extrapolar empleando el modelo matemático que se construyó a partir de los datos experimentales. Serán ilustrativos un par de ejemplos de contextos realistas muy diferentes.

La siguiente gráfica representa la relación de las estaturas (en pulgadas) de una muestra de 75 parejas mujer-varón casadas.

Con base en la información que dicha gráfica contiene, el estudiante



debe ser capaz de responder las preguntas que se listan a continuación y que tienen distinto nivel de dificultad.

1. ¿Qué representa cada punto de la gráfica?
2. ¿Cuál es el rango de la estatura de las mujeres?
3. ¿Cuál es el rango de la estatura de los varones?
4. ¿Cuál es la estatura de las mujeres que más se repite?



Formalmente la pregunta es: ¿Cuál es la moda de la estatura de las mujeres? ¿Y cuál es la moda de la estatura de los varones?

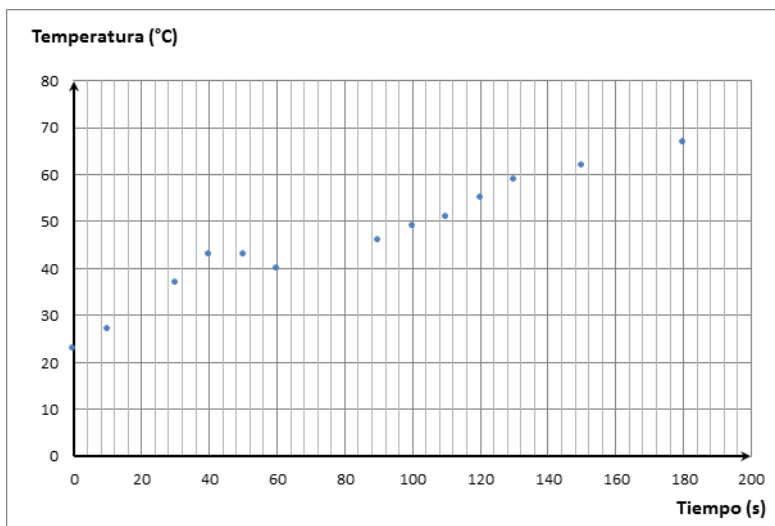
5. ¿Cuántas parejas hay cuyas mujeres tienen una estatura de 63 pulgadas?
6. ¿Cuántas parejas hay cuyos varones tienen una estatura de 65 pulgadas?
7. Para una estatura de 55 pulgadas de la mujer, ¿qué valor o valores le corresponden de la estatura de su pareja?
8. Para una estatura de 60 pulgadas de un varón, ¿qué valor o valores le corresponden de la estatura de su pareja?
9. ¿Cuántas parejas están formadas por individuos de la misma estatura?
10. ¿Qué porcentaje de las parejas está conformado por mujeres que son más altas que los varones?

El segundo ejemplo es la gráfica que se presenta a continuación y que corresponde al cambio de temperatura, medido en grados celsius, al calentar un kilogramo de agua con un calentador eléctrico de resistencia. Se usó agua de la llave, se puso en un recipiente y se procuró tomar las medidas de temperatura a intervalos regulares de 10 segundos. Con base en la información que se presenta en la gráfica se pueden elaborar un conjunto de preguntas de diferentes niveles de dificultad y complejidad.

Por ejemplo:

1. En términos exclusivamente matemáticos.
 - ¿Cuál es la temperatura al inicio de la medición?
 - ¿Cuál es la temperatura del agua a los 40 segundos? ¿Y a los 120 segundos?
 - ¿Qué tiempo ha transcurrido para que el agua tenga una temperatura de 50°C ?
2. En términos del procedimiento experimental y de la descripción del fenómeno.





- ¿Puede asegurarse que la temperatura inicial era la temperatura del ambiente? ¿Esta información se puede obtener de la gráfica?
 - ¿Qué temperatura tiene el agua a los 80 segundos?
 - ¿Qué sucedió en el intervalo entre los 40 y 60 segundos? Se requiere la descripción en palabras de los estudiantes.
 - ¿Qué significa que la gráfica únicamente esté formada por un conjunto discreto de puntos y no por una curva continua?
3. En términos de la elaboración de un modelo matemático.
- ¿Qué significa físicamente que la gráfica sea en general creciente?
La relación entre temperatura y tiempo, ¿es una función?
¿Existe una relación lineal entre la temperatura y el tiempo?
 - ¿Cuál es esta relación lineal? Ecuación de una recta, en este caso.
 - ¿Qué representa la pendiente de la recta? ¿Puede tener o tiene un significado físico la pendiente de la recta?
4. En términos del uso del modelo matemático para obtener



información, interpolar y extrapolar.

- Sabiendo que se empleó un kilogramo de agua y que el valor de su calor específico es $4.2j \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$, ¿cuánta energía en forma de calor se empleó para calentar el agua?¹⁵
- Y con base en lo anterior, ¿cuál es el valor de la potencia promedio?
- La potencia eléctrica se puede calcular como $P=VI$, y si el voltaje¹⁶ es 120 voltios, ¿cuál es la corriente requerida?

C. Aritmética y álgebra. Errores y orientaciones

ACTIVIDAD

DISCUTIR Y REFLEXIONAR

A excepción de las preguntas correspondientes a los numerales 3 y 4 de la segunda gráfica, las respuestas al resto de los cuestionamientos son un requisito previo para el desarrollo de la PD y es conveniente que sean planteadas y discutidas en clase. Por otro lado, las respuestas de las cuestiones formuladas en los numerales citados son parte del núcleo del contenido del fascículo, y su construcción es el propósito de la PD.

Es necesario hacer algunas aclaraciones técnicas sobre las herramientas matemáticas y conceptuales para su resolución.

1. Efectivamente la relación entre la temperatura y el tiempo es una función, de hecho se puede aproximar adecuadamente a una función lineal.
2. Es imprescindible tener presente que la condición para que una relación entre dos variables: x , la variable independien-

¹⁵ Véase el fascículo de Castañeda, Rocío, sobre cambios de fase.

¹⁶ En estricto sentido es la raíz cuadrada del voltaje cuadrático medio.



te, e y, la variable dependiente, sea una función, es que a cada valor de x le corresponda uno y sólo un valor de y. En nuestro caso, a cada tiempo medido le debe corresponder un y sólo un valor de temperatura. La primera gráfica no corresponde a una función.

3. Que sea posible establecer una relación funcional entre magnitudes físicas es el fundamento de la capacidad predictiva de la ciencia. Las funciones, como modelos matemáticos de los fenómenos de la naturaleza, son el núcleo del estudio científico.
4. Se requiere conocer el concepto de pendiente de una recta, $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, la fórmula para el cálculo de la energía en forma de calor: $\Delta Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$ (donde **m** es la masa) y para el cálculo de la potencia promedio:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = m \cdot C_e \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}.$$

5. En uno de los apéndices se mostrará el método para determinar la función que mejor describe la relación entre conjuntos de datos experimentales.

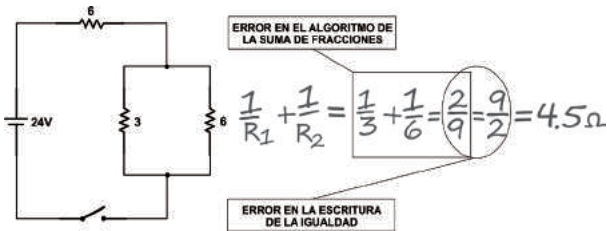
Para este último apartado del capítulo se emplearán ejemplos tomados de exámenes recientes y que constituyen errores típicos de los estudiantes en estos temas.

i. En la imagen siguiente se presenta el primer ejemplo. Hay dos errores aritméticos: uno con el algoritmo de la suma de fracciones (quebrados) y el otro en la escritura de la igualdad. Ambos están señalados, en un recuadro y con una elipse. Debe tomarse en cuenta que los errores surgen de un problema donde se debe calcular la resistencia eléctrica equivalente R_E de dos resistencias en paralelo, esto es: $\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. El estudiante supo lo que tenía que hacer, usó la fór-



mula correcta.

Los errores podrían tratarse de una confusión y de falta de organización al escribir y nada más, pero en caso de ser una falla recu-



rente y consistente del estudiante o de un conjunto de estudiantes, entonces es posible establecer dos conclusiones difícilmente rebatibles y de diferente nivel de gravedad. En primer lugar se detecta la falta de pericia en el uso del algoritmo para sumar fracciones (quizá sea necesario hacer más ejercicios o mostrar cómo se hace con una calculadora o trabajar con la equivalencia entre fracciones y decimales, etcétera). Conceptualmente es más grave la incapacidad de poner a prueba su cálculo, ¿cómo es posible que el resultado de una suma sea menor que uno de los sumandos? Lo cierto es que nunca se pide a los estudiantes que verifiquen o pongan a prueba la factibilidad de sus resultados. En este caso $\frac{1}{3} > \frac{2}{9}$, el estudiante debería reconocer esta grave inconsistencia lógica y no lo hizo. Además es claro qué fue lo que sí llevo a cabo: sumó directamente numeradores y denominadores. Quizá pensó que el proceso era análogo al producto de fracciones, no se sabe y esto último es una simple hipótesis.

La segunda equivocación, escribir $\frac{2}{9} = \frac{9}{2}$ es una muy común *falta de ortografía aritmética* que denota desorganización o descuido. Nótese que el estudiante llegó implícitamente a la igualdad $\frac{1}{R_e} = \frac{2}{9}$ y sabe que tiene que determinar el valor R_e , por eso invierte la fracción. Sin embargo, la penúltima igualdad $\frac{2}{9} = \frac{9}{2}$ no tiene sentido, es absurda. Incluso si se pregunta explícitamente si dos novenos es igual que nueve medios la respuesta será que no la mayoría de las veces. Como se dijo al principio de la PD, para muchos estudiantes no significa ningún conflicto lógico escribir este tipo de cosas. La solución radica —al menos en parte— en pedir que escriban renglón por ren-



glón cada parte del desarrollo. En este caso el estudiante debería escribir una secuencia como se presenta en la imagen de abajo. Es importante mencionar que en este ejercicio se permitió usar calculadora.

Para concluir con este ejemplo obsérvese el último renglón del desarrollo. La respuesta correcta $R_E = 2$ es consecuencia de la igualdad que la precede. Con este propósito se emplea el símbolo \Leftrightarrow (sí y solo sí) porque el resultado es una deducción lógica, más que un proceso algebraico. Considérese que si los numeradores son iguales (a 1) entonces los denominadores necesariamente deben también valer lo mismo (2) para que la igualdad se cumpla.

ii. El segundo ejemplo es algebraico (véase la imagen). Usando la ley de Ohm los estudiantes debían calcular la resistencia eléctrica R ,

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_E} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ \frac{1}{R_E} &= \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \\ \frac{1}{R_E} &= \frac{2+1}{6} = \frac{\cancel{3}}{\cancel{6}} = \frac{1}{2} \\ \frac{1}{R_E} &= \frac{1}{2} \Leftrightarrow R_E = 2\end{aligned}$$

dados el voltaje V y la corriente I . Se tiene que despejar¹⁷ R de:

$$V = R \cdot I$$

Parece un asunto elemental, pero no lo es porque los estudiantes intentan poner siempre la variable despejada en el lado izquierdo de la igualdad, suponen —mal— que es una condición obligatoria que la variable despejada quede de ese lado de la igualdad. Los profesores no ponemos énfasis en que es una convención arbitraria y estrictamente innecesaria y, aún más, no les decimos que el símbolo de igualdad es simétrico, es decir que $A = B$ es absolutamente

¹⁷ *Despejar* es el término coloquial y más usual en México para referirse a aislar un variable de un lado de una ecuación.

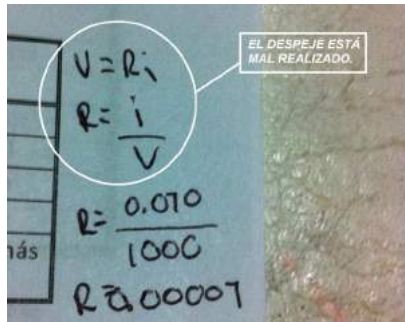


equivalente a $\mathbf{B = A}$. Casi nunca o nunca se resuelven ejercicios donde la variable despejada quede a la derecha de la igualdad. Parece una obviedad, pero para los estudiantes no lo es.

La ley de Ohm puede escribirse como $\mathbf{R \cdot I = V}$ y de ahí despejar \mathbf{R} , como es habitual para los estudiantes, les resulta más fácil. Esto es:

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

O desde la formulación original y dejar la variable \mathbf{R} despejada a la derecha, esto es:



$$V = R \cdot I$$

$$\therefore \frac{V}{I} = R$$

Que es equivalente, por simetría de la igualdad, a la escrita anteriormente.

Conviene mencionar que en este caso el estudiante dudó de su resultado una vez que efectuó el cálculo (el valor le parecía muy pequeño en función de la información que conocía), y presentó el resultado correcto en otro espacio. No obstante la equivocación consignada en la imagen es muy común.

En este momento los estudiantes ya cuentan con las herramientas suficientes y necesarias para construir los nuevos conceptos y responder las preguntas generadoras.





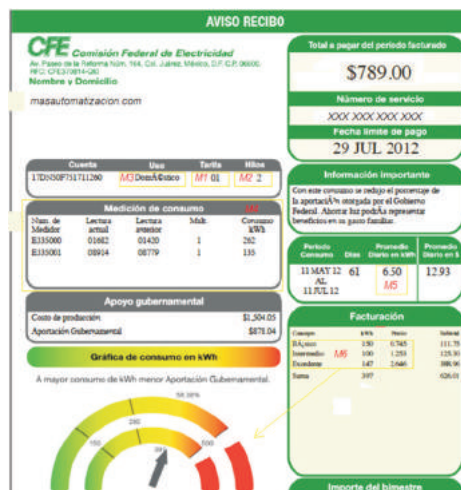
V. Actividad: el recibo de la luz



La imagen de abajo es la fotografía de un recibo del gasto y cobro de la energía eléctrica de una casa habitación, coloquialmente la gente se refiere a este documento como *el recibo de la luz*. Lo cierto es que esta denominación es imprecisa pues la energía eléctrica que llega a las casas no sólo se usa para iluminarlas, de hecho en la actualidad, en la generalidad de los hogares, la mayor parte del consumo de energía eléctrica no corresponde a la iluminación. Es interesante preguntarse, ¿en qué se gasta la mayor cantidad de energía eléctrica de una casa habitación? La respuesta es un asunto de fundamental importancia en términos de una cultura del ahorro y cuidado de los recursos (más adelante se otorgarán los elementos para resolver esta pregunta). Asimismo, la denominación común también dice mucho sobre la historia de la energía eléctrica y su empleo en los hogares; tómese en cuenta que cuando empezó a generalizarse el uso en las casas la función principal, efectivamente, fue la iluminación y de ahí que la gente se refiera así al recibo.

También hay que decir que el recibo está incompleto, falta la parte de abajo (pues no se requiere) y, además, contiene información que los usuarios deberían conocer y entender de qué se trata.

Lo primero que conviene saber es si todos los recibos de uso doméstico son iguales. Una tarea inicial consiste en que los estu-



diantes consigan un *recibo de la luz* de sus casas y los comparen.
¿Contienen la misma información?

En segundo lugar, que describan con sus propias palabras la información que dicho documento contiene. Es pertinente orientarlos en la descripción y para ello conviene que se guíen con las siguientes preguntas:¹⁸

1. ¿Cuál es el monto a pagar?
2. ¿Cuánto se cobra de IVA?
3. ¿A qué periodo corresponde?
4. ¿Cuál es la fecha límite de pago y cuándo se cortarían el suministro de energía si no se llegase a pagar?
5. ¿Cuál es la lectura del periodo anterior?
6. ¿Cuál es la lectura del periodo actual?
7. ¿Cuál fue el consumo?
8. ¿Con qué unidades se mide el consumo?
9. ¿Conocen estas unidades?
10. ¿Saben a qué magnitud física corresponden?

Para los fines centrales de esta PD la información de los recuadros *Medición del consumo* y *Facturación* son los más importantes. Sin embargo, es necesario mencionar que la lectura e interpretación correcta del recibo requiere tener conocimientos de estadística descriptiva básica, aritmética “sofisticada” y conocer información que no se presenta en el recibo. En concreto, con relación a esto último, se debe saber que para una misma localidad, la CFE cobra de manera diferenciada los distintos niveles del consumo de la energía eléctrica, más aún, el aumento de las tarifas¹⁹ no es lineal; existe una tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que puede disparar el

¹⁸ Hay preguntas generales que podrían incluirse y que pueden servir para que los estudiantes conozcan la información que contiene el recibo. Por ejemplo, con referencia al primer recuadro gris, ¿a qué se refieren los términos “cuenta”, “uso”, “hilo”? Del tercer recuadro, ¿a qué se refiere el apoyo gubernamental? ¿Cómo se interpreta lo que se dice en el recuadro cuyo título es *Información importante*?



ACTIVIDAD

INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Una extensión natural de esta actividad consiste en un *Estudio de Observación* donde los estudiantes lleven a cabo una encuesta. La idea es que sondeen el consumo promedio de sus vecinos, la comparen con el promedio del consumo de las casas de sus compañeros de clase o de la escuela y con lo que se dice en el recuadro del recibo de la luz cuyo título es *información importante*.

monto a pagar. Esta tarifa se define en función del consumo promedio del último año de la localidad de la que se forma parte. Tampoco se dice que las tarifas cambian dependiendo de la región del país y de la época del año; se cobra menos en las regiones donde hace más calor y por ende en esas zonas el subsidio gubernamental es mayor. Todo esto se relaciona directa o indirectamente con los conceptos de Física y además dificulta el cálculo del pago por el consumo de energía eléctrica.

La siguiente tabla ejemplifica la manera en que se cobra en el caso del uso doméstico para cuatro regiones del país y en el periodo de verano para tres de ellas.

Por lo expuesto anteriormente, la lectura del recibo tiene dos dificultades técnicas de diferente índole: la primera se refiere a las unidades con las que se mide el consumo de la energía eléctrica (véase también la tabla) y la segunda, un asunto que atañe a las matemáticas, cómo calcular —para comprobar— el cobro correcto

¹⁹ Como ya se mencionó, las tarifas dependen del consumo particular, de la región del país y de la temporada. En la tabla únicamente se ejemplifican algunas tarifas. La CFE determina ocho tarifas domésticas distintas y su definición depende, como se puede ver en la tabla, de la temperatura mínima promedio de la región durante el verano (periodo que abarca de abril a septiembre).



| Tarifa | Características | Consumo | Rango de consumo de energía kW.hr (Kilowatt-hora) | Precio en pesos por kW.hr |
|--------|---|-----------------|---|---------------------------|
| A | Zona centro del país (que corresponde al clima monzónico en verano) | Básico | Hasta 75 | 0.711 |
| | | Intermedio | 76 - 130 | 0.839 |
| | | Excedente | Más de 130 | 2.859 |
| 1A | Localidades con temperaturas mínimas promedio de 25°C en el verano | Básico | Hasta 100 | 0.711 |
| | | Intermedio | 101 - 150 | 0.839 |
| | | Excedente | Más de 150 | 2.859 |
| 1B | Localidades con temperaturas mínimas promedio de 30°C en el verano | Básico | Hasta 125 | 0.711 |
| | | Intermedio | 126 - 225 | 0.839 |
| | | Excedente | Más de 225 | 2.859 |
| 1C | Localidades con temperaturas mínimas promedio de 33°C en el verano | Básico | Hasta 150 | 0.711 |
| | | Intermedio | 151 - 300 | 0.839 |
| | | Intermedio Alto | 300 - 450 | 1.071 |
| | | Excedente | Más de 450 | 2.859 |

del consumo.²⁰ El segundo asunto se dejará al margen y la atención se enfoca en las unidades, los kilowatts-hora.

Este es el momento adecuado para introducir el concepto *potencia*, compararlo con la energía y discutir la relación entre ambos conceptos. Es recomendable que los estudiantes investiguen qué es la potencia, en qué unidades se mide, cuál es la diferencia con la energía en términos de la definición que se presenta en la sección de *Conceptos preliminares* y que todo lo expliquen con sus propias

²⁰ Como retos para los estudiantes puede preguntarse: ¿Cuál sería el monto del recibo para un consumo de 500 kW.hr para cada una de las tarifas de la tabla? Sin perder de vista que es un asunto exclusivamente aritmético.



palabras. Asimismo, en una primera aproximación, la potencia se define como:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía o trabajo}}{\text{Tiempo}}$$

En símbolos:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{W}{t}$$

Y con más precisión se debe escribir como:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

Las unidades del SI con las que se mide la potencia son:

$$[P] = \frac{[E]}{[t]} = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2 / s^2}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} = W \text{ (watt)}$$

Se debe poner énfasis en que $\frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ segundo}} = 1 \text{ watt}$ o su equivalencia, $1 \text{ joule} = 1 \text{ watt} \cdot 1 \text{ segundo}$ que es consistente con que la *Energía* = *Potencia* · *tiempo*. Y que $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$, un kilowatt es equivalente a 1000 watts. Por cierto, actualmente también es común el uso de megawatts o megavatios (MW) o incluso gigawatts o gigavatios (GW) y que equivalen a 1 millón de watts y a 1000 millones de watts, respectivamente.

Retomando las cuestiones 8, 9 y 10 del principio de la actividad, y como ya se mencionó, la relación entre la potencia se puede escribir como: $E = P \cdot t$, entonces se concluye sin lugar a dudas que los kilowatts-hora son unidades de energía. ¿Cuál es su equivalente en joules? Veamos.

$$\begin{aligned} 1 \text{ hora} &= 3\,600 \text{ segundos} \\ 1 \text{ kW} \cdot \text{hr} &= 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ J} \end{aligned}$$



PARÉNTESIS MATEMÁTICO

DEFINICIÓN FORMAL DE POTENCIA

La potencia es la “rapidez con la que se realiza trabajo o se gasta la energía”. Formalmente, en el caso más general, se escribe como:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Es decir, es la razón instantánea de cambio entre la energía o trabajo (o calor) y el tiempo. No obstante, en este nivel no se aborda de esta manera.

Dos casos particulares del cálculo de la potencia merecen ser detallados. Si se hace trabajo empleando una fuerza constante, en el caso aproximado, se tiene que:

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta(F \cdot d)}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta d}{\Delta t} = F \cdot v$$

La potencia mecánica se puede calcular como el producto de la fuerza por la velocidad.

Por otro lado, en el caso de la electricidad, se tiene que el *voltaje*, que es energía por *unidad de carga*, esto es: $\mathbf{V = E/q}$. Entonces:

$$E = q \cdot V$$

Para calcular la potencia se tiene que:

$$\Delta E = \Delta q \cdot V + q \cdot \Delta V$$

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot V + q \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Si el voltaje es constante, $\Delta V = 0$, y se tiene:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = I \cdot V$$

Ya que $\frac{\Delta q}{\Delta t} = I$, y es la definición de la corriente eléctrica.



Debido a que en el ámbito de la nutrición es común usar la Caloría (con mayúscula) equivalente a una kilocaloría (1000 calorías, con minúscula) no está de más mencionar que también existe un equivalente entre los kilowatts-hora y las Calorías.

$$\begin{aligned} 1 \text{ Caloría} &\approx 4.187 \text{ joules} \\ 1 \text{ Caloría} &= 1 \text{ kilocaloría} \approx 4187 \text{ joules} \\ \therefore 1 \text{ kW} \cdot \text{hr} &\approx 860.04 \text{ Calorías} \\ 1 \text{ kW} \cdot \text{hr} &\approx 860.04 \text{ kilocalorías} \end{aligned}$$

Donde el símbolo “ \approx ” significa *aproximadamente*.

PARÉNTESIS MATEMÁTICO

TRANSFORMACIÓN DE UNIDADES

Un método para transformar unidades consiste en suponer que éstas —sus símbolos— se pueden pensar como literales de una ecuación, en consecuencia, se pueden hacer operaciones algebraicas con ellas. Por ejemplo:

$$1 \text{ caloría} = 4.187 \text{ joules}$$

Aunque la abreviatura de caloría es “cal”, para mostrar el método podemos escribir como:

$$1 \cdot c = 4.187 \cdot J$$

Si se despeja J, se tiene:

$$\frac{1 \cdot c}{4.187} = 1 \cdot J$$

$$\therefore 0.2389 \cdot c = 1 \cdot J$$

Es decir, un joule equivale a 0.2389 calorías (aproximadamente, por cierto). Si se aplica este método a la igualdad:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{hr} = 3'600\,000 \cdot 1 \cdot J$$

Al sustituir el valor de 1 joule recientemente obtenido, se tiene:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{hr} = 3'600\,000 \cdot (0.2389 \text{ c})$$

$$1 \text{ kW} \cdot \text{hr} = 864\,040 \text{ cal}$$



Conceptualmente la diferencia entre potencia y energía o trabajo se puede exhibir con el siguiente ejemplo. Un individuo sube tres veces la misma escalera para llegar a la azotea desde la planta baja. En el primer caso lo hace caminando y tarda diez minutos; la segunda vez sube de dos en dos los escalones, se detiene a descansar, reinicia su ascenso y también se tarda diez minutos. La última ocasión asciende corriendo y tarda solamente cinco minutos. Si únicamente se toma en cuenta el trabajo que la persona hizo en contra de la fuerza de gravedad, que siempre partió del mismo punto y llegó a la misma altura, ¿cuánto trabajo realizó en cada caso? ¿Cuánta potencia desarrolló en cada caso?

Aunque el problema se puede resolver para el caso general, para fijar ideas se supondrá que la masa m de la persona es de 75kg , la magnitud de la aceleración de la gravedad g es de $9.8\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ y la altura que asciende es de 60m . La tabla de la página siguiente resume los datos y las fórmulas; la intención es que los estudiantes realicen los cálculos y llenen las celdas con los datos.

Como siempre asciende la misma persona, la masa no cambia y tampoco su peso. En los tres casos, además, la altura de ascenso es la misma y en consecuencia el trabajo —igual a la energía potencial en este caso— también es el mismo. Es muy importante destacar que, inclusive, si la persona emplea 20 minutos en subir, el trabajo es el mismo en los tres ascensos; nótese que la energía potencial es la misma. Considérese que en el segundo ascenso, cuando subió de dos en dos los escalones y se detuvo a descansar, la altura

| | Masa (kg) | Peso (N) | Altura (m) | Trabajo (J) | Tiempo (s) | Potencia (W) |
|--------------------|--------------|-------------|---------------|----------------|---------------|-----------------|
| Fórmula o valor | | | | | | |
| 1° Ascenso | 75 | 735 | 60 | 44 100 | 600 | 73.50 |
| 2° Ascenso | 75 | 735 | 60 | 44 100 | 600 | 73.50 |
| 3° Ascenso | 75 | 735 | 60 | 44 100 | 300 | 147.0 |



total —la distancia total vertical— tampoco cambió en relación con los otros dos ascensos. Asimismo, mientras se detuvo a descansar, cesó el trabajo físico pues no siguió ascendiendo (no hubo cambio en la altura).

Lo que sí cambia es la rapidez con la que realiza el trabajo en el tercer caso, según las condiciones del problema, en la tercera subida emplea la mitad del tiempo. Los cálculos muestran que en el tercer caso se desarrolló mayor potencia, de hecho, el doble en comparación con los dos primeros ascensos. Formalmente esto se puede demostrar de la siguiente manera.

Sean P_1 la potencia desarrollada en el primer ascenso, P_2 la desarrollada en el segundo y P_3 la del tercero. El trabajo es el mismo para los tres ascensos, esto es: $W_1 = W_2 = W_3 = W$ y los tiempos de ascenso, definidos por las condiciones del problema, están relacionados de la siguiente manera: $t_1 = t_2 = 2 \cdot t_3$, el tiempo de ascenso en los primeros dos ascensos son el doble del tercero. De esta manera:

$$P_1 = \frac{W}{t_1} \Rightarrow P_1 \cdot t_1 = W$$

$$P_3 = \frac{W}{t_3} \Rightarrow P_3 \cdot t_3 = W$$

Igualando las dos ecuaciones anteriores se obtiene:

$$P_1 \cdot t_1 = P_3 \cdot t_3$$

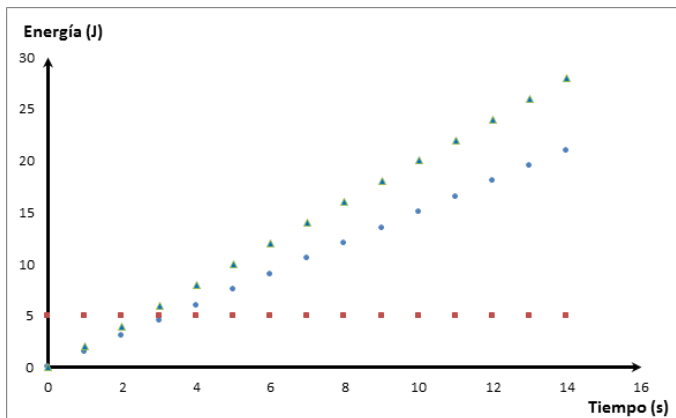
Pero como $t_1 = 2 \cdot t_3$, se sustituye t_1 en el lado izquierdo y se obtiene:

$$P_1 \cdot (2 \cdot t_3) = P_3 \cdot t_3 \Leftrightarrow P_1 \cdot 2 = P_3$$



Es decir, la potencia desarrollada en el tercer ascenso es dos veces la potencia del primer ascenso. Esto también vale para el segundo ascenso. Destaca que en esta demostración sólo se empleó la definición de potencia y la condición sobre el tiempo empleado en cada ascenso.²¹

Para finalizar esta sección es conveniente analizar la gráfica *Energía vs tiempo* para otros tres casos. A continuación se presenta una gráfica que corresponde a la energía empleada en tres procesos distintos en función del tiempo.



En los tres casos la relación entre la energía empleada y el tiempo transcurrido es lineal, y en dos de los procesos es directamente proporcional (¿en cuáles?). Hay un conjunto de preguntas que es menester que los estudiantes respondan y discutan sus respuestas.

1. ¿Qué energía se empleó a los cero segundos en cada uno de los procesos?
2. ¿Qué energía se empleó a los ocho segundos en cada uno de los procesos?

²¹ Un reto ilustrativo podría consistir en demostrar que si dos personas realizan el mismo trabajo, y una de ellas lo hace en una tercera parte del tiempo, entonces la potencia que desarrolla es el triple en comparación con la otra persona.



3. ¿Qué energía se empleó a los 13 segundos en cada uno de los procesos?
4. Entre 4 y 6 segundos, ¿cuál fue el incremento de la energía, ΔE , en cada proceso?
5. Cada conjunto de datos puede ser representado por una recta, ¿cuáles son las ecuaciones de cada una de las rectas?
6. ¿Qué unidades tiene la pendiente de cada una de las rectas?
7. ¿Qué interpretación física tiene en este caso la pendiente?
8. ¿Cuál recta tiene mayor pendiente?
9. ¿En qué proceso se desarrolló mayor potencia?
10. ¿Qué relación hay entre la pendiente de la recta y la potencia?

En el caso general la pendiente de una recta que pasa por los puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) está dada por: (ver recuadro, p. 71)

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

En nuestro caso la pendiente está dada por:

$$m = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Es constante para cada una de las rectas y cuyos valores son **2**, **1.5** y **0**, respectivamente.

No obstante, lo más importante es que el valor de la pendiente corresponde con la definición de potencia. Este es un resultado general: en las gráficas *energía vs tiempo*, cuando la relación entre las variables es lineal, la pendiente de la recta es la potencia.

Para responder la pregunta sobre qué aparato electrodoméstico gasta más energía habrá que esperarse hasta el capítulo VIII para tener una respuesta formal, no obstante, es posible hacer una práctica. escoja tres aparatos electrodomésticos: uno que transforme la energía eléctrica en energía mecánica (la licuadora por ejemplo), otro que funcione con circuitos electrónicos (la tv o la computado-



ra) y el tercero que transforme la energía eléctrica en calor (un calefactor o la secadora de pelo o de ropa). Desconecte todos los aparatos de casa y ponga a funcionar un minuto cada uno de los tres elegidos por separado, ¿cuál gasta más energía? Es necesario que mientras trabaja cada uno de los aparatos alguien más registre los cambios en el medidor de luz. Si tiene un medidor viejo, de rehilete como el de la imagen, vea que tan rápido gira en cada caso.

Las respuesta de las preguntas anteriores están en el Apéndice A.

ANÁLISIS GRÁFICO

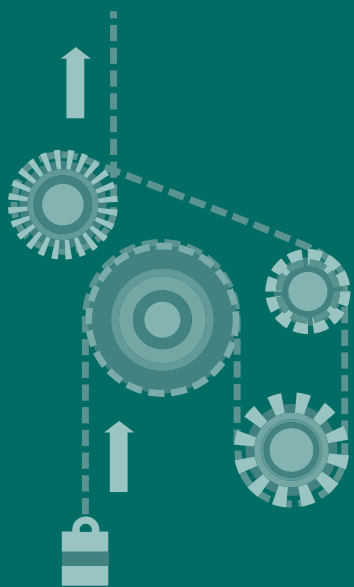
ENERGÍA VS TIEMPO

Las ecuaciones de las rectas de los procesos son: $E=2 \cdot t$ y $E=1.5 \cdot t$, que tiene la misma forma que $E=P \cdot t$. Se deduce que la pendiente de las rectas es justamente la potencia. Además, la pendiente $m = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ tiene las unidades de potencia: $[\Delta E]=\text{joules y } [\Delta t]=\text{segundos}$. En el caso de la recta horizontal la potencia es cero, pues $\Delta E=0$.

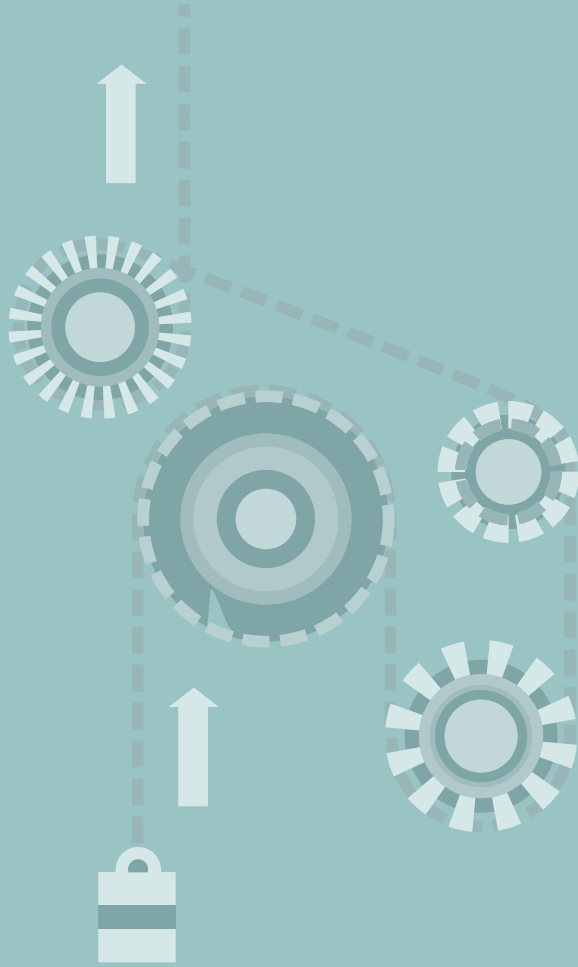
La ecuación de la recta horizontal es: $E=0 \cdot t+5$, donde el cinco representa la energía al iniciar el proceso. Aunque en los otros dos casos fue cero, esto no le resta generalidad al análisis puesto que lo importante es el valor de la pendiente de la recta.

En el caso de que la relación de la energía y el tiempo no fuese lineal, la potencia estaría dada por $\frac{dE}{dt}$, la derivada de la energía con respecto al tiempo.





VI. Conexión histórica: ciencia, máquinas y producción



“La energía es lo único que necesita el mundo”

Matthew Boulton (1728-1809)

A continuación se presentan tres imágenes que pueden ser representativas de los cambios de una época, y aunque no acontecieron al mismo tiempo, sí compartían un común denominador: el imperativo de producir más y más rápido.

La figura 3 se refiere al diseño de una máquina sembradora del agrónomo inglés Jethro Tull, ésta se presentó en 1731, en su obra *The New Horse-Hoeing Husbandry (La nueva labranza por medio de la tracción equina)*. Es la primera de la que se tiene registro. Su idea era mecanizar la siembra para producir más y vender los excedentes. La intención a la hora de producir tuvo un cambio radical, para muchos se pasó de producir para el autoconsumo, la supervivencia y el intercambio comercial con vecinos próximos a producir para obtener ganancias y maximizarlas. Este fue un proceso pau-

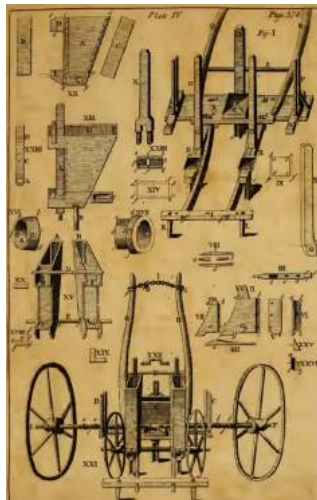


Figura 3
Máquina sembradora de Jethro Tull



latino que se desarrolló con ritmos diferentes en los distintos lugares del mundo (su evolución dependió de innumerables factores; meros accidentes, arbitrariedades, necesidades particulares, mentalidades, entre otros). Lo que es cierto es que el invento del agrónomo exhibía el vínculo fundamental que desde entonces tienen la tecnología y la economía.

El segundo cuadro, el más conocido, se refiere a la necesidad de evitar que las minas de carbón se inundaran mientras se extraía dicho material. En aquel entonces —como ahora— no sucedía que los dueños de las minas estuviesen preocupados por el bienestar de sus trabajadores, lo que les importaba es que no se ahogaran, que pudiesen trabajar más y extraer mayores cantidades de carbón. ¿Qué usaban para evitar que las minas se inundaran? Originalmente, animales de tiro, en particular caballos. Después emplearon máquinas de vapor que transformaban parte del calor de la combustión del mineral en trabajo mecánico. La máquina de vapor de Newcomen cuyo diseño aparece en un libro de Filosofía Natural experimental de 1744 es una de las primeras que funcionaron adecuadamente y por ello se convirtió en un icono de su época (véase la figura 4), Newcomen es un precursor de este tipo de implementos tecnológicos.

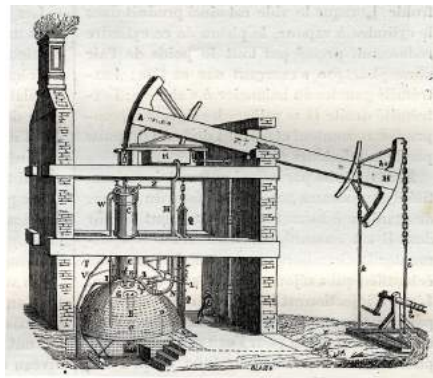


Figura 4
Máquina de vapor Newcomen



Matthew Boulton, el socio comercial de James Watt y que pasó de fabricar juguetes a construir máquinas de vapor para el desarrollo industrial, se jactaba de saber lo que la sociedad requería; en términos tecnológicos y comerciales no estaba errado, sin embargo, conceptualmente, al menos, por lo que se consigna en el epígrafe de esta sección y que repetía con frecuencia, estaba equivocado. En los siglos XVIII y XIX, tanto en América como en Europa, en relación con sus necesidades, las sociedades tenían fuentes de energía casi ilimitadas, el problema era el acceso rentable y, lo más importante, que dichas fuentes de energía permitieran procesos de producción de alta potencia. Asimismo, estas circunstancias obligaron a independizar los procesos de producción de la “fuerza de tracción animal” y comenzar a prescindir de la fuerza de los hombres, éstas durante milenios habían sido las fuentes indispensables de energía para la mayor parte de las sociedades humanas.

No es casualidad que en el Sistema Imperial de Unidades (el sistema inglés) una de las unidades de potencia sea el *caballo de fuerza* (*horsepower*, HP) y que se define como la potencia necesaria para levantar 33000 libras con una velocidad de un pie/minuto. Es clara la relación entre la definición de la unidad y los procesos de producción. Por cierto, tal como ocurre con otras unidades del sistema inglés, existe imprecisión tanto en la definición como en la medida, su valor varía entre los 745.7 watts (*Imperial HP*) y 735.5 watts (*Metric HP*). Aún más, también existe el *caballo de vapor* (CV) que equivale a 736 watts. El problema es que en nuestros días frecuentemente se hace referencia a la potencia de automóviles, barcos, trenes, etcétera, sin especificar cuál unidad se emplea.

La figura 5, tiene que ver con las comunicaciones y el transporte. En 1770, durante el reinado de Catalina la Grande en Rusia, una carta tardaba 18 meses para llegar de San Petersburgo a Kamchatka (Siberia) y las cosas no eran diferentes en el resto del mundo. A su vez, en Europa, desde el s. XVI el monopolio del transporte estaba en manos de la familia Tassis o Taxi. Sus correos especiales podían recorrer hasta 200 km diarios, estos constituían los servicios más rápidos de su tiempo (un mensaje tardaría en llegar del DF a León,



en Guanajuato, más de dos días). En 1837 se lleva a cabo la primera comunicación a distancia por medio del telégrafo y aunque su uso generalizado no ocurrió sino hasta la segunda mitad del s. XIX, antes del final de este siglo, ya se había iniciado el proyecto que permitió las primeras transmisiones telegráficas entre Europa y América. Con el telégrafo ocurrió por primera vez en la historia que el mensaje no requiriese de un mensajero.

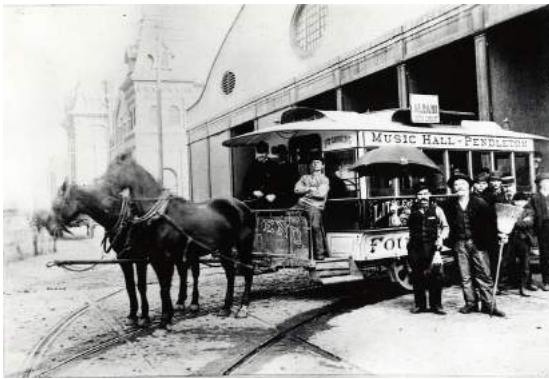


Figura 5

Un tranvía de finales del s. XIX tirado por una riata de caballos.

Finalmente, también en el s. XIX, en algunos países antes que otros, se instaura el sistema de transporte colectivo en las ciudades por medio de tranvías, pero al principio el medio de tracción fueron riatas de caballos o mulas. Esto permitió llevar de un lugar a otro a más gente en menos tiempo. Después, dependiendo de la ciudad y del país, la tracción animal se sustituyó por energía eléctrica.

Si fuese necesario definir nuestra sociedad por una magnitud física, no sería la energía, sin duda sería la potencia; hoy en día es un imperativo hacer más trabajo en menos tiempo.

Para concluir este capítulo se tratarán algunos asuntos de lenguaje, de cómo se ha enriquecido al importar términos técnicos desde la ciencia y la tecnología y de cómo en el hablar cotidiano estos términos tienen acepciones más amplias e imprecisas. En pri-



mer lugar, aunque los términos *energía potencial* y *potencia* tienen parecido fonético, en general no hay mayor confusión entre ellos, inclusive cuando la gente se refiere al potencial de algo o alguien, la relación —adecuada— es con la energía potencial. En este caso, las personas emplean la frase “el gran potencial de alguien” cuando están pensando en que podría ser capaz de hacer grandes obras, pero aún no las ha realizado. Esta concepción es análoga a la energía potencial, ésta, en cualquiera de sus formas, es “energía almacenada” que puede transformarse en calor, trabajo, movimiento, etcétera. En este caso el uso cotidiano no cambia el sentido del término técnico.

En el caso de la potencia, en el uso diario, el concepto se restringe a tres ámbitos: el de la maquinaria en general y muy particularmente a los automóviles o vehículos de combustión interna, en el desempeño deportivo y en el aspecto sexual. Es claro que no es un concepto tan conocido ni empleado como el de energía y es probable que por esto su acepción general sea una simplificación no útil. Con relación al primero de los ámbitos ya se habló en este capítulo, y con relación a los dos ámbitos que atañen al desempeño físico es pertinente hacer algunas precisiones. Es común oír a comentaristas deportivos del fútbol que “el balón tenía mucha potencia y por eso...”, por ejemplo. El balón puede moverse rápido, pero no tiene potencia, la potencia la ejercen agentes dinámicos para producir trabajo en poco tiempo. Un corredor de 100 metros planos sí puede ser potente, de hecho este es el atributo importante en los corredores de velocidad y por ello suelen ser especialmente fuertes (el área transversal de los músculos es grande y además desarrollan músculos de respuesta rápida). Por otro lado, también se considera un atributo deseable ser potente en el desempeño sexual, sin embargo, si nos ceñimos a la definición de la Física, ser potente es insuficiente en dos sentidos: se puede desarrollar una gran potencia pero durante poco tiempo y es probable que esto no sea deseable. Finalmente, la definición de la Física no contempla la complejidad de las relaciones personales que son más diversas y enriquecedoras que simplemente calcular el cociente de la energía y el tiempo.



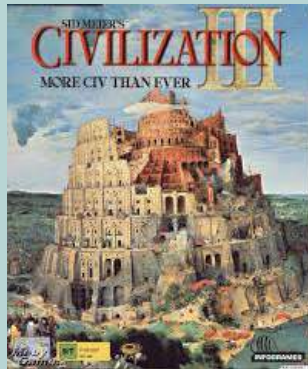
TIC

EL JUEGO DE LA CIVILIZACIÓN

Desde hace algunos años existe un juego para computadora de estrategia denominado Civilization (Civilización) y cuyo objetivo último es enviar una nave espacial a colonizar algún supuesto exoplaneta en el sistema estelar de Alfa-Centauri. Del juego existen seis versiones y lo interesante es que este juego, como muchos otros, únicamente fue posible porque hay computadoras.

El juego no es en tiempo real, pero tiene gran cantidad de variables y, se debe poner énfasis en que, aunque eventualmente hay que participar en la guerra, el propósito es civilizar no destruir. Además, para cumplir el objetivo es necesario desarrollar implementos técnicos, hacer descubrimientos científicos y conseguir que las ciudades evolucionen. El juego es realista porque retoma los hitos de la historia de la humanidad de todos los ámbitos, los enlaza y permite una enorme posibilidad de trayectorias de desarrollo.

El juego puede resultar muy educativo pues exhibe las relaciones entre inventos, ideas y necesidades sociales. Es un juego que requiere pensamiento complejo y algunos conocimientos de Historia.





VII. Experimento: calentar dos kilos de agua



En la sección B de los *Conceptos Preliminares* del fascículo se incluyó la gráfica de temperatura en función del tiempo. En ese caso un kilogramo de agua se calentó con un dispositivo de resistencia eléctrica como el que se muestra en la fotografía de abajo. En esta ocasión la idea es calentar dos litros de agua (que corresponden a dos kilogramos, pues la densidad del agua es $\rho = 1\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 1\text{kg} / \text{dm}^3$). A continuación se listan los objetivos, los materiales, el procedimiento, las precauciones y los datos para llevar a cabo este experimento. Es recomendable que se lleve a cabo en el laboratorio o en el salón de clase con la supervisión del docente.

A. Objetivo

Determinar la relación que existe entre la temperatura y el tiempo al calentar dos kilogramos de agua con un calentador de resistencia eléctrica. Asimismo, determinar la potencia promedio que ejerce el calentador y la corriente que circula a través de éste.



B. Material

Termómetro de laboratorio.
Cronómetro.
Recipiente con capacidad mayor a 3 lt.
Báscula.
Calentador de resistencia.
Agua.

C. Procedimiento

Se toman dos litros de agua del grifo y se mide su masa con la báscula (como ya se mencionó se emplearon dos kilogramos). Se dispone el agua en el recipiente junto con el termómetro y se espera un par de minutos (para que alcance el equilibrio térmico). Se toma la temperatura del agua. Se coloca el calentador dentro del agua y se conecta. Se toman medidas de temperatura cada 15 segundos hasta llegar a los 300 segundos. Véase la imagen de arriba.

D. Precauciones

La práctica es muy sencilla y únicamente se debe tener cuidado por dos razones: en primer lugar, el calentador de resistencia conduce una corriente eléctrica grande y enciende por su alta temperatura y, en segundo lugar, se usa agua caliente. Es muy importante señalar que las quemaduras con agua son de las más graves (por su alta capacidad calorífica específica) y que por ende deben tomarse todas las precauciones posibles. **Bajo ninguna circunstancia debe meterse o sacarse el calentador cuando está conectado y el agua está caliente.**



E. Los datos recabados se presentan en la siguiente tabla

| Tiempo (s) | Temperatura (°C) |
|------------|------------------|
| 0 | 26 |
| 15 | 26 |
| 30 | 28 |
| 45 | 31 |
| 60 | 33 |
| 75 | 35 |
| 90 | 36 |
| 105 | 39 |
| 120 | 42 |
| 135 | 43 |
| 150 | 44 |
| 165 | 46 |
| 180 | 48 |
| 195 | 50 |
| 210 | 52 |
| 225 | 53 |
| 240 | 54 |
| 255 | 57 |
| 270 | 59 |
| 285 | 61 |
| 300 | 62 |

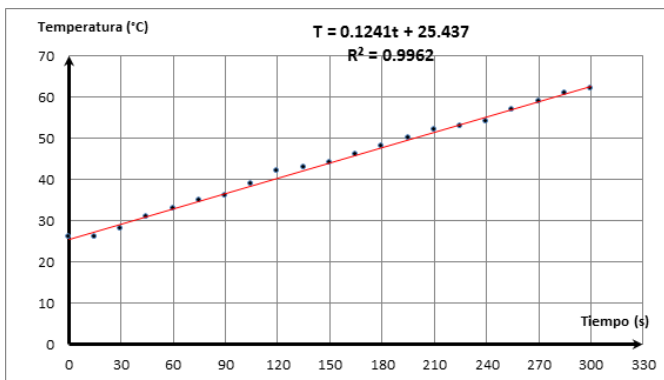
F. Análisis de resultados

Con los datos anteriores se elaboró la siguiente gráfica, es ampliamente recomendable que los estudiantes hagan la gráfica con los datos que ellos recaben. En la gráfica que aquí se presenta, aparece la línea de tendencia (agregada usando el software de la hoja de cálculo) y la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales $T = 0.1241 \cdot t + 25.437$. Asimismo se consigna el núme-



ro $R^2 = 0.9962$, R se denomina coeficiente de correlación y mientras más cercano sea su valor a ± 1 la relación funcional es más adecuada. Si el valor de R es cercano a cero el ajuste no es bueno. Al final del fascículo, en el apéndice B se mostrará cómo se elabora la gráfica y cómo se determina la ecuación de la recta y el coeficiente de correlación.

Por el momento sólo basta decir que si bien el software de la hoja de cálculo determina los valores de la pendiente y la ordenada al origen de la mejor recta con cuatro y tres decimales respectivamente, experimentalmente esto carece de sentido, pues los datos medidos tienen una precisión de unidades de segundos y de grados (enteros) y ningún cálculo puede tener una precisión mayor que las medidas experimentales. No obstante, para los propósitos de la PD se usarán los valores con todos los decimales pues el interés es otro.



El primer objetivo de la práctica se consigue al determinar la ecuación de la recta. Al observar la gráfica, sin tomar en cuenta la sofisticada herramienta que otorga el software de la hoja de cálculo (el ajuste a una recta), suponer que la relación entre las variables es lineal, es una buena hipótesis que tiene un sustento empírico. Físicamente se asume que el proceso de calentamiento del agua es



regular, es decir, que los incrementos de la temperatura, ΔT , siempre son proporcionales a los intervalos de tiempo, Δt , correspondientes. Y no tendría por qué ser de otra manera, las desviaciones de la recta pueden tener su origen —principalmente— en la impericia al medir o como resultado del rústico diseño experimental. ¿Existen otras fuentes que expliquen las desviaciones de la recta? Sí, podría haber variaciones en el voltaje del tomacorriente, pero no hay manera de determinarlo con este diseño.

Una vez que se asume que la relación entre las variables es lineal, ¿cómo calcular la mejor recta sin el uso del software? Existen tres criterios heurísticos para determinar la mejor recta “a ojo”, éstos son:

1. Que la recta pase por la mayor cantidad de puntos experimentales.
2. Que haya tantos puntos experimentales arriba como debajo de la recta.
3. Que las distancias de los puntos experimentales a la recta sean las menores posibles.

Estos criterios, formalmente, no son independientes y constituyen el fundamento matemático para calcular la ecuación de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales. Sin embargo, este no es el espacio para explicar y desarrollar el método²² formalmente, sólo se mencionará que es el método que usan tanto las calculadoras científicas como las hojas de cálculo para determinar la recta de mejor ajuste a los datos experimentales.

Para determinar la ecuación se eligen dos puntos que pasen por la recta “a ojo”. Para fijar ideas se toman dos parejas de puntos experimentales (en la tabla de la sección E los renglones están sombreados). Se escogieron los puntos (60,33) y (180,48) y se calculó

²² Se denomina “Método de mínimos cuadrados” y consiste en forzar las condiciones para minimizar la suma de las distancias de los puntos experimentales de una recta. Además, es posible generalizarlo a relaciones no-lineales (cuadráticas, potenciales, logarítmicas, exponenciales, etcétera).



la pendiente y la ordenada al origen de la recta que pasa por dichos puntos, esto es:

$$m = \frac{48 - 33}{180 - 60} = \frac{15}{120} = 0.125$$

Por facilidad se usó la ecuación de la recta:

$$y - y_c = m \cdot (x - x_c)$$

Donde (x_c, y_c) son las coordenadas de un punto conocido, en este caso un punto experimental. Usando las variables T y t de la práctica, se substituyen los valores y se despeja “ T ”, esto es:

$$\begin{aligned} T - 33 &= 0.125 \cdot (t - 60) \\ T &= 0.0125 \cdot t - 0.125 \cdot 60 + 33 \\ T &= 0.125 \cdot t + 25.5 \end{aligned}$$

Esta es una ecuación muy parecida a la que se obtuvo con la hoja de cálculo. Físicamente, ¿qué significado tiene la ordenada al origen, 25.5? ¿Qué unidades tiene? ¿Qué unidades tiene la pendiente? Estas preguntas son medulares en el análisis de los datos y para obtener las conclusiones. De hecho en su forma racional, el valor de la pendiente, $0.125 = 1/8$, permite una más clara interpretación física: *para aumentar un grado la temperatura de los dos kilogramos de agua —con este calentador— fue necesario que transcurrieran ocho segundos en promedio.*

Aún faltan dos objetivos: el cálculo de la potencia y de la corriente que circula por el calentador. Para el primero es necesario recurrir al resultado que obtuvo James P. Joule sobre el equivalente mecánico del calor del que ya se habló a lo largo de este fascículo. La energía transferida en forma de calor producto del aumento de temperatura está dada por:

$$\Delta Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T$$



Donde ΔQ es la energía en forma de calor absorbida como resultado del aumento de la temperatura ΔT , m es la masa del agua en este caso (2kg) y C_e es el calor específico o la capacidad calorífica específica. Para el agua, en el SI, el calor específico es:

$$C_e = 4187 \frac{J}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

El calor específico es la energía necesaria para elevar un grado centígrado (o un grado kelvin) un kilogramo de agua. De esta manera es posible calcular ΔQ . Aún más, como se ha repetido a lo largo de esta presentación, la potencia es:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Como el calor es una forma de energía, se tiene que:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot C_e \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

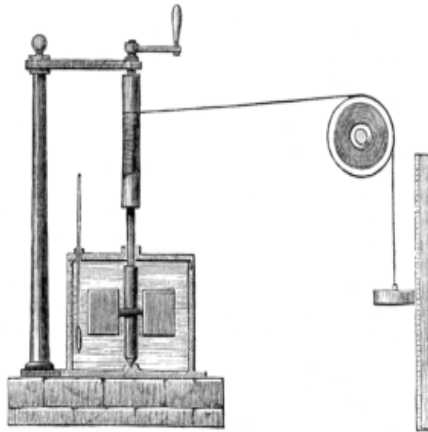
Se conocen todos los datos necesarios para calcular la potencia, éstos son: m , $C_e \Delta T$ y Δt .

ACTIVIDAD

RETOS PARA REFLEXIONAR

Los datos de la primera gráfica *Temperatura vs tiempo* corresponden al calentamiento de un kilogramo de agua, ¿cuál es el valor de la pendiente de la mejor recta de esa gráfica? ¿Cuál es la relación entre las pendientes de las rectas para uno y dos kilogramos de agua? ¿Por qué es así? Sabiendo que las mediciones se hicieron el mismo día, ¿qué significa físicamente que ambas rectas tengan el mismo valor de la ordenada al origen?





La ilustración corresponde a la imagen ideada por Joule para medir el equivalente mecánico del calor. La imagen es de dominio público y fue tomada del siguiente enlace: [http://es.wikipedia.org/wiki/Equivalente_mec%C3%A1nico_del_calor#/media/File:Joule%27s_Apparatus_\(Harper%27s_Scan\).png](http://es.wikipedia.org/wiki/Equivalente_mec%C3%A1nico_del_calor#/media/File:Joule%27s_Apparatus_(Harper%27s_Scan).png)

Para finalizar este apartado, sólo falta calcular la corriente eléctrica que circula a través del calentador. Considérese que en el recuadro *Definición formal de potencia*, al final, se derivó una fórmula que relaciona la potencia (eléctrica), el voltaje y la corriente, esto es: **$P = V \cdot I$**

La potencia eléctrica, térmica o mecánica son equivalentes y como se conoce el voltaje (125 volts promedio en el tomacorriente) es posible determinar la corriente eléctrica despejándola.

$$I = \frac{P}{V}$$

En el caso del experimento que realicen los estudiantes, los valores para la potencia y la corriente deben ser cercanos a los que se presentan en la siguiente tabla. Los valores fijos están sombreados y el resto depende de la elección y con qué ecuación se realizan los cálculos.



| m (kg) | ΔT (°C) | ΔQ (J) | Δt (s) | P (W) | V (volts) | I (amperios) |
|-------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------|----------------|-------------------|
| 2 | 63 | 527 562 | 300 | 1 758.54 | 125 | 14.07 |

Es posible establecer conclusiones generales de índole diferente, y que se retomarán en el capítulo ix. A saber:

1. El consumo de energía eléctrica (el consumo de la luz) se mide por medio de la corriente eléctrica y del tiempo de uso de los aparatos. Se sabe cómo se relacionan la corriente, el voltaje y la potencia, reescribimos la ecuación:

$$P = V \cdot I$$

Y que la potencia también es:

$$P = \frac{E}{t}$$

Igualando las ecuaciones se tiene que:

$$V \cdot I = \frac{E}{t}$$

Y si se despeja la energía E se obtiene:

$$E = V \cdot I \cdot t.$$

Tal como se dijo arriba, la energía eléctrica que se consume depende de la corriente, del tiempo y del voltaje, pero este último es constante.

2. La corriente eléctrica al pasar por los materiales produce calor y aumento de temperatura, de hecho en la mayoría de los casos es un efecto indeseable, pues significa pérdida



de energía. El calentador de la práctica está fabricado para magnificar este efecto y así es como calientan el agua en muchos lugares, aunque es necesario señalar que no es un método eficiente. Por cierto, quien descubrió este efecto fue el mismo Joule, por eso actualmente lleva su nombre (*efecto Joule*) y sobre este asunto regresaremos en el capítulo IX que aborda la ley de Ohm.

3. Ahora se tiene alguna pista para dar respuesta a la pregunta sobre la electrocución de la persona del video y de la noticia, ¿qué es lo que causa la muerte? Si se observa el video o se relea la breve descripción se puede inferir qué es lo que lo mata.

NEXOS

BOLSA DE TRABAJO

En seguida se presenta una terna de trabajos que ofertan las empresas en el mercado laboral relacionado con la electricidad.

- Ingeniero Electricista. Ingeniero CFE alta tensión. Se solicita ingeniero con especialidad en alta tensión con experiencia en CFE. Consta de aislar de alguna forma cualquier arco eléctrico que se pueda dar durante la instalación de ciertos artículos de acero.
- Técnico Electricista. Se solicita técnico con experiencia en poda y cableo subterráneo.
- Técnico Electricista. Se solicita técnico en obras e instalación eléctrica industrial.





Instalación del cableado para la línea telefónica entre Inglaterra y Francia en 1910. El cable se tiende en el fondo marino del Canal de la Mancha.







VIII. ¿Más energía o más potencia?



Existe una pregunta que ocasionalmente formulan algunos estudiantes, que es pertinente y pone énfasis en la imprecisión del uso de términos técnicos en la vida diaria, palabras más o menos cuestionan: “Si ustedes los maestros de ciencias afirman enfática y constantemente que *la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma*, ¿por qué se habla de crisis de energía o crisis de energéticos? El planteamiento es adecuado semántica y conceptualmente; y lo es tanto si se emplea el término energía o si se usa energético, pues este último se refiere a las sustancias o materiales que producen energía. Siendo más puntillosos en la definición de energéticos, es decir, son todas las sustancias, en cualquier estado, de las que se puede obtener energía por diversos procesos, entonces casi cualquier cosa se puede considerar como tal; con esta definición, en rigor, un kilo de cacahuate (una excelente golosina, por cierto) es un energético y también lo es un pedazo de madera o de plástico o el gas metano, etcétera. Técnicamente el asunto requiere mayor precisión, y por eso se afirma que los energéticos, por medio de diversos procesos (combustión o digestión, por ejemplo) ceden energía al entorno.

Esta precisión —adecuada— sigue siendo insuficiente para dar respuesta al cuestionamiento del párrafo anterior. ¿Por qué un litro de petróleo sí se considera un energético y un kilo de cacahuate no? ¿Cuál es la diferencia? Hay dos razones: el petróleo es una sustancia que al quemarse entrega al entorno grandes cantidades de energía en poco tiempo y, por otro lado, su combustión es más eficiente que la del cacahuate. El petróleo es un “concentrado” de energía cuya combustión permite procesos de alta potencia, y los procesos de alta potencia —como ya se dijo— constituyen el imperativo de la producción en nuestra sociedad. No se pierda de vista que la potencia es la energía (otorgada o usada) por unidad de tiempo. Los estudiantes tienen razón, el problema no es la falta de energía, ésta se conserva, no desaparece, el problema es de potencia y, además, de cuan eficientemente se transforma la energía para producir trabajo. Este segundo punto, la eficiencia, es un problema irremediable; no existe ningún proceso ni ninguna máquina que transforme toda la



PARÉNTESIS FÍSICO

DOS CONCEPTOS TÉCNICOS ÚTILES

La imposibilidad de construir una máquina 100% eficiente es un principio fundamental de la Física. La segunda ley de la Termodinámica fue enunciada de manera equivalente por varios científicos en el Sxix y tiene importantes implicaciones filosóficas. Lord Kelvin y Rudolf Clausius enunciaron este principio, Sadi Carnot conjeturó la validez con base en sus estudios acerca del rendimiento y fabricación de máquinas térmicas. Finalmente, Ludwig Boltzmann, usando estadística, también otorgó un enunciado equivalente de esta ley.

Uno de los enunciados de esta ley es: “Es imposible obtener trabajo mecánico aprovechando el calor a una sola temperatura”.

Por otro lado, e , la eficiencia se define como:

$$e = \frac{\text{Energía útil}}{\text{Energía suministrada}}$$

Su valor puede darse en porcentaje y para cualquier proceso siempre sucede que:

$$0 \leq e < 1$$

O si se da en porcentaje es:

$$0 \leq e < 100\%$$

energía que se le suministra en energía útil, siempre hay una porción de energía que ya no se puede emplear (la mayor parte se disipa en forma de calor).

No se pueden dejar de consignar algunos hechos acerca de lo discutido hasta aquí y que tienen que ver con las acciones que llevamos a cabo en la cotidianidad. En nuestros días, para muchas personas, el automóvil es un símbolo de estatus social, no obstante, los



automóviles que usan gasolina —vehículos de combustión interna— son de las máquinas menos eficientes que el ser humano ha fabricado; aun con las mejoras en el diseño, la mayor parte de la energía que suministra el combustible se disipa en forma de calor o se emplea para mover al propio auto (no a los pasajeros). Está claro que la eficiencia es más baja mientras menos pasajeros se transporten en el vehículo. En contraposición, la bicicleta es una máquina muy eficiente y además su uso tiene enormes ventajas en términos de salud y del cuidado del ambiente.

Finalmente, para cerrar esta breve digresión, es de destacar que la dificultad que significa no entender que la crisis de los energéticos es un problema de potencia y eficiencia, no de conservación de la energía, tiene impacto en quienes toman las decisiones en este país. Cuando se pretendió hacer una reforma energética (en 2008) el Congreso de la Unión invitó a especialistas y no especialistas a debatir sobre el tema, lo grave es que la inmensa mayoría de quienes participaron en las discusiones no entendía la diferencia entre energía y potencia, usaban los conceptos con descuido y como si fuesen sinónimos y esto sin lugar a dudas tiene implicaciones para el conjunto de la sociedad.



Algunos cálculos: Actividad

En seguida se presenta una tabla con una lista de electrodomésticos que se suelen usar en los hogares, con algunos de sus respectivos datos técnicos: en la segunda columna se registra la potencia promedio que se requiere para que dicho aparato funcione y la cuarta corresponde al tiempo estimado de uso al día (en segundos). La idea del reto es que los estudiantes investiguen la potencia del aparato en cuestión recurriendo a aquellos utensilios que hay en su casa, con esto se pretende que verifiquen el dato registrado en la segunda columna. También deben calcular la energía consumida con base en los datos de la tabla y/o con aquellos que son resultado de su investigación, así se llenan las celdas de la quinta columna. En la siguiente sección, se efectuarán los cálculos de la corriente eléctrica de uso de los aparatos para llenar las celdas de la última columna.

Los estudiantes pueden escoger un subconjunto de la lista de electrodomésticos o incluso incluir algún otro que no esté contemplado, las únicas restricciones es que sea un aparato que se use en casa y que para funcionar emplee corriente eléctrica.

Nótese que se emplean los segundos porque es la unidad del SI y esto facilita los cálculos, sin embargo, el tiempo puede darse en horas y/o minutos y pedir a los estudiantes que los transformen a segundos, más aún, los estudiantes pueden determinar los valores de esta columna con base en sus hábitos de uso de los diferentes utensilios. Asimismo, es posible hacer variaciones en el ejercicio otorgando los datos de diferentes combinaciones de columnas (calculando previamente su valor, por supuesto), por ejemplo: las columnas 1 y 4 o las columnas 3 y 4. La lista de electrodomésticos es exhaustiva para que los estudiantes puedan escoger con base en aquellos que tienen en casa y, por otro lado, para el llenado de las celdas de la última columna será necesario suponer que el voltaje promedio es de 120 o 125 voltios.

El rango de variación de la potencia de uso de los aparatos electrodomésticos es muy amplio y por ello existen categorías que se



| Aparato | Potencia (watts) | Potencia Investigación (watts) | Tiempo de uso al día (segundos) | Energía consumida (J) | Corriente eléctrica en uso (amperios) |
|------------------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Horno de microondas | 800 | | 1 200 | | |
| *Horno eléctrico | 1 000 | | 900 | | |
| Cafetera | 800 | | 600 | | |
| Hervidor de agua | 1 000 | | 900 | | |
| Refrigerador | 100 | | 84 600 | | |
| Lavaplatos | 200 | | 3 600 | | |
| Tostador de pan | 750 | | 300 | | |
| Sandwichera | 750 | | 300 | | |
| *Batidora | 300 | | 900 | | |
| Licuadaora | 400 | | 600 | | |
| Plancha | 1 000 | | 7 200 | | |
| Lavadora de ropa | 1 000 | | 3 600 | | |
| *Aspiradora | 1 500 | | 3 600 | | |
| Secadora de pelo | 1 600 | | 1 200 | | |
| *Plancha de pelo | 1 000 | | 1 200 | | |
| Rasuradora eléctrica | 20 | | 600 | | |
| Cepillo eléctrico | 5 | | 300 | | |
| Consola de juegos | 60 | | 10 800 | | |
| Televisión | 100 | | 14 400 | | |
| Reproductor de música | 20 | | 10 800 | | |
| Radio | 10 | | 7 200 | | |
| Computadora | 70 | | 10 800 | | |
| Calefactor | 1 500 | | 7 200 | | |
| Ventilador | 20 | | 7 200 | | |
| Foco ahorrador | 30 | | 14 400 | | |
| Modem | 20 | | 84 600 | | |
| DVD | 40 | | 7 200 | | |
| Adaptador de corriente | 12 | | 3600 | | |

*Estos aparatos no se usan todos los días. El *adaptador de corriente* es el nombre correcto y adecuado de los cargadores de los teléfonos celulares, las tabletas, etc.



definen como bajo, medio y alto consumo. Siempre es necesario tener presentes las relaciones entre potencia y energía ($P = E \cdot t^{-1}$ ó $E = P \cdot t$) y dejar claro que el consumo de energía depende tanto de la potencia de uso del aparato como del tiempo de uso (sin considerar la eficiencia). En estos términos se puede preguntar:

1. ¿Qué aparatos tienen mayor potencia de uso?
2. ¿Estos aparatos comparten alguna característica física o de funcionamiento?
3. ¿Qué aparatos tienen menor potencia de uso?
4. ¿Estos aparatos comparten alguna característica física o de funcionamiento?
5. ¿Cuál es el aparato que más tiempo está en uso?
6. ¿Cuál el que menos?
7. ¿Cuál consume más energía?
8. ¿Cuál menos?

Hay dos preguntas más que es importante plantear, aunque en este momento no se tengan los elementos para responderlas, éstas son:

9. ¿Cuál de los aparatos de la lista podría causar más fácilmente la electrocución de un usuario si comete alguna imprudencia o algún descuido?
10. ¿Cuál es la potencia de uso de un celular?

Recuérdese que al final del capítulo anterior se otorgaron tres conclusiones, la última está relacionada con la corriente eléctrica y la electrocución.

Una rara historia de la tv

Hace algunos años, en un programa de la barra matutina de la tv abierta se presentó un vídeo que estaba (y está) en Internet y que en ese momento tenía alta audiencia. Hasta aquí nada fuera de lo

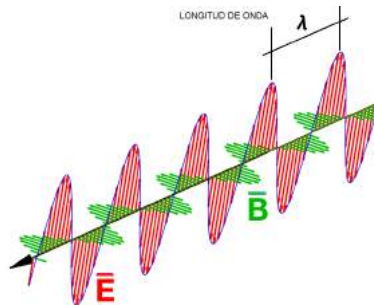


normal. En el video se muestra a tres jóvenes adultos en torno a una mesa, en la mesa -sobre un mantel- hay tres teléfonos celulares dispuestos en forma de T invertida y con una separación entre ellos de unos 10 cm aproximadamente. En lo que sería la intersección de la T hay cinco granos de maíz (con el que se hacen “palomitas”). Coordinadamente hacen funcionar los celulares, timbran porque reciben llamadas y unos instantes después los granos de maíz saltan y explotan hechos “palomitas”. Se infiere que las ondas electromagnéticas con las que funcionan los celulares transmiten energía con la que consigue cocinar los granos de maíz. Aunque no es la finalidad, también se puede deducir de este fenómeno que con tres celulares funcionando simultáneamente cerca de nosotros, podríamos recibir tanta energía como la suficiente para cocinar palomitas.



Lo sorprendente —por inusual— es que en el programa se decidió replicar el “experimento” que se presentó en el video. Los conductores decían que querían poner a prueba lo que vieron para reproducir el fenómeno, sus comentarios exhibían un sano escepticismo; no lo mencionaron así pero se entendía que pensaban que “eventos extraordinarios como éste requieren de pruebas extraordinarias”. Esta insólita actitud, en un medio que suele ser de una excesiva ramplonería, es una postura deseable para toda la información a la que se puede acceder, además constituye el primero de los dos pasos fundamentales para poner a prueba cualquier aseveración susceptible de ser investigada científicamente: hacer pruebas independientes sobre si efectivamente ocurre el fenómeno observado, procurando repetir el experimento o las circunstancias en condiciones iguales a las originales. Si se puede replicar el experimento y sus





ESQUEMA QUE REPRESENTA A UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA (COMO LA LUZ).
E ES EL VECTOR DE CAMPO ELÉCTRICO Y B ES EL VECTOR DE CAMPO MAGNÉTICO.

resultados, el segundo paso es explicar el mecanismo que produce que sucedan las cosas tal como suceden. En primer lugar se proponen aquellos mecanismos conocidos que se sabe que funciona para casos semejantes. Bajo la situación de tener que “echar mano” de un mecanismo novedoso, es imprescindible que éste sea capaz de explicar fenómenos parecidos y de predecir otros aún no observados. Así funciona la ciencia.

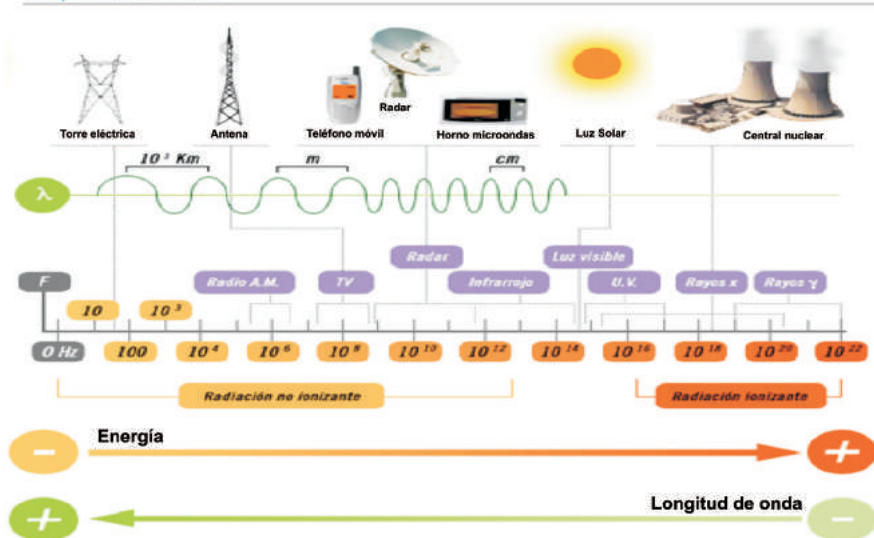
Baste decir que los conductores y la producción del programa hicieron todo lo posible para reproducir el fenómeno; usaron tres teléfonos celulares del mismo modelo a los del video, aumentaron el número de celulares, acercaron los celulares a los granos de maíz. No consiguieron hacer palomitas de maíz con celulares. Más aún, fueron muy cautos en sus conclusiones, una chica declaró: “Todo parece indicar que el video es un engaño, sin embargo, no podemos estar seguros, quizá no estamos considerando alguna otra cosa”. Tiempo después, los autores del video mostraron el truco; habían quitado la fuente de un horno de microondas y la habían puesto debajo de la mesa donde estaban los celulares y los granos de maíz, encendieron la fuente y como sabían cuánto tiempo, en promedio, se tarda en cocinar los granos, coordinaron los celulares para que pareciera que los teléfonos eran la fuente de energía que cocinó los granos. Usaron teléfonos celulares porque al igual que el horno de microondas funcionan con ondas electromagnéticas, eso hizo verosímil su truco. Lo que en general se desconoce es que las ondas con las que funcionan las señales telefónicas no tienen la misma longi-



tud de onda ni la misma frecuencia que las del microondas y, muy importante, la potencia de funcionamiento del microondas es mucho mayor que la correspondiente del celular.

Posiblemente los conductores tampoco lo sabían, pero el proceso de elaboración de las palomitas de maíz en el microondas es el siguiente: los granos de maíz tienen agua en su interior, de hecho la cáscara es una envoltura medianamente impermeable e impide que el agua interna se evapore. El microondas emite ondas electromagnéticas que interactúan específicamente con las moléculas de agua. Así está diseñado. Al transferir energía al agua del interior de la semilla ésta aumenta su temperatura, hierve, se expande, revienta la cáscara y produce las famosas palomitas de maíz. Se insiste, este tipo de hornos están diseñados específicamente para que las ondas que emite su fuente interactúen —en la mayor medida de lo posible— con las moléculas del agua, de hecho es muy eficiente para calentarla y por ello funciona mejor con los alimentos que la contienen. Esta es la misma razón por la que es muy peligroso hacer

El espectro de frecuencias



La imagen se tomó de http://www.rinconeducativo.org/radiacio/1nociones_bsicas_sobre_radiacin.html



trabajar un microondas con la puerta abierta y meter alguna parte del cuerpo, en este caso lo que sucede es que aumenta la temperatura del agua interior del organismo y ello puede producir lesiones por quemaduras internas.

¿Qué onda con los celulares?

Es común que en las noticias de la tv se digan cosas como: “Un estudio de la prestigiosa universidad x demostró que el uso de los celulares produce cáncer...” y presentan una breve cápsula con imágenes de hospitales y enfermos, laboratorios y algún experto —siempre vestido con bata blanca— que responde una única pregunta sobre el tema, además, claro está, se otorgan algunos datos técnicos sobre la investigación (que sólo sirven para validar la aseveración inicial, pero que no son útiles, pues no conforman la base de una explicación accesible para el televidente promedio). Si la nota no se presenta en las horas de alta audiencia, entonces es posible que se realice un reportaje más extenso que inclusive exponga las opiniones de quienes refutan la demostración de la relación causa-efecto entre el uso de celulares y el cáncer. Hay periodos en los que el debate sobre este tema es más intenso. Es cierto que una parte de la población, en todos los países, cree que los celulares producen cáncer. Lamentablemente son muy pocos los que “filtran” la información que otorga la tv; no es frecuente que la gente, con la finalidad de documentarse más sobre los temas que son de su interés, busque información independiente que apoye o contradiga lo que se expone en los medios televisivos.

Lo que se dijo en el párrafo anterior es otro buen pretexto para explicar lo que sí es un procedimiento científico y lo que no lo es. Usar la autoridad que significa ser un docente de Física para apoyar o refutar la aseveración presentada en la tv no es un procedimiento válido de la ciencia, en principio. Aquí los criterios de autoridad no valen, lo que importa es que los argumentos —sustentados en evidencia verificable— sean lógicamente coherentes y que concuerden con los datos disponibles.





Centro de prensa Publicaciones Países Programas y proyectos Gobernanza Acerca de la OMS

Centro de prensa

Campos electromagnéticos y salud pública: teléfonos móviles

Nota descriptiva N°193
Octubre de 2014

Datos y cifras

- El uso de teléfonos móviles se ha universalizado: en el mundo hay unos 6900 millones de contratos de telefonía móvil.
- El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha clasificado los campos electromagnéticos producidos por los teléfonos móviles como posiblemente carcinógenos para los seres humanos.
- Hay estudios en curso para analizar más a fondo los posibles efectos a largo plazo del uso de los teléfonos móviles.
- En 2016, la OMS realizará una evaluación formal de los riesgos a partir de todos los resultados de salud estudiados en relación con campos de

Es importante plantearse: ¿Qué puede ser útil para construir criterios para evaluar la información sobre el cáncer y los teléfonos celulares?

Existe información que puede acotar los juicios sobre este asunto y que sirve de guía para evaluar la posible relación entre el uso de celulares y el cáncer. Por ejemplo, en octubre de 2014, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó una nota en su página oficial con relación al principio de causalidad entre el cáncer y el uso de los teléfonos móviles, aunque en muchos noticieros, periódicos, páginas de Internet se dijo que la OMS²³ alertaba sobre la causa de cáncer como consecuencia del uso excesivo de teléfonos móviles, lo cierto es que la nota confirma lo que muchos otros estudios han determinado, no hay pruebas fehacientes acerca de dicha relación. La nota sí dice que mientras más tiempo se emplea el celular, más energía absorbe el usuario; algo que se deduce de la relación entre potencia, energía y tiempo que se ha usado varias veces en este fascículo. También se afirma que para 2016, por medio de la *International Agency for Research on Cancer*, la OMS lle-

²³ Véase: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>



vará a cabo un estudio para intentar determinar si efectivamente existe alguna relación entre el cáncer y el uso del celular. Asimismo, la Comisión Europea del Medio (CEM) tampoco ha encontrado evidencia en favor del desarrollo de cáncer como consecuencia del uso de celulares. Considérese que la CEM produce lineamientos de carácter vinculatorio con relación a riesgos para el medio ambiente y la salud de las personas; su política parte, entre otros, del *principio de precaución o cautela*, éste permite imponer medidas en condiciones de incertidumbre cuando los riesgos son grandes, aunque signifique grandes costos económicos en el corto plazo. Por otro lado, en EUA, el *National Institute of Environmental Health Sciences*, el cual actualmente lleva a cabo estudios sobre los posibles efec-

PARÉNTESIS FÍSICO

“ENERGÍA DE LA LUZ”

La luz corresponde a una pequeña zona del espectro electromagnético. El espectro está compuesto por una gama infinita de ondas electromagnéticas, también denominada radiación electromagnética. La energía de la radiación electromagnética en función de la frecuencia, f , está dada por:

$$E = h \cdot f$$

Donde h es la constante de Planck y equivale a $6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. La energía de la radiación electromagnética en función de la longitud de onda, λ , está dada por:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Donde c es la rapidez de la luz.



tos de los teléfonos celulares, en su página oficial declara que: “La evidencia científica actual no ha asociado el uso del teléfono celular con ningún problema de salud de forma concluyente, aunque se necesita más investigación sobre este asunto”. Es difícil pensar que instituciones con fines tan diferentes, entre muchas otras, fuesen irresponsables, descuidadas o poco escrupulosas en un asunto tan grave y cuyos costos son y serían altísimos para la humanidad en su conjunto. No se puede omitir el hecho de que —según la oms— a finales de 2009 había 6900 millones de contratos de telefonía móvil en todo el mundo y que éste es el único medio de intercomunicación en amplias regiones del planeta.

En función de los conceptos de Física y las explicaciones técnicas sobre la posible relación entre el uso de los celulares y el cáncer, es necesario analizar el esquema que representa el espectro electromagnético que está al final de la sección anterior. En primer lugar debe destacarse que la energía de la radiación electromagnética aumenta mientras mayor sea la frecuencia y menor sea la longitud de onda, por eso los rayos gama son más energéticos que los rayos x (y causan más daño cuando uno se expone a ellos). Lo contrario también es cierto, si la frecuencia disminuye o la longitud de onda aumenta, la energía disminuye; las ondas producidas por las torres eléctricas son las menos energéticas de todo el espectro electromagnético. Con relación a la energía hay algo más que decir: existen tres zonas separadas, dos de ellas, las de los extremos, se denominan “Radiación no ionizante” y “Radiación ionizante” respectivamente. La intermedia, que incluye una parte de la radiación infrarroja, toda la pequeña región visible y una parte del ultra violeta (uv) no tiene nombre. ¿Qué significan estas denominaciones? Se recordará que al final de la sección Conceptos Preliminares se habló de la *función trabajo*, ésta es la energía mínima necesaria para arrancar un electrón de su átomo, es decir, la energía para ionizarlo. *La radiación ionizante* del espectro, como su nombre lo consigna, es la que pueden ionizar a los átomos y con ello modificar la capacidad del átomo para reaccionar con otros y/o alterar las moléculas de las que forman parte, en particular las moléculas que constituyen



los cromosomas y que tienen las instrucciones para que las células se reproduzcan adecuadamente. *La radiación no ionizante* simple y sencillamente no puede arrancar electrones de los átomos, no tiene efectos sobre las propiedades químicas de los átomos. Los teléfonos celulares funcionan emitiendo y recibiendo radiación electromagnética denominada radio frecuencia (RF), entre la frecuencia modulada (FM) y las microondas, y es no ionizante. Entonces, si las ondas de uso del teléfono celular no pueden ionizar átomos, ¿qué efecto tienen sobre los usuarios? El principal efecto de la interacción de las RF y el cuerpo humano se reduce a calentar los tejidos.

| RANGO DE POTENCIA RADIADA DE LA ANTENA (watts) | DISTANCIA DE SEGURIDAD (metros) |
|--|---------------------------------|
| Menor a 100 | 0 |
| Entre 100 y 1000 | 10 |
| Entre 1001 y 2 500 | 15 |
| Entre 2 501 y 5 000 | 20 |
| Entre 5 001 y 10 000 | 25 |
| Entre 10 001 y 50 000 | 45 |
| Entre 50 001 y 100 000 | 63 |
| Entre 100 001 y 500 000 | 142 |
| Entre 500 001 y 1'000 000 | 200 |
| Más de 1'000 000 | 250 |

Tabla 1

Como era de esperarse, el otro factor importante de la interacción entre las ondas electromagnéticas y el cuerpo humano es la potencia, mientras está utilizándose está dentro del rango de 1 a 2 watts. ¡Cuatrocientas veces menor a la potencia promedio del horno de microondas! Además, incluso hay legislaciones en el mundo donde se obliga para que la máxima potencia sea 1.6 watts. Y este “pico” de potencia sólo ocurre cuando el aparato está empleándose en hacer llamadas.



Todo lo anterior es una parte del análisis, la que se centra en la potencia de emisión y recepción de las señales del teléfono, falta considerar la emisión de señales de las torres de telefonía, que por cierto, en otros países, es donde se ha enfocado la mayor atención acerca del posible peligro para la salud de las personas. La tabla 1²⁴ muestra la distancia de seguridad en función de la potencia radiada de la antena de telefonía, dicha distancia se define como aquella para la cual se tiene la certeza de que la energía depositada por la radiación electromagnética de RF no tiene efecto alguno sobre el organismo.

Para finalizar este apartado es necesario agregar algunos comentarios. En primer lugar, se sabe que los efectos de las ondas electromagnéticas en la salud dependen de la frecuencia (o longitud de onda), de la intensidad, del tiempo de exposición y de la respuesta de cada persona, asimismo, también hay que tomar en cuenta los diferentes niveles de absorción de los distintos órganos y tejidos, por esto, se puede afirmar que aún no hay datos suficientes para saber qué impacto tiene el uso generalizado y frecuente de teléfonos móviles. Es un hecho incontrovertible y al mismo tiempo poco conocido que, producto del tipo de desarrollo que ha primado en nuestras modernas sociedades —con procesos productivos de alta potencia y con el usos extensivo de las RF— exista lo que se denomina contaminación electromagnética (CEM) y que se desconocen sus efectos en el largo plazo. Por último, aunque no forma parte de los contenidos de este fascículo, un asunto técnico que es imprescindible mencionar es el hecho de que la radiación electromagnética de RF, entre otras, puede inducir corrientes eléctricas dentro de las células, y es a este fenómeno al que se le atribuye el posible daño en los tejidos corporales, no obstante, una vez más, aún se desconoce mucho sobre estos efectos y sus consecuencias en el corto, mediano y largo plazo sobre los seres vivos.

²⁴ Esta tabla es la que se emplea en la legislación en Cataluña, España, para la construcción y ubicación de antenas de transmisión en poblaciones.



PARÉNTESIS FÍSICO-MATEMÁTICO

POTENCIA DE EMISIÓN Y LA DISTANCIA A LA FUENTE

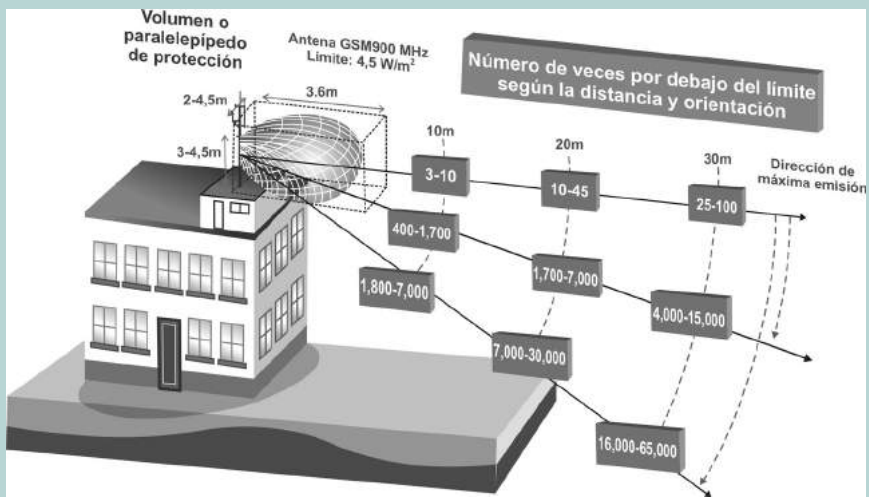
La potencia de una fuente cambia, disminuye al aumentar la distancia a dicha fuente. Considérese que la energía (por unidad de tiempo) que emite la fuente se distribuye en una superficie cada vez más grande conforme se aleja de la fuente, esto es:

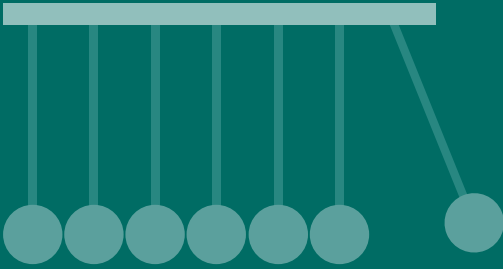
$$P = \frac{P_0}{A}$$

Donde P_0 es la potencia de la fuente y A es el área en la que se distribuye la energía. Si se supone que esa área corresponde a una esfera, se tiene que:

$$P = \frac{P_0}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

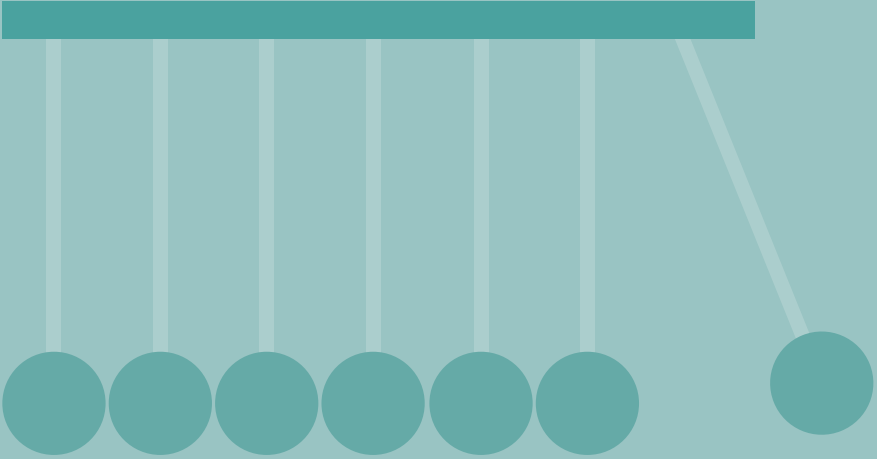
Sabiendo que r es la distancia a la fuente. Esta es la explicación de por qué un foco a 100 metros de distancia no ilumina prácticamente nada.





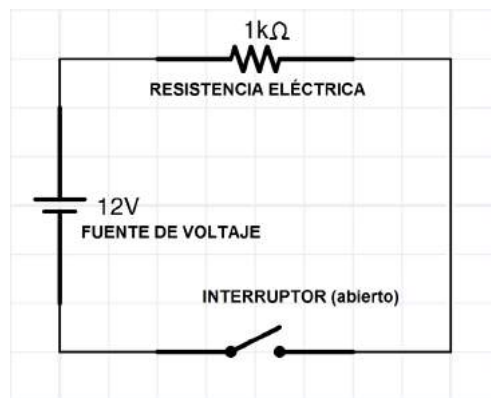
IX. Ley de Ohm²⁵

²⁵ Esta Ley no se cumple para materiales semiconductores o superconductores.



La exposición de los conceptos del fascículo, premeditadamente, no se realizó de la manera tradicional en dos sentidos: aquí los conceptos se han desarrollado en función de las necesidades de explicar los fenómenos inherentes a los retos planteados en la sección “Preguntas generadoras” y, en consecuencia, —a diferencia de los libros de texto convencionales— no se partió del concepto en abstracto. Asimismo, el esquema expositivo es: *problema-experimento y/o cálculos-marco teórico conceptual*, cuando lo común es: *marco teórico conceptual-experimento y/o cálculos de problemas teóricos* (casi nunca se abordan retos situacionales). Se realizó de esta forma porque se pretende replicar la construcción del conocimiento científico tal como se explicó en la introducción.

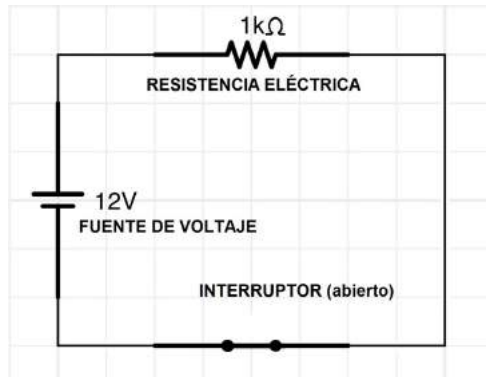
En este sentido la *ley de Ohm* y el *efecto Joule*, son modelos empíricos que se postularon sin ninguna referencia a la estructura atómica de la materia, son producto de concienzudos experimentos llevados a cabo con suma pericia, están fuertemente relacionados y, no es casualidad, ocurrieron en la misma época, la primera mitad del s. XIX.



Ohm descubrió que en un circuito eléctrico simple, formado por una fuente de voltaje, una resistencia y los cables conductores que conectan estos elementos (a veces se incluye un interruptor), la corriente que circula a través del circuito es directamente proporcional al voltaje otorgado por la fuente de energía. A su vez, Joule,



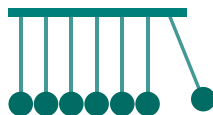
que estaba trabajando en problemas de termodinámica,²⁶ estableció que la potencia disipada en forma de calor en un circuito eléctrico era proporcional al cuadrado de la corriente que circula por dicho circuito. En ambos casos la constante de proporcionalidad tiene que ver con la resistencia eléctrica del circuito.



A continuación se encuentra la gráfica que representa la variación de la corriente en función de la variación del voltaje para tres resistencias distintas. Es importante destacar que experimentalmente las variables sobre las que se tiene control son la resistencia eléctrica y el voltaje (variables independientes) y el valor de la corriente depende de ellas (variable dependiente). Por lo regular, en la exposición teórica siempre se escribe la ley de Ohm como $V = R \cdot I$ porque nemotécnicamente es fácil recordarla (**V**ictoria es igual a la **R**eina de **I**nglaterra, **V**oltaje es igual a **R**esistencia por **I**ntensidad de corriente o simplemente la corriente), sin embargo, no debe perderse de vista que en este caso está invertida la relación de dependencia de las variables. Conceptualmente es más fácil analizar la ley de Ohm en concordancia con el experimento, esto es:

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

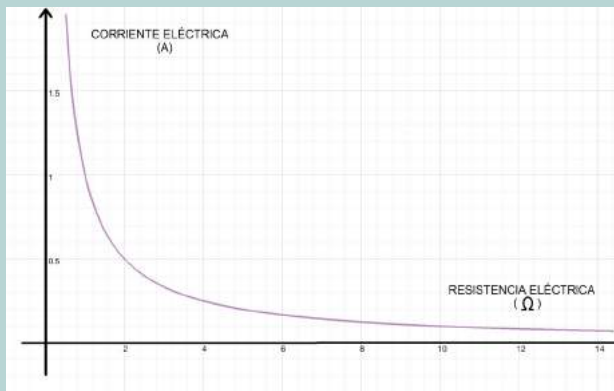
²⁶ Véase la lectura complementaria *El calor y la mecánica* al final del capítulo II.



PARÉNTESIS MATEMÁTICO

GRÁFICA: RESISTENCIA VS CORRIENTE

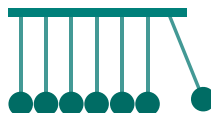
La variación de la corriente en función de la resistencia está representada en la siguiente gráfica. Observe qué pasa con I cuando R toma valores grandes o cuando tiende a cero.

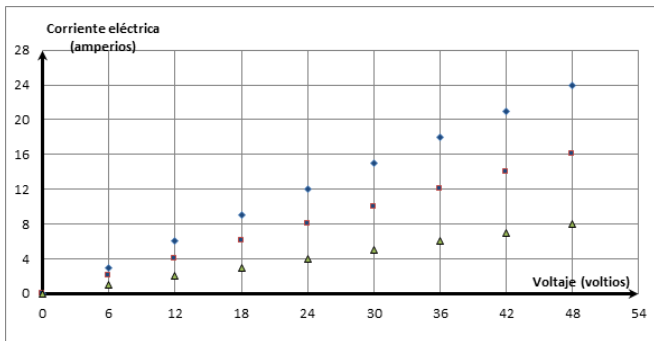


Para destacar la dependencia de la corriente eléctrica del voltaje y de la resistencia, estrictamente, la ley de Ohm debería escribirse así:

$$I(V, R) = \frac{V}{R}$$

Observe que en esta formulación es claro que la corriente es directamente proporcional al voltaje (si éste aumenta, aumenta la corriente; si disminuye, la corriente también disminuye) y que la corriente es inversamente proporcional a la resistencia (si ésta aumenta, la corriente disminuye y viceversa). Más aún, se puede preguntar qué sucede con el valor de la corriente eléctrica si la resistencia disminuye y el voltaje permanece constante. Esta es la pregunta medular para entender por qué se puede electrocutar una persona.



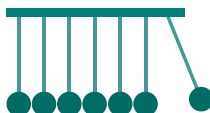


Es pertinente plantear a los estudiantes la siguiente serie de preguntas: ¿Cuál es el valor de la corriente eléctrica cuando el voltaje suministrado es de 30 voltios? ¿Y cuando el voltaje es de 12 voltios? Suponiendo que los datos de la gráfica provienen de una práctica de laboratorio y que únicamente se dispuso de valores del voltaje que son múltiplos de seis, ¿cuál sería la corriente cuando el voltaje aplicado fue de 9 voltios? ¿Cuál es su valor cuando se aplicaron 20 voltios? ¿Cuál de las tres serie de datos corresponde al circuito con mayor resistencia? ¿Cuál corresponde al de menor resistencia? ¿Cuál es la pendiente de cada una de las tres rectas que representan las mediciones prácticas? Finalmente, ¿qué relación hay entre las pendientes calculadas y el valor de la resistencia de cada uno de los circuitos?

En el caso del efecto Joule que se mencionó al final del capítulo VII, el científico inglés se dio cuenta que la potencia, disipada en forma de calor, era igual al voltaje aplicado por la corriente eléctrica.²⁷ Esto es:

$$P = V \cdot I$$

²⁷ Recuerde que en la sección El recibo de la luz, en el primer paréntesis matemático se presentó una deducción matemática de dicho modelo.



Por cierto, con esta fórmula se efectuaron los cálculos del final de la sección “El Recibo de la Luz”. Además, si se emplea la ley de Ohm, $V = R \cdot I$, sustituyendo el voltaje se obtiene que:

$$P = R \cdot I^2$$

Estas dos últimas fórmulas tienen importancia en diferentes niveles, a saber:

1. Con la primera se puede concluir la actividad de la sección anterior. Los estudiantes pueden calcular la corriente que circula por cada uno de los electrodomésticos.
2. Se sabe que $E = P \cdot I \cdot t$ y como ya se dijo, la energía se puede calcular como:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

Se insiste en cómo se cobra el gasto de energía eléctrica. Para empezar, se asume que el voltaje es constante (120 o 125 voltios). La energía es directamente proporcional a la corriente y ésta aumenta en función del tiempo que está en uso un electrodoméstico. Es suficiente con medir la corriente eléctrica. Asimismo, es necesario remarcar que el consumo de energía, como era de esperarse, depende de la corriente y del tiempo que se emplean los aparatos.

3. Cuando la corriente eléctrica circula por algún material, tal como lo demostró Joule, el material aumenta su temperatura pues disipa la energía en forma de calor. La cantidad de calor disipado depende de la corriente que circula y de la propia resistencia, a mayor resistencia mayor cantidad de calor disipado. Esto es la causa de muchos incendios producto de cortos circuitos.
4. Cuando la corriente eléctrica circula por una persona, como cualquier otro material, producirá calor, por ello cuando alguien recibe una fuerte descarga eléctrica se producen



quemaduras. La tabla siguiente²⁸ muestra los efectos de la corriente eléctrica cuando circula a través del organismo.

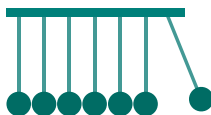
| Corriente (A) | Efecto en las personas |
|---------------|--|
| 0.001 | Se puede sentir |
| 0.005 | Es doloroso |
| 0.010 | Causa contracciones musculares involuntarias |
| 0.015 | Produce pérdida del control muscular |
| 0.070 | Si pasa por el corazón lo perturba gravemente, si la corriente se mantiene durante más de 1s, es fatal |

Voltaje y corriente eléctrica

Una pila o el tomacorriente son fuentes de energía eléctrica, ni duda cabe: en la primera la energía es obtenida por medio de una reacción química, en el segundo caso la energía es transmitida por medio de cables conductores de corriente eléctrica, la mayoría de las veces se produce a muchos kilómetros del lugar donde se consume y se genera transformando petróleo o gas, en calor y éste en energía eléctrica. Entonces, si es energía, ¿por qué se le llama voltaje y no se mide en joules?

El voltaje, como anteriormente se dijo, es *energía potencial eléctrica por unidad de carga*. Pero esta definición es teórica y abstracta, lejana conceptualmente a los estudiantes de bachillerato. Esta es una razón por la cual la exposición se ha centrado en el uso del voltaje, al que —aun sin comprenderlo cabal o correctamente— se está más habituado. ¿Cómo se interpreta una definición teórica y abstracta? La manera común es emplear analogías que resulten más comprensibles porque echan mano de conceptos más cercanos; en este caso lo habitual es usar un sistema hidráulico como analogía. El flujo de agua se corresponde con la corriente eléctrica

²⁸ La información se tomó del excelente texto *Física Conceptual* de Paul G. Hewitt.



TIC

IPAD; IPOD O IPHONE: APLICACIONES

Para los contenidos de estas secciones (y otros conceptos relacionados) son ampliamente recomendables las siguientes aplicaciones:

1. *iCircuit* que incluye elementos de electrónica
2. *Electric Motor*, que es una simulación para el cálculo de la potencia de un motor eléctrico
3. *Electric Field*, que permite ver las líneas de campo y las líneas equipotenciales para distribuciones simples de cargas eléctricas
4. *Electrons*, que es un simulador versátil de la interacción de caras eléctricas que, además, permite confinar las cargas en diferentes superficies.
5. *RC Circuits*, que es un simulador de un circuito RC.
6. *Resistor CC*, que es un calculador básico de la resistencia nominal con base en la gama de colores.
7. *iTronix*, que es un calculador de resistencias, capacitancias e inductancias. Además puede calcular la ganancia de amplificadores operacionales.

—al flujo de carga eléctrica—, la resistencia eléctrica se compara con la fricción que las tuberías ejercen sobre el agua, que la frenan y que producen que la energía se disipe, y el voltaje es la diferencia de presión que suministra una bomba de agua. La analogía es buena porque cada elemento comparte más de una característica con su análogo. Por ejemplo, la resistencia eléctrica y la fricción dependen de la misma manera de la longitud del canal de conducto y del área transversal de dicho canal; esto es, si aumenta la longitud, aumenta la resistencia, y si aumenta el área transversal del conducto dismi-

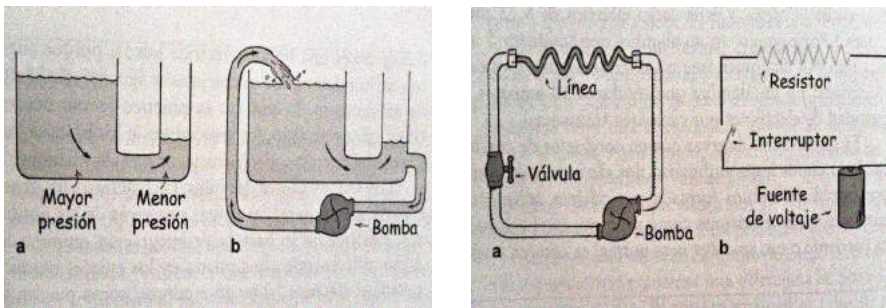


nuye la resistencia en ambos casos y aumenta tanto el flujo de corriente como el de agua.

Con relación al voltaje y la diferencia de presión también sucede lo mismo. En primer lugar el voltaje como la presión no fluyen, es la diferencia de voltaje y de presión lo que produce que haya flujos de carga eléctrica y flujo de agua, el voltaje es la energía por unidad de carga eléctrica y la presión es trabajo por unidad de volumen, mientras mayor es la resistencia eléctrica mayor es la caída de voltaje y mientras mayor es la fricción mayor es la pérdida de presión en las tuberías.

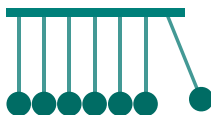
Por otro lado, la corriente eléctrica, que se define como $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, es análoga al gasto a través de una tubería $G = \frac{\Delta \text{Volumen}}{\Delta t}$.²⁹ En concordancia con el párrafo anterior, se puede afirmar que a mayor voltaje mayor es el flujo de corriente y, en correspondencia, análogamente, mayor diferencia de presión mayor es el caudal. Asimismo, la pila es la fuente de voltaje y la bomba de agua es la fuente de la diferencia de presiones, en ambos casos —tanto el voltaje como la presión— son los elementos que otorgan la energía para que la carga eléctrica y el agua fluyan, en un caso es la pila y en el otro la bomba.³⁰

Es necesario hacer algunas observaciones con relación a la corriente eléctrica. En primer lugar, es una de las siete magnitudes



²⁹ Sobre este concepto ya se expusieron elementos básicos. Únicamente se hace hincapié en que puede ser flujo en términos del volumen o de la masa.

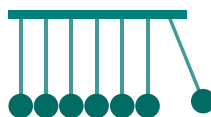
³⁰ Las imágenes fueron tomadas del libro ya citado de Paul G. Hewitt.



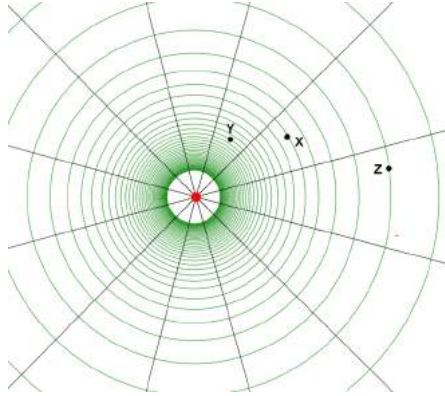
fundamentales del SI (junto con tiempo, masa, longitud, temperatura, intensidad luminosa y cantidad de materia) y con base en ellas se derivan todas las demás magnitudes de la Física (fuerza, presión, energía, volumen...). Por lo tanto, la unidad con la que se mide —el amperio o ampere (A) — es una de las siete unidades básicas. La intensidad de corriente eléctrica o corriente eléctrica se puede usar de dos maneras: $I = \frac{v}{R}$ o $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$. La unidad de carga eléctrica es el coulomb (C) y equivale a un ampere-segundo, esto es: $1C = 1A \cdot 1s$. La carga de un coulomb equivale a la carga eléctrica de 6.25 trillones de electrones, es decir, si se piensa en seres humanos, ese número de electrones es mil millones de veces el número de seres humanos que hay actualmente en el planeta.

Para concluir este apartado se explicará qué es el voltaje en analogía con los conceptos de la Mecánica. Pero primero se hará referencia a la siguiente imagen y al ejemplo más simple posible. Supóngase que la bolita del centro es una partícula con carga eléctrica positiva. Las líneas radiales son las líneas de fuerza que inventó Faraday para poder interpretar la interacción eléctrica y como medio para paliar su falta de formación matemática. Las circunferencias concéntricas corresponden a líneas de igual *potencial eléctrico* o de igual energía potencial eléctrica (técnicamente se denominan *líneas equipotenciales*), es decir, si otra partícula cargada (positiva o negativamente) se mueve a lo largo de una de esas líneas, no se efectúa trabajo.

Se supondrá que se tiene otra partícula cargada positivamente en la posición **X** de la imagen. Si la partícula pasa a la posición **Y**, entonces se tuvo que realizar trabajo para vencer la fuerza de repulsión eléctrica y se dice que aumentó su potencial eléctrico o energía potencial eléctrica. Al contrario, si pasa de la posición **X** a la posición **Z**, como su movimiento es favorecido por la fuerza de repulsión, en consecuencia disminuyó su potencial eléctrico. Con una partícula negativa en la posición original **X** pasa justo lo contrario, aumenta su potencial cuando se aleja y disminuye cuando se acerca y, muy importante, este caso es análogo a cuando alguien sube por una escalera vertical, aumenta su potencial gravitacional o su energía po-



tencial gravitacional. Por cierto, a la partícula que está en la posición **X** se le llama carga prueba.

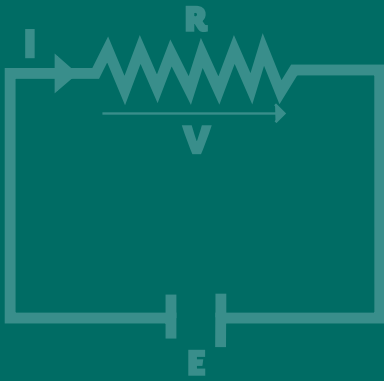


En ningún caso se hizo referencia al valor de la carga eléctrica, ni tampoco a la masa de la persona que asciende por la escalera. Si se supone que tanto la carga eléctrica como la masa valen 1, entonces la cantidad ya no es el potencial eléctrico, es el voltaje. ¿Cómo se puede conseguir que la carga eléctrica o la masa de la persona siempre tengan el valor de la unidad? Se divide justamente entre dichos valores. Se destaca el hecho de que en el área de Mecánica de la Física no se usa el concepto análogo al voltaje y ni siquiera tiene nombre. La siguiente tabla resume los conceptos de Mecánica y de Electrostática que son análogos.

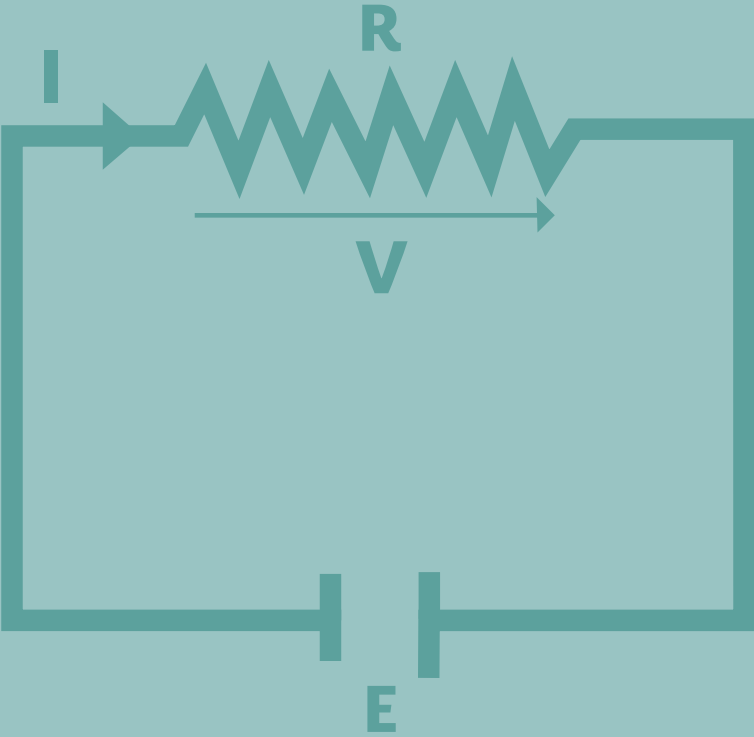
| | Fuerza | Campo | Energía potencial | Voltaje |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| Mecánica | $F = \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2}$ | $g = \frac{G \cdot M}{r^2}$ | $E_p = m \cdot g \cdot h$ | $\dot{\dots} = \frac{E_p}{m} = g \cdot h$ |
| Electrostática | $F = \frac{K \cdot Q \cdot q}{r^2}$ | $E = \frac{K \cdot Q}{r^2}$ | $E_p = q \cdot E \cdot h$ | $V = \frac{E_p}{q} = E \cdot h$ |

Para las fórmulas no se consideró el carácter vectorial de la fuerza y del campo aunque se pusieron con negritas y se tomaron las fórmulas aproximadas de la energía potencial.





X. Leyes de conservación



En la segunda mitad del s. XIX la ciencia ya había obtenido reconocimiento general, era impulsora del desarrollo y promotora de cambios. Ocurrió una alianza entre la ciencia y la manera de producir los bienes y servicios que repercutió en todos los estratos de la sociedad. Los dirigentes de los Estados se dieron cuenta que la preparación académica de la población podría contribuir al desarrollo de los países y de ello devino la formalización de las instituciones escolares. Condorcet, Sadi Carnot, Michael Faraday y James C. Maxwell,

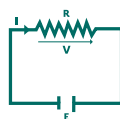
LENGUAJE

DIFERENTES USOS DE UNA MISMA PALABRA

En ciencia la palabra teoría no tiene el mismo significado que en el uso cotidiano. En el uso diario la palabra teoría es sinónimo de suposición. La mayoría de la gente, acerca de una posible explicación de algún hecho, suele decir “Tengo una teoría de lo que pasó...”, cuando en realidad está refiriéndose a una suposición. En ciencia debería decirse “Tengo una hipótesis de lo que sucedió...”. Una teoría en ciencia es toda una estructura explicativa, coherente lógicamente, comprobable en sus leyes y con poder predictivo.

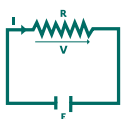
El problema no es cómo se usa la palabra teoría en la cotidianidad, sino cómo entienden los estudiantes el término cuando están en el ámbito de la ciencia, ¿pensarán que la teoría de Newton es una suposición más?

En el lenguaje común podría importar de la ciencia la gama enorme de términos que permiten describir el grado de certidumbre sobre aquello que sabemos: desde una corazonada, una especulación, una suposición, una hipótesis y una conjetura.



científicos de primer orden, escribían y daban conferencias para divulgar el conocimiento científico, y no fueron los únicos. Los éxitos de la ciencia eran formidables e impactaban la forma en que la gente veía el Universo y a las viejas instituciones. Un ejemplo, en 1783 William Herschel descubrió el planeta Urano, este descubrimiento es producto de la empírea y de su poderoso telescopio nuevo. La popularización del hecho, por medio de la prensa, conmovió a amplios sectores de las sociedades que durante siglos habían vivido con un esquema de universo inmutable y definido en términos de dogmas religiosos (¿por qué los textos religiosos no hacían mención a todas estas novedades?). Pero el asunto no acaba con Urano. Los astrónomos se abocaron a determinar los parámetros orbitales de este nuevo planeta y conforme recababan datos era cada vez más claro que esta información no se ajustaba a la predicción que se establecía con las leyes de Newton. Se supuso que la perturbación orbital de Urano debía tener su origen en otro cuerpo celeste, en ese momento la teoría de Newton estaba perfectamente establecida como un modelo adecuado de la descripción del universo y no se puso en duda su validez. Se efectuaron los cálculos para determinar —con base en las leyes de Newton— cuál debería ser la posición y la masa del cuerpo celeste que perturbaba la órbita de Urano. La respuesta fue Neptuno, su existencia se **dedujo** y la confirmación de la existencia ocurrió en 1846, todo, absolutamente todo, con base en la mecánica newtoniana.

Cuando Gustav Kirchhoff estableció las leyes que llevan su nombre y que operan para los circuitos eléctricos, el principio de conservación de energía ya había sido formulado por Hermann von Helmholtz y nadie del mundo de la ciencia lo ponía en duda. Sin embargo, a diferencia de la energía —una entidad que no es medible directamente, sino sólo por medio de sus transformaciones— las magnitudes que Kirchhoff usó sí son medibles. Esto no es un hecho menor para la didáctica de la Física, pues no es fácil demostrar la conservación de la energía en el caso de la Mecánica (siempre hay fricción y la mayoría de las veces no es despreciable) ni en el caso de la Termodinámica (donde los sistemas reales no son cerrados).



En el caso de los circuitos, el voltaje y la corriente pueden medirse y calcularse de manera relativamente sencilla y esto permite la corroboración de algunas leyes de conservación.

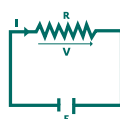
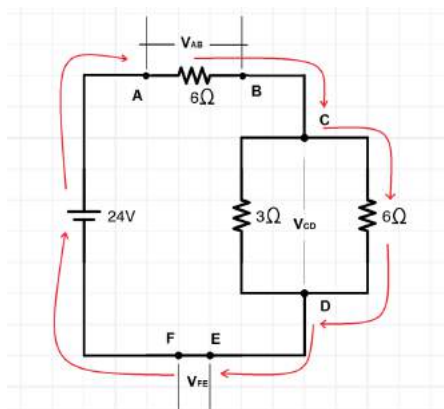
Las leyes se pueden enunciar de la siguiente manera:

1. En cualquier malla cerrada de un circuito eléctrico, la suma de las caídas de voltaje en cada resistencia es igual al voltaje suministrado por la fuente (o las fuentes) o, en su forma equivalente, la suma de los voltajes a lo largo de cualquier malla cerrada de un circuito eléctrico es cero.
2. En cualquier nodo, la suma de las corrientes que entran es igual a la suma de las corrientes que salen o, en forma equivalente, la suma de todas las corrientes que pasan por el nodo es igual a cero.

La primera corresponde a la ley de conservación de la energía (por unidad de carga eléctrica), la segunda es la ley de conservación de la carga eléctrica, atributo fundamental de la materia; que como en el caso de la propia materia, lo que aquí se enuncia es que “las cargas eléctricas no se pueden perder”.

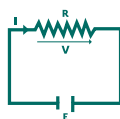
Es más sencillo explicar las leyes de Kirchhoff por medio de esquemas y un ejemplo concreto.

En la imagen inferior se observa un circuito con tres resisten-



cias (6Ω , 3Ω y 6Ω) en paralelo y en serie y una fuente de voltaje de $24V$. Una malla cerrada podría ser un camino que parte de la fuente de voltaje en la dirección del punto **A**, atraviesa la resistencia de 6Ω , pasa por **B**, pasa por **C**, atraviesa la otra resistencia de 6Ω , pasa consecutivamente por los puntos **D**, **E** y **F** y llega a la terminal negativa de la fuente de voltaje donde empezó el recorrido (está señalado con las flechas). Este es uno de los caminos cerrados que podría seguir la corriente eléctrica. Otra malla sería aquella en la que en lugar de pasar por la segunda resistencia de 6Ω , pasa por la de 3Ω y el resto del recorrido es igual al primer ejemplo. Incluso una malla podría ser la que parte del punto **C**, pasa por la resistencia de 3Ω , pasa por **D**, pasa por la resistencia de 6Ω (en sentido contrario a la flecha) y regresa al punto **C**. En este circuito tan simple ya no existe ninguna otra malla cerrada.

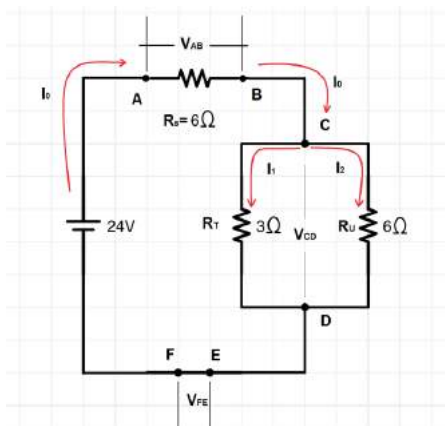
Son necesarias varias precisiones: 1. Desde un principio se elige arbitrariamente una dirección de recorrido (como si efectivamente fuese la dirección del flujo de la corriente), 2. Por facilidad, tal como aquí se hizo, casi siempre se inicia en la terminal positiva de alguna de las fuentes de voltaje (que es la raya mayor de su símbolo), 3. Aunque la convención consiste en que la corriente eléctrica fluye de la terminal positiva de la fuente a la negativa, en la realidad, como



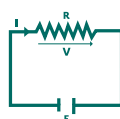
los portadores de la carga son los electrones (éstos son los que se mueven), el flujo de corriente sería al contrario. Es cierto que la elección es arbitraria como se afirma al principio del párrafo, no obstante, para resolver un circuito,³¹ una vez que se eligió una dirección del flujo de corriente esta dirección se mantendrá fija, 4. La suma o resta de voltajes depende de la dirección del flujo de la corriente como se explicará a continuación, 5. Se llama nodo a cualquier punto del circuito donde la corriente pueda dividirse o donde más de un flujo de corriente converjan, en el esquema, los puntos **C** y **D** son los únicos nodos.

De este modo las leyes se pueden escribir formalmente de la siguiente manera:

Primera ley: $24 + V_{AB} + V_{CD} + V_{FE} = 0$ o de manera equivalente: $24 = +V_{AB} + V_{CD} + V_{FE}$. Para la primera ecuación los voltajes V_{AB} y V_{CD} deben ser negativos porque de otra manera la suma no puede ser cero, pero son negativos por una razón física, porque se pierde energía cuando la corriente pasa a través de las resistencias. El voltaje $V_{FE} = 0$ pues no hay resistencia y sólo existe una modificación en el voltaje cuando la corriente pasa a través de una resistencia. V_{FE} se



³¹ Resolver un circuito es determinar los voltajes y las corrientes que circulan por cada uno de los elementos que lo conforman.



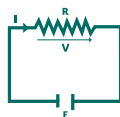
puso con fines didácticos; así, una regla general es que el voltaje entre dos puntos de la malla, entre los que no hay resistencia alguna, siempre es cero.

Segunda ley: $I_0 + I_1 + I_2 = 0$ donde I_0 es la corriente que entra al nodo C , I_1 e I_2 son las corrientes que salen del nodo. Claro, la carga que entra debe ser igual a la carga que sale, y por ello sus valores necesariamente serán negativos si I_0 se supone positiva.

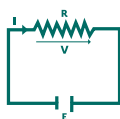
Usando la ley de Ohm, haciendo las sustituciones y simplificaciones, se pueden escribir tres ecuaciones con tres incógnitas:

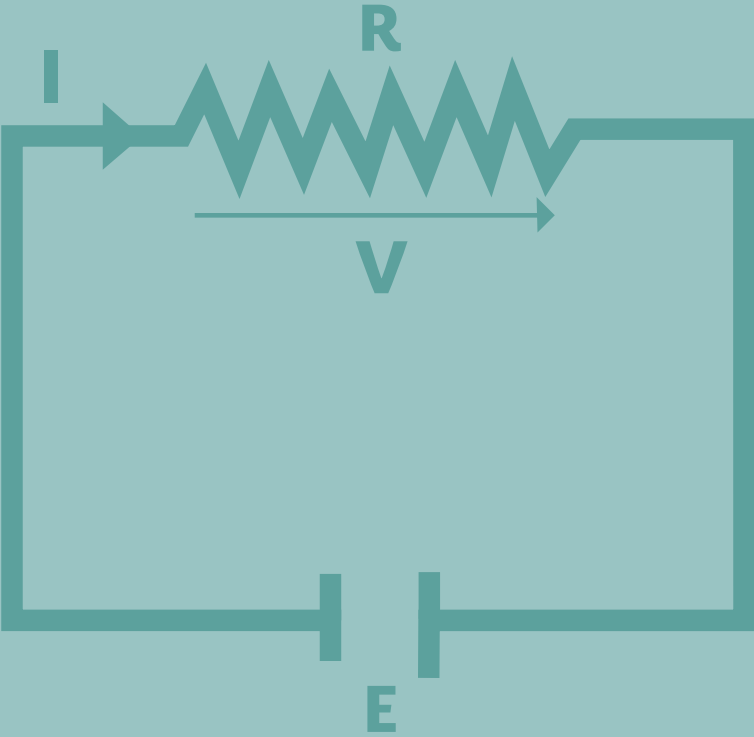
- (1) $I_0 + I_1 + I_2 = 0$ Por la conservación de la carga.
- (2) $4 + I_0 + I_2 = 0$ Por la conservación de la energía de la malla que pasa por la resistencia de 6Ω .
- (3) $8 + I_0 \cdot 2 + I_1 = 0$ Por la conservación de la energía de la malla que pasa por la resistencia de 3Ω .

Considérese que los voltajes $V_{AB} = I_0 \cdot 6$ y $V_{CD} = I_1 \cdot 3 = I_2 \cdot 6$ y que en consecuencia, como era de esperarse, la corriente que pasa por la resistencia de 3Ω es el doble de la que pasa su resistencia paralela de 6Ω , esto sucede porque su valor es la mitad y como se les aplica el mismo voltaje. Al determinar la solución del sistema de ecuaciones conformado por (1), (2) y (3) se obtienen los valores de las corrientes y con ello las caídas de voltaje y la potencia para cada elemento del circuito. Este procedimiento, que usa como base las leyes de conservación y que es verificable en el laboratorio con un multímetro, sustituye al que consta de determinar paso a paso las resistencias equivalentes para llegar a un circuito elemental (una fuente y una resistencia), con ello calcular el valor de I_0 . La siguiente tabla resume los resultados de los cálculos. Las celdas sombreadas corresponden a los valores totales, es decir, la suma de todos valores de la magnitud respectiva; para el voltaje coincide con el de la fuente y para la corriente con la corriente total I_0 que es la que fluye a través de la primera resistencia R_s (6Ω).



| Resistencia (Ohm/ Ω) | | | Voltaje (Voltios) | | | Corriente (Amperios) | | | Potencia (Watts) | | | |
|---------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|-------------|-------------------------|-------|-------|---|-------|-------|-------|
| | | | | | | $I = \frac{V}{R}$ | | | $P = V \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R}$ | | | |
| R_S | R_T | R_U | V_{AB} | V_{CD} | V_{total} | I_1 | I_2 | I_o | P_S | P_r | P_u | P_o |
| 6 | 3 | 6 | 18 | 6 | 24 | 2 | 1 | 3 | 54 | 12 | 6 | 72 |







XI. Conclusiones: conexión histórica

Hay una importante tradición de magos escépticos que cuenta en sus filas con Harry Houdini (1876-1926), Val Valentino (el mago enmascarado del popular programa *Los secretos de la magia finalmente revelados*) y a James Randi (1928-), entre muchos otros. El último de los tres es quien demostró en cadena nacional en EUA el fraude de Uri Geller, quien se hacía pasar por una persona con verdaderos poderes paranormales (Geller doblaba cucharas metálicas empleando exclusivamente su supuesto poder mental, y todo dejó de funcionar cuando Randi, le cambió las cucharas). Además Randi ha realizado formidables experimentos sociales que exhiben la dis-

TIC

ILUSIONISMO, MAGIA Y CIENCIA

En Internet es posible acceder a algunos de los trucos y la revelación (la explicación) de los mismos. Este excelente mago, Val Valentino, ha ganado fama inventando trucos y posteriormente revelando sus secretos. Es aleccionador intentar descubrir el truco antes de que se exhiba de qué trata el engaño, con frecuencia sorprende la simplicidad de la artimaña, en otras ocasiones llama la atención el uso de las propiedades físicas de los materiales para producir ilusiones, etcétera. Sin embargo, destaca la apuesta al racionalismo, el mago demuestra que se puede engañar a la gente porque esta desconoce información e ignora que desconoce dicha información; la revelación de los trucos participa de la misma lógica de la investigación. A continuación se presenta una breve lista de algunos enlaces con secciones del programa:

- <https://www.youtube.com/watch?v=OicH8OyBp1Q>
- https://www.youtube.com/watch?v=3PFq2zU_VyE
- <https://www.youtube.com/watch?v=a4r3FBMsusM>
- <https://www.youtube.com/watch?v=4quvldolDqk>



posición de la gente a creer en casi cualquier cosa. Houdini,³² por su parte, era un escapista excepcional, poseía una amplia preparación sobre historia de la magia y dedicó buena parte de su vida a exhibir a los charlatanes que abusaban de la credulidad de la gente y la estafaban con supuestos contactos con los espíritus de personas queridas muertas.

Desde el s. XIX los ilusionistas se han visto favorecidos por las innovaciones tecnológicas y científicas y casi todos los magos de renombre desde entonces tienen asesores científicos que les prepa-

TIC

UNA PELÍCULA DE MAGIA Y CIENCIA

El gran truco (The Prestige, Christopher Nolan, EUA 2005) es una película de suspense que narra la disputa entre dos ilusionistas, está ambientada en EUA a finales del s. XIX, y exhibe, entre otras cosas, la relación entre un científico (Nikola Tesla) y los magos. La electricidad es un “personaje” importante de la trama.



³² Tenía un importante acervo de libros sobre magia que donó a la Biblioteca del Congreso de los EUA, escribió artículos sobre escapismo para *Scientific American* y desenmascaró a cualquier cantidad de médiums y espiritistas. Es especialmente significativo el enfrentamiento con su amigo, Sir Arthur Conan Doyle, quien fue un ferviente creyente de lo paranormal.



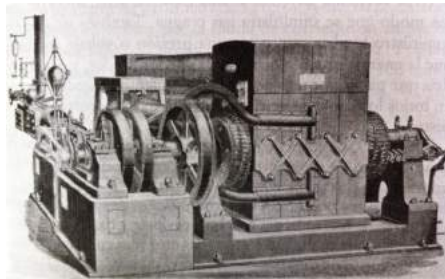
ran los trucos. Más aún, la ciencia y la tecnología convergieron con el ilusionismo a través del control y uso sistemático de electricidad; para el gran público, que desconocía todo de esta novedosa tecnología, las pilas, las luces, los electroimanes y los generadores eran “magia”. No sabían de los principios físicos que permitían explicar los fenómenos electromagnéticos ni tampoco conocían de sus riesgos, estaban impactados con los resultados de algunos experimentos y maravillados con los primeros sistemas de iluminación pública en la década de 1870. Pero esto no es todo, desde 1850, muchos países construyeron —con base en la electricidad— sistemas de telégrafos que comunicaban amplias zonas de su territorio. En España por ejemplo, entre 1854 y 1863, la red telegráfica eléctrica contaba con 10 mil kilómetros de líneas y 195 estaciones y unía las capitales provinciales y Madrid. Los ferrocarriles, por su parte, también comenzaron a desplazar a los transportes tradicionales de carrozas y diligencias (tómese en cuenta por ejemplo, que en 1789, el transporte de Este a Oeste en EUA seguía siendo mayoritariamente por medio de diligencias). Este era el ambiente en muchas ciudades de los países colonialistas.

Así que la electricidad no sólo resultaba misteriosa y fascinante para las mayorías, también se convirtió en una pieza clave de nuestra sociedad y, muy importante, formó y forma parte de la apuesta materialista de la explicación del universo. Esta nueva visión del cosmos, que se instaura en el mundo en el s. XIX y que se apoya en la razón y la ciencia positiva, tuvo reacciones en diferentes ámbitos: el romanticismo en las letras y la música, el idealismo en la filosofía y un auge del espiritismo y la búsqueda de lo trascendental a través de lo paranormal y de nuevas religiones. Así que la postura de magos como Houdini se entiende fácilmente en este contexto y como parte de una alianza entre ciencia e ilusionismo. Es menos conocido el hecho de que en diversas ocasiones los magos han asesorado a científicos para exhibir errores en diseños experimentales o engaños y autoengaños en las propias investigaciones científicas; ¿Quiénes sino los magos pueden escrutar mejor un diseño que se presume fraudulento si son ellos los que viven de engañar?



El uso de la electricidad cambió hábitos tan básicos como la alimentación, pues se dispuso de sistemas de refrigeración que podían retardar la descomposición de los alimentos y entonces fue posible almacenarlos y exportarlos. Como ya se dijo, la iluminación pública causó gran revuelo y hay crónicas de cómo la gente en Buffalo, EUA, al principio de la década de 1880's se paseaba por las calles que estrenaban la iluminación eléctrica. Y, por cierto, es en esa ciudad donde ocurrió la primera electrocución registrada producto de electricidad de una fuente artificial. No obstante, al parecer, el impacto fue aún mayor cuando la electricidad sirvió para iluminar hogares y negocios; cambió definitivamente la relación noche-oscuridad.

Hay tres asuntos más que se deben mencionar sobre el desarrollo de la tecnología basada en la electricidad. En primer lugar, aunque a lo largo de todo el fascículo se centró la atención en la electricidad, en muchos usos ésta está indisolublemente ligada al magnetismo. El primer experimento que consignó esta relación lo llevó a cabo Hans Christian Oersted en 1820, él descubrió de manera accidental la acción que tenía sobre una brújula la variación de la corriente eléctrica que circulaba por un cable conductor que se encontraba cercano a la brújula. Este descubrimiento, años más tarde, llevaría a Faraday a establecer la ley de inducción que lleva su nombre y que es una de las ecuaciones fundamentales del electromagnetismo. Simplificadamente se puede enunciar de la siguiente



Dínamo de vapor de T. A. Edison



manera: “Un campo eléctrico variable produce un campo magnético variable y viceversa”. Más allá de las imprecisiones, lo importante son las implicaciones técnicas, una de ellas consiste en que si se puede producir un campo magnético variable, entonces se puede generar una corriente eléctrica. Estos dispositivos fueron desarrollados en la década de 1870 y permitieron tener control sobre la corriente eléctrica, pero no sólo eso, eran dispositivos que generaban sus propios campos magnéticos y por ello se les denominó generadores electrodinámicos o simplemente dínamos.

En segundo lugar, se mencionó que una vez que se tuvieron baterías eléctricas se procedió a mejorarlas y a experimentar con animales muertos, posteriormente con animales vivos y cadáveres humanos. Sin embargo, no se dijo que estos experimentos eran muy comunes. Hay registros documentales de que en 1827 un médico inglés mató a un cuyo (conejillo de indias) con una descarga eléctrica o que en Albany, Nueva York, en el mismo año, unos cirujanos intentaron revivir el cadáver. Siete años antes, en 1818 en Glasgow, un químico adquirió el cuerpo de un recién ahorcado para intentar revivirlo infructuosamente. En Missouri, en 1870 fue ejecutado en la horca John Skaggs, los médicos legistas que lo declararon muerto decidieron efectuar experimentos con descargas eléctricas, sus resultados fueron impresionantes y están consignados por reporteros del New York Times que presenciaron dichos experimentos. Sin embargo, probablemente los experimentos más dramáticos los efectuó Karl August Weinhold, mataba gatos les remplazaba el cerebro con amalgamas de zinc y plata e insertaba éstas en la columna vertebral, documentó la reanimación de uno de estos pobres animales. Debe saberse que en esta época, en Alemania, eran tan comunes los experimentos que el gobierno emitió un edicto para prohibirlos.

Finalmente, el desarrollo del electromagnetismo y sus usos tuvo una consecuencia indeseable en la que participaron dos famosos personajes de la historia: Thomas Alva Edison y Nikola Tesla, el primero como personaje central y el segundo circunstancialmente. En seguida se transcribe un fragmento del diálogo del año 1889 en-



tre el asistente del fiscal general de Nueva York, el abogado William Poste, y Edison³³:

- Señor Edison, ¿cuál es su profesión?
- Soy inventor
- ¿Ha dedicado usted gran parte de su tiempo y atención al tema de la electricidad?
- Sí señor
- ¿Qué cantidad de energía eléctrica cree usted que se necesita para producir una muerte instantánea y sin dolor?
- Mil voltios
- ¿Qué clase de experimentos ha realizado usted en su laboratorio relacionados con este asunto?
- Sólo experimentos con perros y caballos
- Ahora bien, señor Edison, en su opinión, ¿es posible aplicar de manera artificial una descarga en el cuerpo humano para producirle la muerte?
- Sí señor
- ¿Una muerte instantánea?
- Sí señor
- ¿Qué no cause dolor?
- Sí señor.



³³ Estos fragmentos fueron tomados del libro de Mark Essig, *Edison y la silla eléctrica*.



Edison se equivocaba en dos asuntos y en uno era impreciso. Además, todo cuanto afirmaba estaba inmerso en la disputa con Tesla acerca de la manera más eficiente de emplear la corriente eléctrica. Se sabe que Edison, hasta ese momento, era un férreo opositor a la pena de muerte y su participación en ese juicio se debía a que creía sinceramente que la electrocución era la manera más humana de ejecutar la pena de muerte. La cuestión en la cual fue impreciso tiene que ver con sus experimentos con animales, también usó gatos, carneros y vacas. Se equivocó en que 1000 voltios pueden matar fácilmente a una persona cuya resistencia eléctrica sea de 1000 ohms, no obstante, la resistencia de las personas es decenas de veces mayor y varía de un individuo a otro, peor aún, ¿por qué pudo afirmar que una muerte por electrocución no produciría dolor? ¿Acaso no observó las lesiones por quemadura que debió provocar a los animales que sacrificó? Es difícil saber qué pensaba Edison, pero hay pruebas de que pudo ocultar información o, en el mejor de los casos, que cometió graves omisiones en sus experimentos y sus declaraciones. Hoy Edison es un modelo de científico, durante muchos años se usó la silla eléctrica³⁴ como un medio “humano” para aplicar la pena de muerte y su testificación en aquella corte influyó profundamente para el uso de tal implemento.

El asunto no concluye con Edison. Desde que la ciencia se institucionaliza, en el s. XIX, en pro de la consecución del conocimiento se han cometido y se siguen cometiendo graves excesos; muchas veces sin dolo. En el caso de la electricidad se experimentó con enfermos mentales y, claro está, sin los protocolos de consentimiento que hoy se deben cumplir para que una persona sea sujeta a algún tratamiento experimental. Posteriormente esos tratamientos experimentales se volvieron terapias convencionalmente aceptadas que incluso hoy día se siguen aplicando.

³⁴ La imagen de la silla se tomó del siguiente enlace: <http://www.eldinamo.cl/mundo/2014/05/23/vuelve-en-gloria-y-majestad-tennessee-aprueba-ley-que-reintroduce-la-silla-electrica/>



Ningún científico, por más brillante que sea, puede saber en largo plazo en qué devendrán sus conocimientos y las aplicaciones que de ellos se deriven. Por su parte, los ciudadanos que no son científicos cometen la gravísima irresponsabilidad de no procurarse una cultura científica básica que les permita vivir y decidir en una cultura formidablemente tecnificada y al mismo tiempo científica.

ACTIVIDAD

INVESTIGACIÓN Y DISCUSIÓN

Para concluir este apartado y el fascículo los estudiantes tienen dos últimas encomiendas, a saber:

- Elaborar un ensayo sobre los beneficios que nos otorgan los desarrollos tecnológicos y científicos (que ejemplifiquen cuáles son los que más han cambiado a la sociedad) y también que incluya las responsabilidades éticas de los científicos. La idea es que se restrinja al periodo que corresponde con la segunda mitad del s. XIX y la primera del S. XX. Para ello se recomiendan cuatro películas:
 - El experimento (*Das Experiment*, Oliver Hirschbiegel, Alemania 2001)
 - El cubo (*Cube*, Vincenzo Natali, Holanda 1997)
 - El experimento Tuskegee (*Miss Evers' boys*, Joseph Sargent, EUA 1997)
 - Histeria (*Hysteria*, Tanya Wexler, Inglaterra 2011)
- Que se investigue por qué se gasta más energía eléctrica si se dejan los aparatos electrodomésticos conectados aun cuando están apagados. Esta fue una de las preguntas



generadoras, aún está pendiente y ya tienen los elementos para responderla.

- Para mayor información pueden revisar la página de la CFE, la parte final del apéndice B (sobre el uso de la hoja de cálculo) o la siguiente dirección electrónica: [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=home.resources_espanol&__utma=172919287.1270189030.1427084261.1427084261.1427084261.1&__utmb=172919287.8.8.1427084459653&__utmc=172919287&__utmx=-&__utmz=172919287.1427084261.1.1.utmcsr=google%7Cutmccn=\(organic\)%7Cutmcmd=organic%7Cutmctr=\(not%20provided\)&__utmv=172919287.%7C1=visitor%20id=1270189030=1&__utmk=85018585](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=home.resources_espanol&__utma=172919287.1270189030.1427084261.1427084261.1427084261.1&__utmb=172919287.8.8.1427084459653&__utmc=172919287&__utmx=-&__utmz=172919287.1427084261.1.1.utmcsr=google%7Cutmccn=(organic)%7Cutmcmd=organic%7Cutmctr=(not%20provided)&__utmv=172919287.%7C1=visitor%20id=1270189030=1&__utmk=85018585)





XII. Evaluación



En este último capítulo se otorga una propuesta de evaluación. Se parte del hecho de que a lo largo del fascículo se plantearon múltiples actividades, éstas pueden formar parte de la evaluación continua y se clasifican en dos grandes grupos (tal como se explicó en la introducción): las que se presentan en el cuerpo del texto y las que están al margen en los recuadros oscuros. La siguiente tabla es un esquema de organización de las actividades para incorporarlas a la evaluación.

Los cuadros sombreados de la tabla corresponden al conjunto de actividades de la evaluación continua y en ella se incluye el número total de actividades de los dos grupos que el fascículo contiene. Los dos últimos renglones (Capítulo 7 y Final) corresponden a la actividad experimental del capítulo 7 y una propuesta de examen parcial con 8 preguntas que se presenta en seguida.

| | | Número de actividades | Se evalúa | | Ponderación (%) |
|---------------------|------------------------------------|---|-----------|----|-----------------|
| Evaluación continua | Actividades en el cuerpo del texto | 7 | Sí | No | |
| | Actividades al margen del texto | 9 | Sí | No | |
| Capítulo 7 | Actividades especiales | Trabajo en el laboratorio Análisis de datos Elaboración del reporte | Sí | No | |
| Final | Propuesta de examen | 1 | Sí | No | |



El quehacer del Capítulo 7 se puede dividir en tres partes: el trabajo en el laboratorio durante la realización de la práctica, la organización y análisis de los datos recabados y la elaboración del reporte. Cada una de ellas es evaluable por separado y puede incorporarse en la evaluación total. La intención es darle un espacio perfectamente delimitado al trabajo experimental.

El examen contiene el mínimo de preguntas básicas que se esperaba que los estudiantes pudiesen responder y que conforman los conceptos y aplicaciones en los que se centra toda la exposición del fascículo. Adicionalmente se presentan las respuestas o un tipo de respuesta genérica.

1. **¿Qué produce la electrocución: el voltaje o la corriente eléctrica? Explica tu respuesta.**

La corriente eléctrica, sin embargo depende del voltaje aplicado y de la resistencia del objeto por el cual circula la corriente. A mayor resistencia menor corriente y menores probabilidades de producir electrocución. Y a mayor voltaje mayor corriente eléctrica.

2. **¿Qué produce la corriente al circular por el cuerpo humano?**

Si la corriente es pequeña produce un cosquilleo, si aumenta puede generar contracciones musculares involuntarias. Si es grande produce quemaduras y en casos extremos la muerte.

3. **¿Qué aparatos electrodomésticos pueden producir electrocución y por qué?**

Todos aquellos que funcionen con alta corriente (secadoras) y muy particularmente los que se usan en el baño o donde pueda haber agua en el piso y las personas caminen descalzas. Considérese que los zapatos de goma son aislantes (tienen resistencia grande) y por el contrario, las sa-



les que contiene el agua hacen que ésta sea un muy buen conductor.

4. ¿Qué corriente circula por el cuerpo de una persona si ésta hace un cortocircuito con los cables de un tomacorriente? ¿Qué efectos tiene esta corriente sobre la persona? Supón que la resistencia del cuerpo humano es de 100 mil ohms.

Se sabe que el voltaje del tomacorriente es de 120 V (aproximadamente) y si se aplica la ley de Ohm, esto es: $V = R \cdot I$ y se despeja $I = \frac{V}{R}$, al sustituir los valores se obtiene que $I = 0.0012A$. Según la tabla de la página 75 causaría desde dolor hasta contracciones involuntarias. NOTA: la resistencia de los niños pequeños es menor a 100 mil ohm y por eso sí se pueden electrocutar con el voltaje del tomacorriente.

5. ¿Qué es el voltaje? ¿En qué unidades se mide?

Es energía potencial eléctrica por unidad de carga. Se mide en voltios (volts).

6. ¿Qué es la corriente eléctrica? ¿En qué unidades se mide?

Es la cantidad de carga eléctrica que circula por un material y se calcula como $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$. Se mide en amperios (ampers).

7. ¿Qué es la resistencia eléctrica? ¿En qué unidades se mide?

Es la oposición al flujo de corriente eléctrica y se mide en ohmios (ohms).

8. ¿Qué diferencia hay entre energía y potencia?

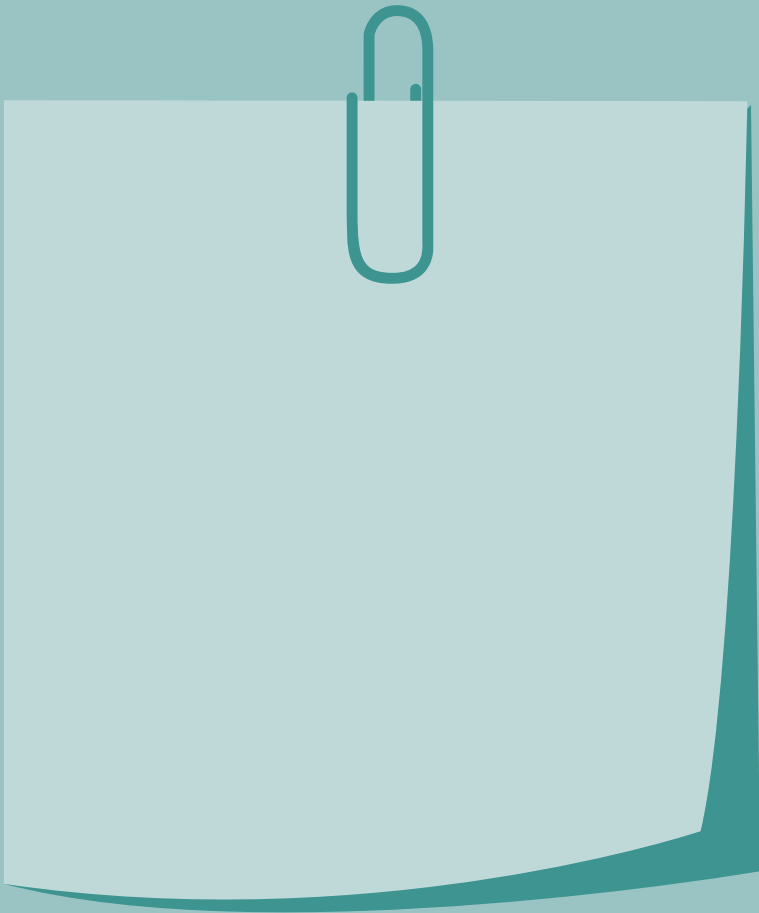
La energía es la capacidad de producir trabajo y la potencia se refiere a la rapidez con la que se emplea esa energía. Su relación está dada por la fórmula $P = \frac{E}{t}$.







XIII. Apéndices



Apéndice A

Respuesta a los retos, problemas y preguntas

- Actividad de las páginas 35 y 36 (sobre la primera gráfica)
R: **1.** La altura de cada pareja, **2.** De 55 a 71 pulgadas inclusive, **3.** De 60 a 76 pulgadas, **4.** 64 pulgadas para mujeres y 65 y 69 para los varones, **5.** Seis, **6.** Siete, **7.** 63 pulgadas, **8.** 56 y 58 pulgadas, **9.** Seis y, **10.** 5.33% (4/75 por 100).

- Actividad de las páginas 37 y 38 (sobre la gráfica y el experimento)

Primera parte

- 23°C.
- 43°C y 55°C respectivamente.
- Entre 100 y 115 segundos aproximadamente.
- No. Es la temperatura del grifo.

Segunda parte

- No hay medición o no se registró.
- Parece que la temperatura se mantuvo constante o incluso disminuyó. Es probable que hubiese algún error a la hora de hacer la medida.
- Que sólo se tienen registros separados, pues no es posible determinar la temperatura para todos y cada uno de los instantes.

Tercera parte

- Que la temperatura aumenta con cierta regularidad (y es lo que se esperaría)
- Sí es una función, pues a cada tiempo le corresponde una y sólo una medida de temperatura.
- Al parecer sí
- Tomando los puntos de la gráfica (60, 40) y (120, 55) se obtiene la ecuación $y = 0.25x + 25$ que en térmi-



nos de las variables del experimento se debe escribir: $T = 0.25 t + 25$, donde T es la temperatura y t es el tiempo.

- $\frac{\Delta T}{\Delta t}$ el cambio de la temperatura al transcurrir el tiempo.

Cuarta parte

- Usando $\Delta Q = m \cdot Ce \cdot \Delta T$ y sustituyendo los valores conocidos se tiene: $\Delta Q = 1 \cdot (4.2) \cdot (68 - 23) = 198 \text{ j}$
- $P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{198}{180} = 1.05 \text{ watts}$
- Como se sabe que $P = V \cdot I$, se obtiene que $I = 0.88 \text{ amperios}$

- Actividad de las páginas 41 y 42

R: **1.** \$189, **2.** \$16.66, **3.** Del 29/12/2014 al 02/03/2015, **4.** 19 de marzo de 2015, **5.** 760 kWh, **6.** 952 kWh, **7.** 192 kWh, **8.** Kilowatt-hora, **9.** La respuesta en general será que sí, pero desconocen a qué magnitud corresponde, **10.** Potencia.

- Los resultados de la actividad de la página 45 están consignados en la tabla correspondiente.

- Actividad de la página 47

R: **1.** 5, 0 y 0 joules respectivamente, **2.** 5, 12 y 16 joules respectivamente, **3.** 5, 19 y 26 joules respectivamente, **4.** 0, 2 y 4 joules respectivamente, **5.** $E = 5$, y $E = 2t$ y $E = 4t$ respectivamente, **6.** Joules/segundos y que equivalen a watts, **7.** Es la potencia, **8.** La correspondiente a la recta cuyos marcadores son los triángulos (Δ), **9.** En el proceso representado por la recta cuyos marcadores son los



triángulos (Δ), **10**. Son lo mismo.

Apéndice B

Uso de una hoja de cálculo para hacer gráficas

En este apartado se explicará cómo se usa una hoja de cálculo para elaborar las gráficas de series de datos que corresponden a parejas ordenadas (x, y) de variables. En Física, estos pares de datos surgen de las mediciones en los experimentos y representan la relación de dependencia entre dos magnitudes, en el caso más simple. La denominación de estas gráficas, en el software de uso común, es *gráfica de dispersión*. Asimismo, se mostrará la manera de determinar el modelo matemático más adecuado a las series de datos, técnicamente se habla de la *curva de mejor ajuste*. Esta sección es una especie de manual de uso.

El ejemplo que se expone emplea la ley de Ohm porque corresponde a una relación directamente proporcional entre el voltaje y la corriente eléctrica y la relación funcional entre estas dos magnitudes, en principio, debe ser una recta que parte del origen. La gráfica que se presentó en el capítulo VIII corresponde a valores teóricos obtenidos por medio de la fórmula $V = R \cdot I$ o, mejor dicho, $I = V/R$ (el modelo matemático). En este caso la siguiente tabla contiene los valores de la corriente, I , en función del voltaje, V , obtenidos experimentalmente. Además, a diferencia de lo expuesto en el capítulo VIII, donde el ajuste a la mejor recta se hizo a ojo, aquí, aunque no se muestran los cálculos, el ajuste es matemáticamente riguroso.

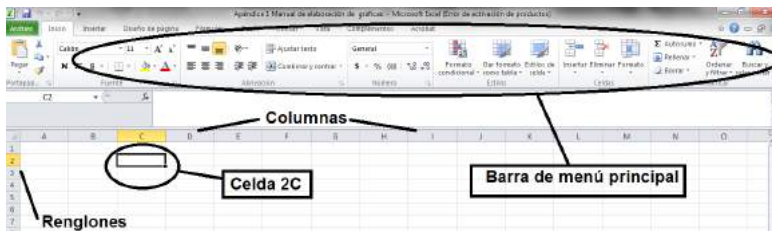
| | | | | | | | | | |
|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Voltaje (voltios) | 0 | 1.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 10.5 | 12 |
| Corriente (amperes) | 0 | 0.028 | 0.054 | 0.092 | 0.122 | 0.156 | 0.180 | 0.215 | 0.235 |



Se empleó una hoja de cálculo Excel porque tanto para sistemas operativos de Apple como para Microsoft es el software con el que se cuenta de manera automática. No obstante, existen otros programas de acceso gratuito y disponibles en línea —como GeoGebra— que permiten llevar a cabo todo cuanto aquí se hace con Excel.

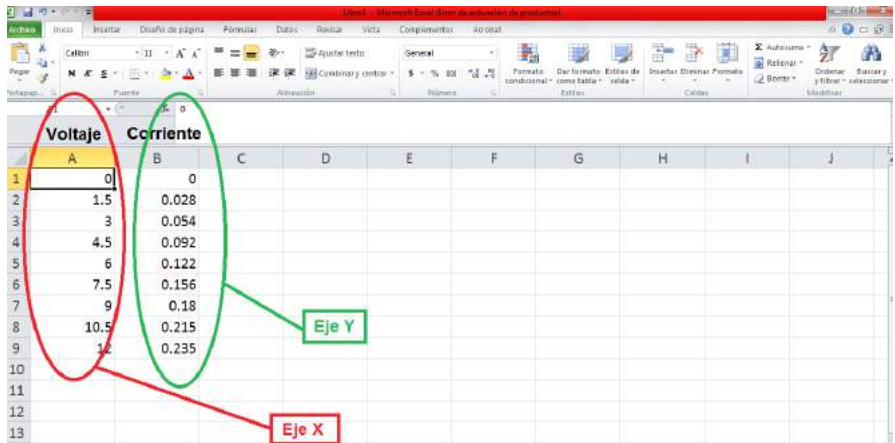
Se supondrá que el lector conoce poco del manejo de este programa y por ello definirán algunos términos usuales que son indispensables para la explicación. No se pierda de vista que ésta no es una guía pormenorizada. Los pasos a seguir para elaborar la gráfica y obtener la mejor ecuación de ajuste son los siguientes:

1. Una vez que se “abrió” la hoja de cálculo, se identifican tres atributos de dicho software, a saber: la barra de menú en la parte superior, las columnas (identificadas con letras) y los renglones (identificados con números) así como las celdas. Cada celda tiene un nombre que está definido por el número del renglón y la letra de la columna en la que se localiza.

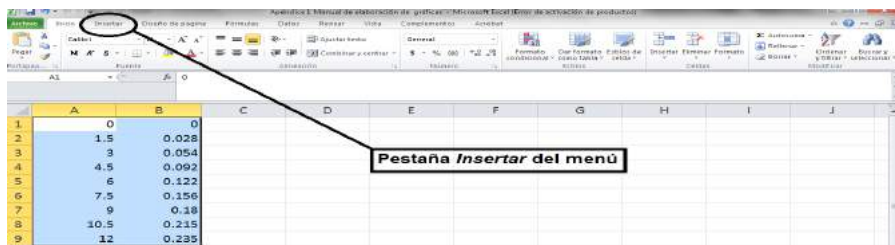


2. Se introducen los datos en la hoja de cálculo, a cada dato le corresponde una celda. En este caso a los datos del voltaje se les adjudicará la columna A de la hoja de cálculo, los datos de la corriente se disponen en la columna B. Por convención, a la primera columna le corresponde el eje X en la gráfica (ésta es la variable sobre la que se tiene control experimental) y la segunda columna corresponde al eje Y (es la variable dependiente). En la segunda imagen, abajo, nótese que el cursor está sobre la celda 1A.





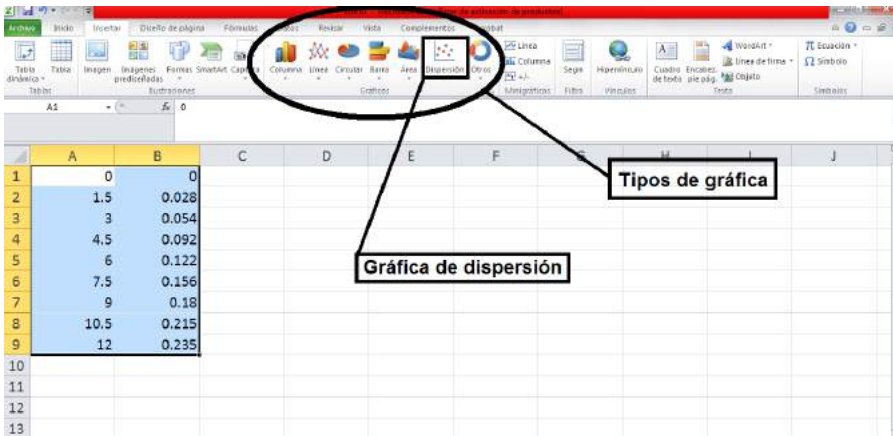
3. En la tercera imagen se seleccionaron todos los datos experimentales y por eso aparecen dentro de un marco rectangular negro con el interior azul (menos la celda donde está el cursor). Asimismo, se marcó la pestaña con el título *Insertar*.



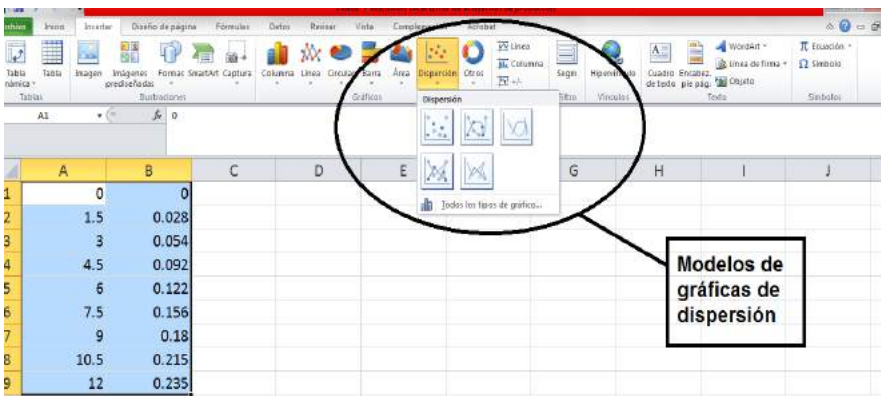
4. En cuanto se elige dicha pestaña cambia el menú y los iconos de los posibles atributos de los que se puede echar mano. En la siguiente imagen, la cuarta, está circulado el conjunto de gráficas que pueden emplearse y, dentro de un recuadro, la correspondiente a la *gráfica de Dispersión*. Como se escogió la pestaña con la indicación insertar, todos los iconos hacen referencia a aquellos objetos que se pue-



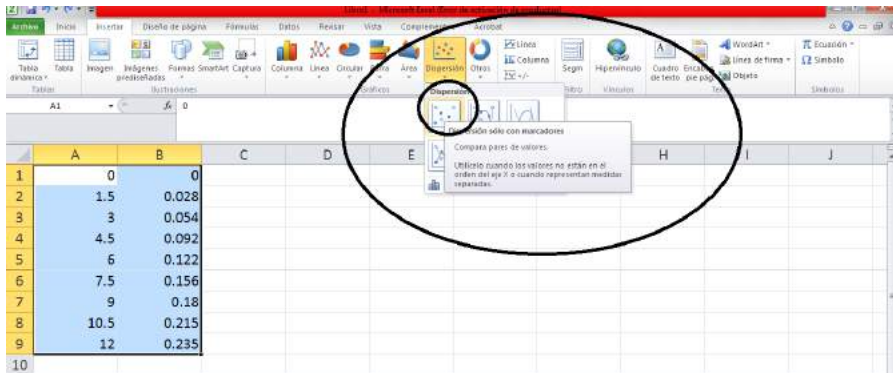
den incorporar en la hoja de cálculo (*Imágenes, Imágenes predeterminadas, formas, etcétera*).



- Una vez seleccionado el tipo de gráfica dando *click* sobre el icono, éste cambia de color y se despliega un menú con cinco modelos de gráficas de *Dispersión*. Véase la siguiente imagen. La selección de cuál es más conveniente, en general, depende del origen de los datos y de qué atributo se considera más importante; en este ejemplo se escogió la primera de las cinco opciones por las razones que se detallan más adelante.

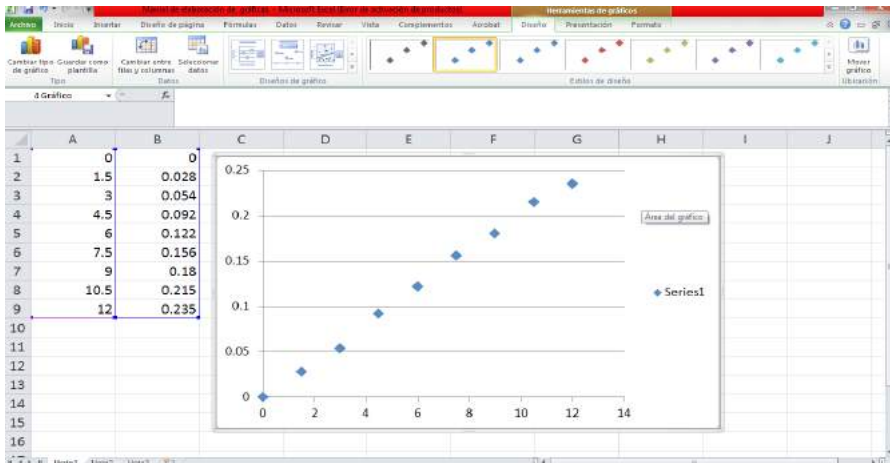


6. En la sexta imagen, abajo, se aprecia que al marcar el modelo elegido entre los cinco posibles, éste cambia de color y aparece un recuadro con información sobre dicho modelo. Como en los casos anteriores la información y selección están dentro de una circunferencia.

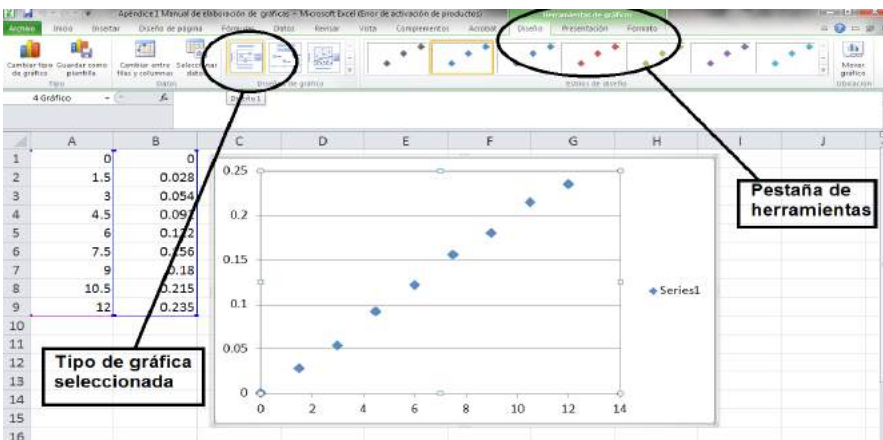


7. Una vez que se eligió el primer modelo dando clic sobre el icono, se despliega la gráfica. Asimismo, también cambia el menú, aparecen opciones para la presentación de la propia gráfica y dichas opciones están representadas por iconos diferentes. Nuevamente, usar etiquetas para los ejes o no, ponerle título o no, los estilos de marcador y del fondo, el tipo y tamaño de la fuente, etcétera, dependerá de las necesidades y de los gustos de quien elabora la gráfica. Es pertinente aclarar que la gráfica que aparece es el modelo que por default otorga el programa, no obstante, puede ser modificado (aunque este no es el espacio para explicar cómo se hace).

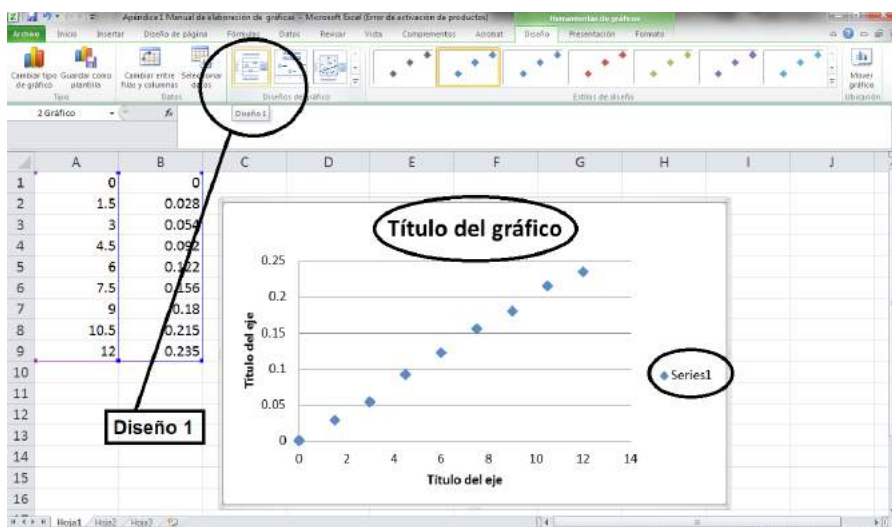




8. En la imagen de abajo están señalados otros atributos de la hoja de cálculo: el primero es la pestaña de la parte de arriba, *herramientas de gráfico* (en color verde) y que a su vez se divide en otras tres pestañas (*diseño*, *presentación* y *formato*); el segundo atributo se refiere al diseño de la gráfica y únicamente se puede acceder si está marcada la pestaña de herramientas. En este caso se eligió el *diseño 1* y está en color amarillo.

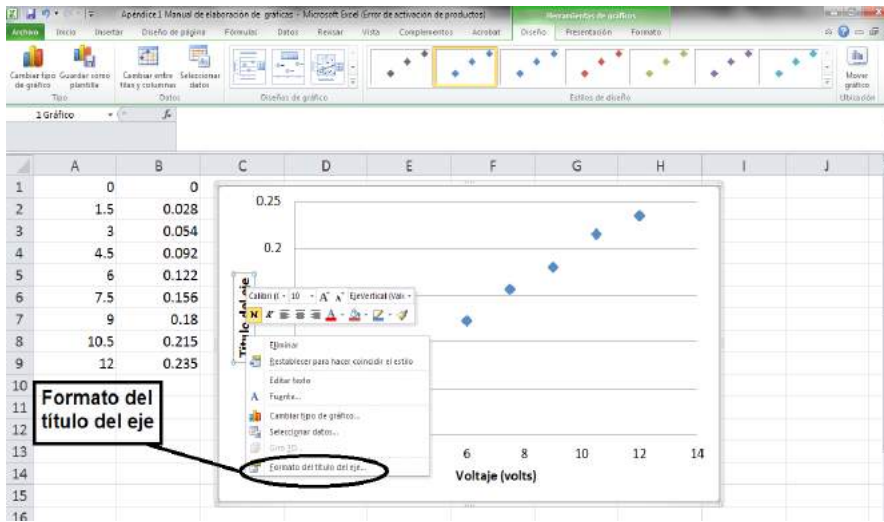


9. Una vez que se selecciona el icono correspondiente al *Diseño 1*, aparece una gráfica como la que se observa en la siguiente imagen.

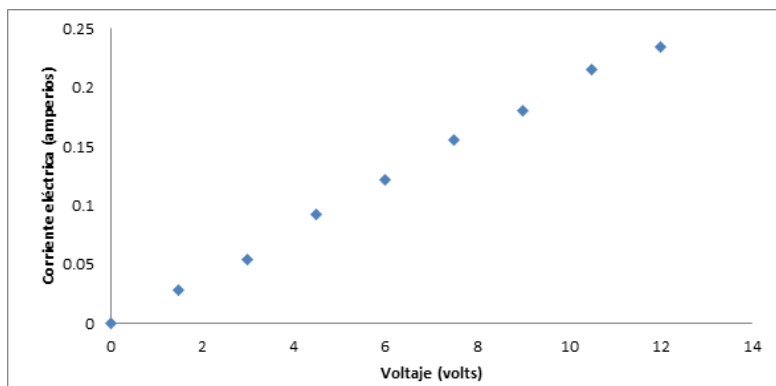


10. En la siguiente imagen, que está centrada en la gráfica, se eliminaron el *Título* y la acotación de la *Serie 1*, marcados en la imagen de arriba. Para eliminar estas etiquetas o cualquier otro atributo, hay varias maneras: se marca el recuadro dando clic con el botón de la izquierda del *ratón* y se aplica la tecla *suprimir*. Asimismo, para cambiar rótulo de los ejes, se marca con el cursor el recuadro y se mantiene apretado el botón izquierdo, cuando el cursor parpadee sobre las letras, ya se puede escribir en el recuadro. También es posible modificar la orientación de los títulos de los ejes marcando la etiqueta, dando clic con el botón izquierdo y luego con el botón derecho del *ratón*, se desplegará un recuadro con otro menú y con más atributos disponibles. En la imagen se señaló el que se requiere para cambiar la orientación de la etiqueta del eje vertical de la gráfica.





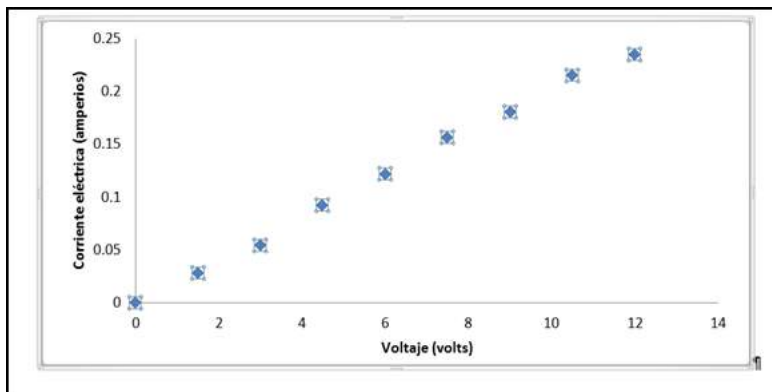
Cada característica del recuadro donde está la gráfica que cambie de color o se presente en un recuadro al señalarse con el botón izquierdo del ratón, puede ser modificada. Sin embargo, este no es el espacio para explicar la enorme gama de posibilidades, para los fines de este apéndice la elaboración de la gráfica de dispersión concluye hasta aquí y su presentación final es la siguiente:



Considérese que la gráfica se presenta fuera de la hoja de cálculo y que se quitaron las líneas principales de la escala del eje Y.

Para finalizar, falta mostrar la manera de obtener la curva de mejor ajuste. Solamente se hará uso de la gráfica, y se omite el resto de la hoja de cálculo. De esta manera, los pasos a seguir son:

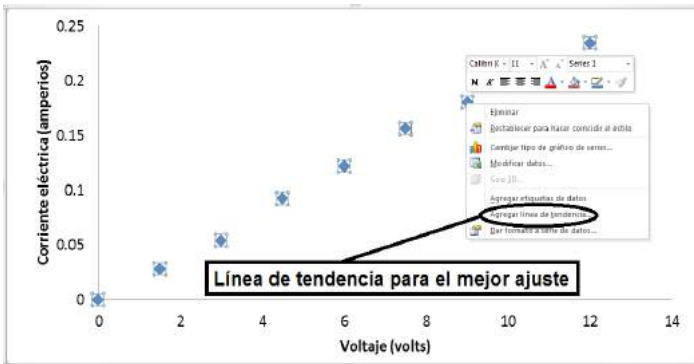
1. Se pone el cursor sobre alguno de los marcadores —los puntos— que son los cuadros azules que representan a datos de las mediciones, se marcan con el botón izquierdo y éstos se presentan dentro de un pequeño recuadro. Véase la siguiente imagen.



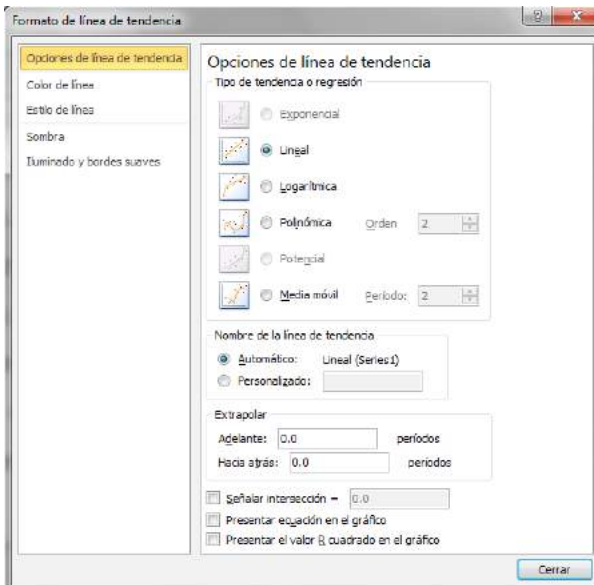
Una vez marcados, se da clic con el botón de la derecha del ratón y se desplegará un recuadro como se muestra a continuación. Destaca en la parte de abajo del recuadro, para nuestros propósitos, el segundo renglón.

2. Al seleccionar la opción *Agregar línea de tendencia* ésta cambia de color y se despliega un nuevo recuadro (derecha), en él se presentan menús con varias opciones. Del lado derecho, la primera, *Opciones de línea de tendencia*, se refiere al conjunto de tipos de funciones matemáticas de las que se dispone para llevar a cabo el mejor ajuste;



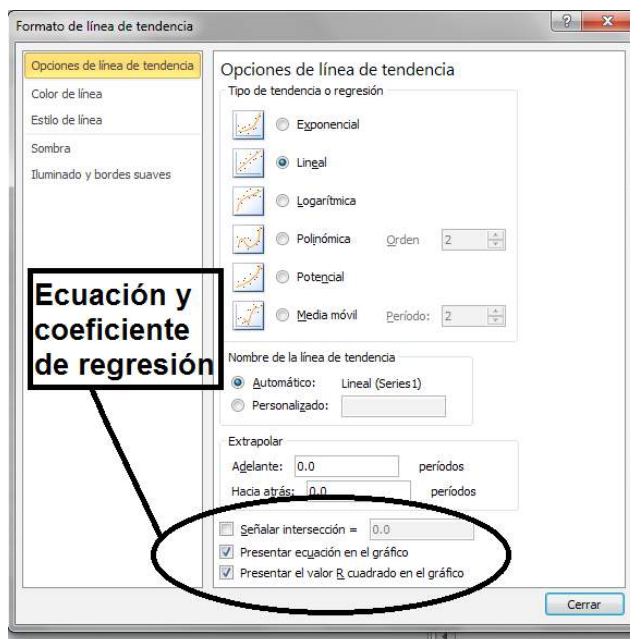


pueden ser funciones exponencial, lineal, logarítmica, polinómica, potencial o de media móvil. Además, nótese que no están disponibles todas las funciones y esto es una restricción matemática, dado el conjunto de datos que se emplearon; los datos para las curvas potenciales no pueden contener el punto (0, 0) y los datos de las curvas exponenciales no puede tener ningún punto (x, 0) que la gráfica corte al eje de las X. Asimismo, es pertinente consignar en este momento que el proceso de ajuste a la mejor curva



también se conoce como *análisis de regresión*.

- En la imagen de abajo está circulada la última sección de las opciones de línea de tendencia, en ella hay tres renglones con la posibilidad de habilitarlos, se puso una paloma en los campos correspondientes a los dos últimos; *Presentar ecuación en el gráfico* y *Presentar el valor de R cuadrado en el gráfico*. La primera corresponde a la ecuación que representa —en este caso— la recta que mejor se ajusta a los valores experimentales. R es el *coeficiente de correlación de Pearson* o simplemente coeficiente de correlación, este número es una medida de cuán bueno es el ajuste de los datos a la ecuación y el rango de los valores posibles está dentro del intervalo -1 y 1. El software de la hoja de cálculo presenta R^2 y por ello su valor oscila solamente entre 0 y 1. Un valor cercano a cero significa que el ajuste es malo y un valor cercano a 1 significa que el ajuste es bueno y que la ecuación es un modelo matemático adecuado para la rela-



ción entre las variables.

- Una vez que se habilitan los campos para que la ecuación y el coeficiente se presenten en la gráfica, ésta debe quedar como se presenta a continuación. Obsérvese que se cambió el tamaño del marcador y aparece una línea negra que es la recta de mejor ajuste. Algunos puntos están sobre la recta, otros arriba y unos más abajo, tal como se dijo que debería ocurrir cuando el ajuste se hacía a ojo, y esta es la razón por la que se escogió una gráfica con puntos aislados (diseño 1).

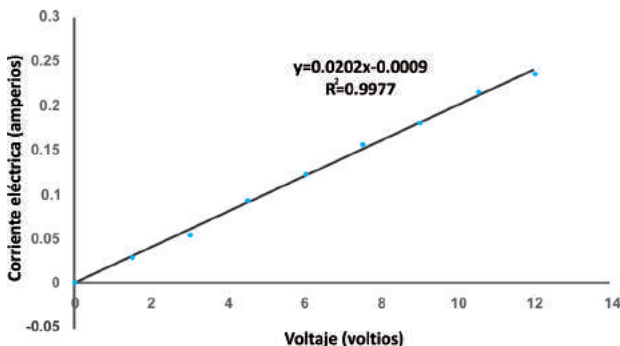
No hay que olvidar que las magnitudes medidas experimentalmente son I y V , en esos términos la ecuación de la recta debe escribirse así:

$$I = 0.0202 \cdot V + 0.0009$$

La pendiente de la recta $m = 0.0202$ es igual al inverso de la resistencia eléctrica, esto es:

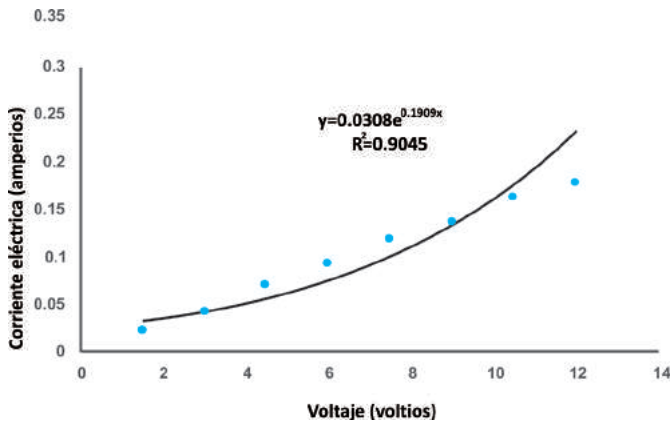
$$R = \frac{1}{m} = \frac{1}{0.0202} \approx 49.51\Omega$$

El valor nominal de la resistencia del circuito fue **50** de con una incertidumbre del **5%** en funcionamiento. Llama la atención que la ordenada al origen es de **0.0009 A**, esto significa que aun cuando el voltaje es cero, $V = 0$, hay una pe-



queña corriente de fuga, que representa gasto de energía. Esta es una posible explicación de por qué conviene desconectar los aparatos.

5. Para concluir el apéndice se aplicará un modelo exponencial para el ajuste de los datos, se tuvo que omitir el primer dato (0, 0) y el fin es que se compare el coeficiente de correlación de ambos ajustes, ¿cuál es el mejor de los dos? Considere que se pueden agregar varias líneas de tendencia en una misma gráfica, aquí se separaron por fines didácticos.



Apéndice C

Bibliografía

A continuación se presentan las listas de libros para estudiantes y profesores que corresponden a la bibliografía recomendada y consultada. Asimismo, se consignan un conjunto de enlaces de Internet con información útil relacionada con los contenidos del fascículo.

Recomendaciones de lecturas para los alumnos

- BRAUN, E. (1998). Electromagnetismo. De la ciencia a la tecnología. México: FCE
- CARMONA, G., et al. (2003). Michael Faraday, Un genio de la física experimental. México: FCE
- DIRECCIÓN General de Materiales y Métodos Educativos. SEP. (2000). Una mirada a la ciencia (antología de la revista ¿Cómo ves?). México: SEP
- ESSIG, M. (2003). Edison y la silla eléctrica. México: Océano
- HEWITT, P. G. (2017). Física Conceptual. México DF: Prentice Hall
- PEPIN, R. (2009). Más allá de las apariencias. Barcelona: Éditions MultiMondes
- PEPIN, R. (2009). Sol, arena y ciencia. Barcelona: Éditions MultiMondes
- PIÑA Garza, E. (2003). Cacería de cargas. México: FCE
- RIUS de Riepen. M. y Castro-Acuña. M. (1998). Calor y movimiento. México: FCE
- UNIVERSIDAD Nacional Autónoma de México, ¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia



Bibliografía recomendada para profesores

- AULÍ, E. (2002). La contaminación electromagnética. Barcelona: RBA Libros
- BALL, Ph. (2014). Al servicio de Reich. La física en tiempos de Hitler. México DF: Turner Noemia
- BEN-DOV, Y. (1999). Invitación a la física. España: Andrés Bello
- CARNOT, S. (1998). Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego. México: IPN
- CHENEY, M. (2010). Nikola Tesla. El genio al que le robaron la luz. España: Turner Noemia
- DELLYER, M., et al. (2007). Las competencias en la educación, Un balance. México: FCE
- DÍAZ-HELLIN, J. A. (2001). Faraday, El gran cambio en la Física. España: Nivola
- GARDNER, M. O 9901. La nueva era. Madrid: Alianza
- HOLTON, G. (2001). Ciencia y anticiencia. España: Nivola
- MAXWEL, J.C. (1998). Materia y movimiento. México: IPN. Nieto Galán
- PARK, R. L. (2001). Ciencia o vudú, Barcelona, Grijalbo Mondador'
- ROSENBLEUTH, E. (1982). Razas culturales. México DF: El Colegio Nacional
- SAGAN, C. (1997). El mundo y sus demonios. México. Planeta
- VACA, R. (2009). La ciencia de todas las mañanas. Barcelona: Crítica



Bibliografía consultada

- ALMODÓVAR, M. A. (2009). Yantares de cuando la electricidad acabó con las mulas. España: Ediciones Nowtilus
- ASTOLFI, J. P. (2004). El “error”, un medio para enseñar. México: SEP
- AULÍ, E. (2002). La contaminación electromagnética. Barcelona: RBA Libros
- BEN-Dov, Y. (1999). Invitación a la física. España: Andrés Bello
- BRIGGS, A. y Burke, P. (2002). De Gutenberg a Internet. Una Historia social de los medios de comunicación. Colombia: Santillana
- FLEMING, J. A. (2007). Cincuenta años de electricidad: Memorias de un ingeniero eléctrico. España: Crítica
- HOLTON, G. (2001). Ciencia y anticiencia. España: Nivola
- MAXWEL, J. C. (1998). Materia y movimiento. México: IPN. Nieto Galán
- NIETO-GALÁN, A. (2008). La seducción de la máquina. España: Nivola

Enlaces de Internet consultados y/o recomendados

CFE y ahorro de energía:

http://www.cfe.gob.mx/casa/4_Informacionalcliente/Paginas/Consejosparaahorrarenergia.aspx

Gobierno de EUA y ahorro de energía:

<http://blog.gobiernousa.gov/post/67078694674/consejos-para-ahorrar-energia-durante-el-invierno>

Legislación y planes de la Unión Europea para el ahorro de energía:

http://europa.eu/legislation_summaries/energy/energy_efficiency/l27064_es.htm

Guía para el ahorro de energía en los hogares:

http://energiabc.gob.mx/files/public/pdf/eficiencia_energetica/Gu%EDa%20HOGAR.pdf

OMS y la telefonía celular:

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/>



Discovery Channel

<http://www.discoveryenlaescuela.com/guia/114>

Sociedad Americana del Cáncer

<http://www.cancer.org/espanol/cancer/quesloquecausael-cancer/otrosagentescancerigenos/telefonos-celulares>

Sobre la imagen de máquina de Jethro Tull

[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jethro_Tull_seed_drill_\(1762\).png#/media/File:Jethro_Tull_seed_drill_\(1762\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jethro_Tull_seed_drill_(1762).png#/media/File:Jethro_Tull_seed_drill_(1762).png)

Declaración de Alcalá (sobre radiofrecuencia y salud)

http://www.peccem.org/DocumentacionDescarga/Cientificos/Declaraciones/DeclaracionAlcala_Completa.pdf

Sobre la historia de los tranvías en la Ciudad de México

<http://www.mexicomaxico.org/Tranvias/TRANVIAS.htm>

Sobre la asociación de ingenieros eléctricos IEEE

http://tryengineering.org/lang/spanish/links_societies_detail.php?society=1







SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA