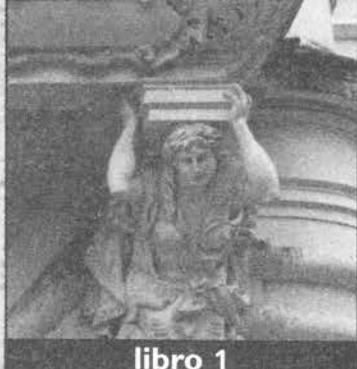


Física I

Mecánica, Ondas y Calor



MECÁNICA , ONDAS Y CALOR

ESTÁTICA.

Fuerzas en equilibrio

La estática como caso particular de la dinámica	6
Egiptios y extraterrestres	6
Levantar a un sujeto con el dedo	6
Mover un gran peso	6
El rozamiento	7
Aplicaciones prácticas del rozamiento	7
Utilidad del principio de trabajos virtuales	7
Problemas de ingenio	8

CINEMÁTICA.

Movimiento de cuerpos	8
Problemas elementales	8
El lenguaje gráfico	9
Rotaciones y traslaciones	9
Proporcionalidad y linealidad	9
¿Cuántas clases de movimiento existen?	10
La compulsión por despejar x	10
Andar anómalo de los personajes de los dibujos animados	11
Aceleración del borde de una rueda	11

DINÁMICA.

Fuerzas desequilibradas	
Kilogramos de fuerza y newtons	11
Fuerzas exteriores	12
El rozamiento como vínculo	12
El coche empantanado	12
La tercera dimensión	13
¿Lenguaje riguroso o coloquial?	13

LEYES DE CONSERVACIÓN.

Magnitudes constantes	
Ladrillos en un edificio	14

Centro de gravedad	15
Alineación y balanceo	15

GRAVEDAD.

Atracción entre todos los cuerpos

Gravedad y relatividad	17
Variación del peso con la altura	17
Vacio y gravedad	18
Neptuno llegó puntual a la cita	18
Soplidos y mareo	18

HIDROSTÁTICA.

Fluidos en equilibrio

Prensa hidráulica y palanca	19
Más sobre el percance del túnel Hernandarias	19
Ventajas concretas de la diversidad de unidades	20
Extracción de la manteca de cacao	20
Medidores electrónicos de presión	20

ONDAS.

Propagación de vibraciones

Importancia conceptual de las ondas	22
Oscilaciones de los cristales	22
El núcleo conceptual del tema de las ondas	23
Adaptación de impedancia	23
BLU (banda lateral única)	23

CALOR.

Transferencia de energía entre las moléculas

¿A qué temperatura debemos regular un termotanque?	25
La edad de la Tierra	25
El dedo atascado	26
Defensa del resultado absurdo	26
El vaso y la vela	26

ESTÁTICA. Fuerzas en equilibrio

La estática como caso particular de la dinámica

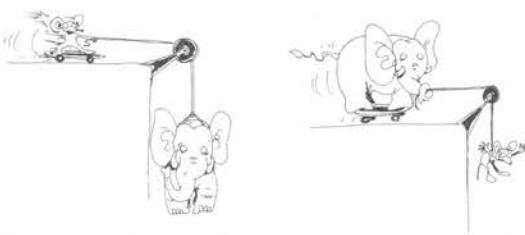
En diversos medios docentes se prefiere comenzar el programa de Física por la dinámica y no por la estática como lo hemos hecho nosotros. Se argumenta que, después de todo, la estática es sólo un caso particular de la dinámica, al que se llega con sólo igualar la aceleración a cero.

Si bien ese argumento es formalmente correcto, señalamos que la dinámica se desarrolló en el siglo XVII con Isaac Newton, mientras que la estática proviene de doscientos años antes de Cristo. No nos conviene ignorar esa brecha histórica; seguramente los dos mil años que tardó la humanidad en comprender la inercia y la diferencia entre la velocidad y la aceleración, bien podrían equivaler hoy al menos a unas semanas en el desarrollo de los conceptos en la mente de nuestros alumnos.

Ratón y elefante

Permitánnos que, en el ejemplo que sigue, pidamos ideas o conocimientos a los lectores en vez de ofrecerlos como sería nuestra obligación de autores:

Si colgamos, por intermedio de una polea, un cuerpo de masa m_1 de otro de masa m_2 apoyado sobre un plano horizontal sin rozamiento, el valor de la tensión del hilo es la misma que la que habría si intercambiáramos ambos cuerpos, a pesar de que las aceleraciones son diferentes.



La tensión de la cuerda es la misma en ambos casos, y vale:

$$T = g \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$$

Hemos buscado largamente algún argumento directo y sencillo que explique esa coincidencia, y no lo hemos hallado; agradeceremos a quien lo haga.

Naturalmente, una vez conocidas la estática y la dinámica, entonces sí conviene plantearse que una de ellas engloba a la otra, pero esta idea nos parece posterior a la construcción de los conceptos involucrados en ambos capítulos.

Egiptios y extraterrestres

La literatura fantástica ha especulado con la posibilidad de que los egipcios de la antigua civilización del valle del Nilo hayan recibido la ayuda de seres extraterrestres (u otra explicación igualmente descabellada) para justificar la construcción de obras que requerían mover piedras de centenares de toneladas. Pero si se dispone de suficiente gente, tiempo, soga y rampas, es posible mover gigantescos pesos con esfuerzos moderados. Las siguientes propuestas suelen sorprender a los estudiantes acerca de las posibilidades de la suma de fuerzas y de algunos sencillos mecanismos, y les permiten desarrollar su sentido crítico con respecto a creencias y habladurías de escaso o nulo fundamento.

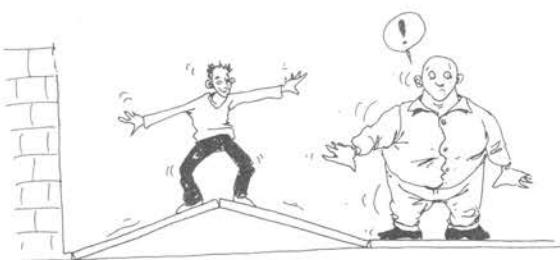
Levantar a un sujeto con el dedo

Este sencillo truco ha servido para hacer creer en la magia a las mentalidades más ingenuas: se piden siete voluntarios; a uno de ellos (es preferible que calce zapatos con taco) se lo coloca en el medio, y los demás le ponen un dedo debajo de cada pie en el hueco que queda antes del taco, un dedo debajo de cada codo, y uno debajo de cada axila. Inmediatamente hacen fuerza hacia arriba. Si no alcanzan, todavía, a levantarla, el profesor agrega su propio índice debajo de la barbilla del sujeto, y lo alzará ante la sorpresa de muchos.

Mover un gran peso

Con la ayuda de tres tablas como las que se emplean para hacer estantes se puede hacer un mecanismo de gran desmultiplicación de movimientos, o sea un gran amplificador de fuerza. Se apoya una tabla sobre el piso, y sobre ella se suben varias personas, y se comprueba que no es posible, con la fuerza que es capaz de hacer un único individuo, deslizar semejante peso contra el rozamiento del piso. Seguidamente se colocan dos tablas una a continuación de la otra, de modo que la suma de sus longitudes supere un poco la distancia que hay entre la pared y la carga que queremos mover. Queda una especie de pequeño montículo formado por los extremos en contacto de esas dos tablas. Ahora una sola persona, con sólo apoyar delicadamente su pie en esa articulación, logrará mover la primera tabla con todos los que están sobre ella.

El rozamiento



Mecanismo de gran multiplicación de fuerza improvisado con tres tablas.

El físico y epistemólogo argentino Eduardo Fliechman suele decir que si al comenzar el estudio de un tema lo hallamos muy difícil, debemos consolarnos, pues en cuanto lo entendiéramos sólo un poco más, lo encontraremos más difícil aún.



¿Cómo se resuelven los recodos en los caminos de montaña? La respuesta, en muchos casos, es que ese problema no se resuelve; el camino queda así, muy inclinado en algunos recodos. Lo que se procura es que el vehículo marche durante la mayor parte del tiempo sobre una pendiente suave, pero ocasionalmente se admite que deba trepar cuestas más pronunciadas. Pero en otros casos, cuando la pendiente es demasiado alta y hay peligro de deslizamiento del vehículo, se excava profundamente la ladera en la zona del recodo; eso permite reemplazar un tramo recto por otro en forma de arco de hélice, y así la pendiente es moderada en todo el trayecto.

Unos lugareños se burlaban de un topógrafo que media y calculaba el trazado de un nuevo camino de montaña.

– ¡Acá no nos complicamos tanto; llevamos un burro hasta la cumbre, y por donde baja el animal hacemos el camino!

– ¡Ignorantes! ¡Y si no tienen un burro?

– ¡Ah, entonces sí, llamamos a un topógrafo! Para tranquilidad de los topógrafos, anunciamos que conocemos tantas versiones de esta burla, como profesiones existen.

El caso del rozamiento es, quizás, el ejemplo más representativo del divorcio entre el saber escolar y el universo físico.

No hay práctica de laboratorio más imprecisa que la de rozamiento; los coeficientes μ , en contra de lo que enseña la física, son variables en vez de permanecer constantes; cambian con la fuerza, con la velocidad, con la temperatura, la humedad y hasta con la repetición de la medición sin que se haya modificado, en apariencia, ninguna de las condiciones del experimento.

Algunos docentes, frente a estos hechos, evitan esa clase de experiencias frustrantes a los alumnos para que no caigan en el descrédito del método experimental. Nuestra propuesta adhiere de manera entusiasta a la actitud opuesta: es muy educativo que vean cómo falla la ciencia, y con qué resguardos y límites son aplicables los resultados consagrados en muchos libros.

Realicemos entonces experiencias de rozamiento, y estudiemos los amplios límites entre los que puede variar un coeficiente μ .

Aplicaciones prácticas del rozamiento

Sugerimos conectar los temas de estudio con hechos y problemas reales. Además de referirnos a superficies y planos en abstracto, podemos plantear preguntas como las siguientes:

– ¿Qué inclinación máxima conviene dar a la rampa de un garaje, a la de una entrada para sillas de ruedas, a un camino de montaña, a un tobogán de escape de emergencia?

Las respuestas a esta clase de preguntas no se obtienen generalmente de cálculos y ecuaciones, sino de la experiencia (o sea que hay que ir a un garaje o examinar un tobogán de una plaza). Nosotros estimamos entre 25 y 30 grados para el garaje, entre 40 y 45 para el escape y no más de 15 grados para el camino de montaña.

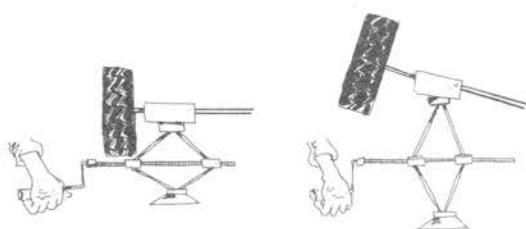
Utilidad del principio de trabajos virtuales

El problema de calcular la fuerza que hace un tornillo cuando se le aplica un determinado torque, que se incluye en el texto para los alumnos, se podría resolver mediante complejas consideraciones vectoriales y la descomposición de fuerzas en direcciones normales y tangentes a una superficie de forma helicoidal. Sin embargo, tanto en la pista que da el enunciado como en la respuesta, nos inclinamos por aplicar el principio de los trabajos

virtuales, que es muchísimo más sencillo; quizás por eso tiene dos mil años más de antigüedad que el análisis vectorial.

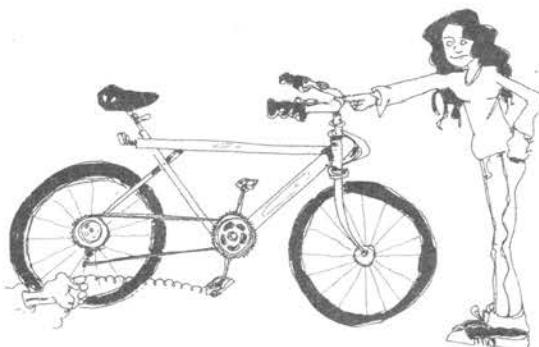
Problemas de ingenio

Los problemas que requieren razonamientos o puntos de vista ingeniosos y originales son especialmente atractivos para motivar y orientar el estudio de los alumnos. Sin embargo, han sido criticados como elementos de examinación: se argumenta que los estudiantes no están serenos mientras rinden una prueba; en consecuencia, no se les debería requerir especial claridad mental o brillo bajo esas circunstancias. Nuestra opinión es que la vida profesional tiene abundantes trances (a veces cotidianos) semejantes a la llamada *situación de examen*, y todos nos deberíamos habituar a rendir nuestro trabajo bajo diversos grados de tensión. En consecuencia, no vemos inconveniente en pedir ingenio también en las pruebas individuales que resuelven los alumnos (aunque sea de manera parcial, limitada... ¡y hasta optativa!). Veamos el siguiente ejemplo:



¿Cuándo es necesario hacer más fuerza, para levantar un coche, con la manija de un gato del tipo de pantógrafo? ¿Cuando comienza la operación de levantarla, o cuando está terminando?

La respuesta es que hay que esforzar más la manivela al comienzo de la operación de levantar el vehículo, porque el mismo ascenso de la carrocería se consigue con un menor movimiento de la mano.



¿Para dónde se moverá la bicicleta de la figura? ¿Hacia adelante, como corresponde al sentido en que se tira del pedal? ¿O hacia atrás, en el sentido en que tira la soga?

La respuesta se puede obtener a partir de la observación de que un ciclista mueve sus pies más lentamente, con respecto a la bicicleta, que lo que lo hace ésta respecto del suelo. Entonces, durante la marcha normal, los dos pedales siempre avanzan (el de arriba lo hace más rápidamente). Por eso al tirar de la soga haremos retroceder al conjunto, aunque el pedal al que está atada la soga avance con respecto al rodado.

Otro ejemplo de problema que requiere algo de ingenio (o al menos cierta imaginación visual o experiencia) es el siguiente:

CINEMÁTICA. Movimiento de cuerpos

Problemas elementales

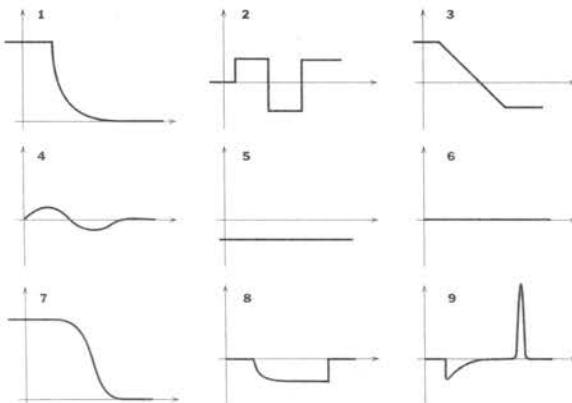
A la hora de elegir prioridades, consideramos que los estudiantes deberían poder resolver sin tropiezos aplicaciones sencillas de movimientos uniformes (tiempos de encuentro y viajes entre ciudades con vehículos que marchan a velocidad constante), aunque tengan precariamente resueltas, en cambio, sus dificultades con conceptos más avanzados como el de la aceleración centrípeta o la rotación de cuerpos extensos. La sociedad perdonará, a quien no sea especialista, que ignore cómo calcular la aceleración de la Luna, pero tendrá sobrados motivos para quejarse de que la escuela haya permitido que un empleado o empleada de la sección de fletes equivoque la estimación de un tiempo de entrega de un material, o que crea que el valor de 1,333... horas que resulta de su cálculo equivale a poco más de una hora y treinta tres minutos (cuando el valor correcto es una hora y veinte minutos). Ese error de un estudiante es, en nuestra opinión, más grave que equivocar, por ejemplo, la resolución de un problema de tiro oblicuo.

El lenguaje gráfico

La adquisición del lenguaje de la representación gráfica equivale al dominio de una nueva lengua, y tiene una proyección especial que trasciende la física. En estos tiempos el auge de los medios produce a veces una verdadera polución semántica: vivimos sumergidos en un océano de información en el que resulta casi imposible encontrar lo que nos interesa. Eso nos impone formas sumarísimas de comunicación; los gráficos de torta y de barras, por ejemplo, no se usaban en la Edad Media, aunque nada impedía que existiesen; son el resultado de la intensidad comercial y tecnológica de este siglo.

Creemos que el capítulo cinemático es el más apropiado para ejercitarse esa destreza, y proponemos aquí un ejemplo que el docente podrá extender a otras aplicaciones.

Ejercicio

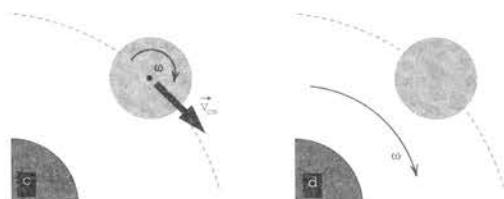
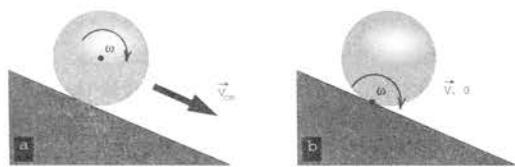


¿Cuál de los siguientes gráficos representa mejor, en función del tiempo, la altura y las componentes verticales de la velocidad y la aceleración de una carga que se deja caer en paracaídas? (R: 7, 8 y 9, respectivamente.)

Rotaciones y traslaciones

No es lo mismo rotar que moverse en círculo. Y, aunque parezca contradictorio, pueden existir traslaciones rectas y traslaciones curvas (el movimiento anual de traslación de la Tierra alrededor del Sol es un ejemplo de esta última). En el libro se dan las definiciones de rotación y de traslación, pero hemos omitido la siguiente consideración, cuyo tratamiento pormenorizado conviene que quede a cargo del docente:

Dado cualquier movimiento de un cuerpo rígido, siempre se lo puede descomponer en uno de traslación y otro de rotación. Pero esa descomposición no es única, o sea que existen infinitas maneras de superponer una traslación a una rotación de modo que compongan exactamente el mismo movimiento.



- a) La esfera rodante se puede considerar animada de un movimiento de traslación de velocidad V_{cm} superpuesto a uno de rotación de velocidad angular ω alrededor de un eje que pasa por el centro de la esfera. b) Pero también se puede imaginar que, en cierto instante, la velocidad de traslación de la esfera es nula, y su movimiento es de rotación pura alrededor del punto de contacto de la esfera con el plano, llamado centro instantáneo de rotación. c) La Luna se traslada en círculos alrededor de la Tierra, y a la vez rota sobre su propio eje, de modo que el período de traslación iguala al de rotación. d) Alternativamente, podemos imaginar que la Luna tiene un movimiento de rotación pura alrededor de un punto que se encuentra fuera de ella.

En consecuencia, cuando resolvemos un problema, tenemos la libertad de elegir con respecto a qué punto está rotando un cuerpo, según qué fuerzas se conozcan y cuáles no. Por ejemplo, en el caso de una esfera que rueda sobre un plano inclinado, se puede elegir como centro de rotación el centro de la esfera, o bien el punto de apoyo; en ambos casos (y en cualquier otro) se llega al mismo resultado: la aceleración del centro de la esfera es $\frac{5}{7} g \cdot \operatorname{sen} \alpha$.

Proporcionalidad y linealidad

Una de las dificultades más frecuentes con la que tropiezan los alumnos en este capítulo, originada quizás en anteriores etapas de estudio en las que

sólo se estudian los movimientos uniformes, es el uso indiscriminado de la ecuación *velocidad igual espacio sobre tiempo*. Esa ecuación podría ser válida, con reservas, para el movimiento uniforme, pero es decididamente incorrecta en los movimientos variados. Una extensión de ese error es el abuso de la regla de tres: si un kilo de ciruelas vale un peso, ¿cuánto valdrán cien kilos? La respuesta que da el mundo escolar es cien pesos, pero en la vida real seguramente obtendremos un considerable descuento al comprar tanta cantidad.

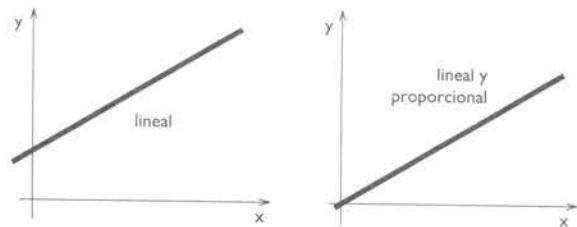
La aplicación abusiva de la regla de tres (o ecuaciones lineales) nos muestra que se encuentra a veces confundido el concepto de proporcionalidad: se cree, erróneamente, que significa lo mismo que lo que en matemática se conoce como monotonía creciente (*a más, más*). Pero proporcional significa (en un ejemplo dinámico) que si la fuerza es el doble, la aceleración será también el doble; si la fuerza es un 20% más pequeña, la aceleración será, también, un 20% menor. En cambio la energía cinética no es proporcional a la velocidad, sino a su cuadrado.

Hay otra confusión que aparece con el significado de *lineal*. En el lenguaje ordinario, lineal significa semejante a una línea, o quizás monótono o aburrido. Pero en matemática y en las ciencias naturales esa palabra tiene un significado más estrecho y definido: una función $y(x)$ es lineal si responde a la ecuación $y = ax + b$, o sea que su representación gráfica es una línea recta (y no cualquier otra línea). Convendría explicitar esto a los alumnos, puesto que esa palabra es para nosotros tan conocida y obvia, que la empleamos a menudo sin tener presente que para ellos se trata casi siempre de un término nuevo que reclama presentación.

Tomamos de Leopoldo Varela y Juan Foncuberta este ejercicio que proponían a sus estudiantes del profesorado, cuando estaban estudiando la regla de tres simple y compuesta:

Un niño de dos años tiene ocho dientes; ¿cuántos tendrá cuando cumpla cuarenta?

Los alumnos (ya casi profesores), con una gran ingenuidad, respondían: "¡Ciento sesenta dientes!" Los experimentados docentes se sentían satisfechos cuando, después de un tiempo en que se limitaban a decirles que la respuesta era incorrecta, algunos exclamaban que la regla de tres, o regla proporcional, no es aplicable a ese caso.



Cuando dos variables dependen linealmente una de la otra, y la recta que representa esa variación pasa por el origen del sistema de coordenadas, entonces esas variables son proporcionales.

¿Cuántas clases de movimiento existen?

El contrato pedagógico implícito entre el docente y los alumnos determina que éstos respondan a veces las preguntas no con lo que creen verdadero, sino con la respuesta que suponen que se espera de ellos como correcta. Saben que en los cursos de cinemática se suelen estudiar sólo algunas pocas clases de movimientos: el uniforme, el uniformemente variado, el circular uniforme y el tiro oblicuo; esto se debe a que otros movimientos, como el oscilatorio amortiguado, la caída en un medio resistente o el paseo al azar requieren de herramientas analíticas más complejas. Este hecho se traduce a veces en la creencia errónea de que sólo existen aquellos movimientos, y quizás sea cierto que son los únicos que existen en la *enseñanza escolar*.

Deberíamos esforzarnos, entonces, en recordar a los alumnos que existen otros movimientos, por ejemplo el movimiento que hace una persona con sus manos cuando habla, que ciertamente no figura (mencionado con ese detalle) en el programa de Física.

La compulsión por despejar x

Tanto en el lenguaje coloquial como en los niveles elementales de escolaridad, se acostumbra llamar x a las incógnitas de los problemas; entonces cuando un alumno ve que algo se llama x , no descansa hasta poder darle un valor concreto, y se dedica a despejar lo que cree que es una incógnita. Podemos ver esta dificultad cuando pedimos a los estudiantes que digan, por ejemplo, qué ecuación de movimiento corresponde a un móvil de velocidad constante que se encuentra en la posición 2 m en el instante 2 s, y en la posición 3 m en el instante 4 s. La respuesta es, sabemos, $x = 1 \text{ m} + 0,5 \text{ m/s. t}$. Sin embargo, no faltarán alumnos que reclamen el va-

lor del tiempo para poder hallar valor de x , pues creen que toda respuesta válida tiene que consistir en una cantidad concreta.

Conviene advertirles que x no es, en este caso, una incógnita ni un valor fijo que haya que calcular obligatoriamente; es un valor genérico que indica la posición del objeto en cualquier instante t , y lo mismo se puede afirmar con respecto a v . Esto se aclara a veces con las expresiones $x(t)$ y $v(t)$.

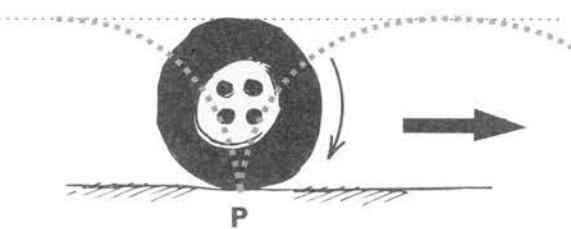
Andar anómalo de los personajes de los dibujos animados

Notemos que muchas veces los personajes de los dibujos animados hacen los movimientos de caminar, pero el paisaje se mueve detrás de ellos a una velocidad que no corresponde a sus movimientos, y parece que patinaran y avanzaran mucho más —o mucho menos— de lo que corresponde a sus pasos. Cuando caminamos, los pies permanecen, por turno, fijos al suelo. (A veces se comete a propósito ese error, con fines humorísticos, como en el dibujo de Los Pitufos.) Si la cámara se desplaza con el caminante, los pies que tocan el suelo deberían retroceder, en la pantalla, a la misma velocidad que el paisaje.

Destacamos el valor sugestivo que tienen en el estudio esta clase de observaciones; a veces alcanza con que el profesor o la profesora señalen este hecho, para que al día siguiente los estudiantes refieran muchos otros relacionados con la multitud de efectos verdaderos y falsos que nos muestran el cine y la TV.

Aceleración del borde de una rueda

El siguiente problema es de solución muy sencilla; sin embargo suele desorientar a casi todos los estudiantes (¡y a muchos docentes!). Es conocido que la trayectoria de un punto de la periferia de una rueda de un vehículo describe una trayectoria denominada *cicloide*.



La composición de un movimiento circular uniforme con otro de traslación también uniforme, da lugar a una cicloide.

Nos preguntamos cuánto vale la aceleración del punto P de la rueda *justo en el instante en que toca el piso*.

Algunos contestan que vale cero puesto que, si P es el centro instantáneo de rotación, en ese instante estará fijo, “*y por tanto su aceleración es nula*”. Ese razonamiento es errado, pues el que la velocidad de un punto sea igual a cero no implica que su aceleración deba valer también cero (recordemos el tiro vertical). Otros especulan que la aceleración no estaría definida en ese instante y para ese punto P , pues habría una singularidad o discontinuidad en la derivada de la curva, que ahí tiene un vértice.

Pero la verdad es que la aceleración de P en ese instante —y en cualquier otro— vale $a_c = \omega^2 r$ y está dirigida hacia el centro de la rueda, pues la traslación uniforme no influye sobre las aceleraciones.

Tenemos ahí, pues, un ejemplo de problema muy sencillo desde el punto de vista operacional, aunque conceptualmente complejo, como lo son todos los que se relacionan con la inercia.

DINÁMICA. Fuerzas desequilibradas

Kilogramos de fuerza y newtons

Es útil explorar la comprensión del principio de masa con la siguiente pregunta:

¿Qué aceleración adquiere un cuerpo de 1 kg sobre el que actúa una fuerza de 1 kgf?

Algunos estudiantes contestan, erróneamente, que la aceleración vale uno. La cuenta que hacen es:

$$a = F/m = 1 \text{ kgf} / 1 \text{ kg} = 1$$

Si les preguntamos: “*¿Un qué?*”, permanecen callados, pues no encuentran cómo simplificar las unidades (*¿un f, acaso?*), o aventuran la respuesta errada de 1 m/s^2 . La verdad es que, además del valor de $9,8 \text{ m/s}^2$, una respuesta acertada podría ser 1 g (un ge, una gravedad). La aceleración de las ultracentrifugadoras que se emplean en los laboratorios de biología suele expresarse en gravidades (por ejemplo, 20.000 gravidades).

Fuerzas exteriores

Cuando un coche avanza con el motor desembargado o su caja de velocidades en punto muerto, se va frenando por los rozamientos. Los rozamientos del aire y del pavimento no presentan dificultades conceptuales, pero merece especial atención la fricción entre las partes internas del vehículo (por ejemplo en los cojinetes). El principio de acción y reacción establece que las fuerzas entre las partes internas de un cuerpo no alteran su cantidad de movimiento. ¿Significa esto que entonces no importa que rocen los ejes de un vehículo? La verdad es que esos pares de interacción internos no afectan *directamente* la velocidad del coche, pero determinan un aumento indirecto de la fuerza de frenado que ejerce el pavimento hacia atrás sobre las ruedas. Esa fuerza de frenado es de rozamiento estático (pues los neumáticos normalmente no se despegan del piso), a pesar de que el coche se mueve. La pregunta *¿Quién ejerce la fuerza de frenado sobre un coche que está frenando?* tiene por respuesta *el pavimento*, y no el freno, o el pie de quien aprieta el pedal.

Otro ejemplo en el que aparece la misma dificultad es el de un ciclista que pedalea en una bicicleta que estaba en reposo. Si se cumple el principio de acción y reacción, ¿cómo es posible que persona y bicicleta se aceleren hacia adelante, si la fuerza que ejerce la persona sobre la bicicleta es de la misma intensidad, igual dirección y sentido opuesto que la que ejerce la máquina sobre el ciclista? La respuesta es que esos esfuerzos, si bien no tienen efecto neto directo sobre la velocidad, se traducen en la aparición de una fuerza entre el pavimento y los neumáticos del rodado, y esa fuerza sí tiene efecto neto, por ser externa.

El rozamiento como vínculo

Una colega que observa los errores conceptuales de aparición más frecuente en los libros de texto, Stella Maris Islas, encontró que en un problema de energía en el que un camión trepa una cuesta a velocidad constante, se pedía despreciar el rozamiento. “*Pero si no hay rozamiento —argumentaba, con razón, Stella— el camión no podrá trepar!*” Lo que debía decir el enunciado es que se podía despreciar la pérdida de energía debida a los rozamientos, pero no las propias fuerzas de fricción que actúan, en este caso, como fuerzas de vínculo semejantes a las que aparecerían si el camión tuviese ruedas dentadas y trepase por una cremallera.

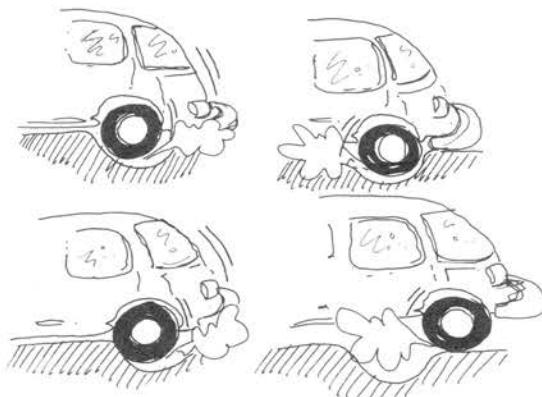
En nuestro idioma las palabras roce, fricción, rozamiento y frotación tienen todas la misma

ambigüedad que impide saber si se habla del agarre entre dos superficies, o de que raspan una contra la otra.

El coche empantanado

A veces, en un camino de tierra embarrado y lleno de pozos, el coche se queda en una cuneta, y resultan inútiles los esfuerzos para sacarlo de allí; las ruedas giran en falso y excavan aún más profundamente la zanja. El mecanismo diferencial hace que si una rueda gira sin poder agarrarse al suelo, la compañera no puede hacer mayor fuerza y permanece inmóvil.

Una manera de intentar desencanjar al vehículo sin bajarse a empujar es la de hamacarlo con impulsos intermitentes: el primero logra remontar el auto unos escasos centímetros; se aprieta el embrague y el coche baja al fondo del pozo, pero como cuando está abajo posee cierta velocidad, remonta por inercia algo de altura por la parte posterior de la cuneta, de modo que el segundo intento, si está bien sincronizado, permite ganar unos centímetros más, y así en tres o cuatro maniobras es posible desempantanar el coche.



Ciertos conductores avezados logran hacer una maniobra doblemente efectiva, pues cambian la marcha directa y reversa al mismo ritmo en el que se hamaca el coche. Un detalle de este procedimiento se puede ver en la película *Compulsión*, de Alfred Hitchcock, en una escena que parece indicar que el asesino, a pesar de ser un psicópata, es inteligente.

La tercera dimensión

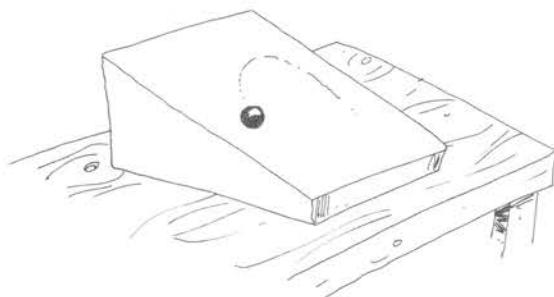
En un taller de formación docente en el que se analizaban buenos y malos exámenes se ofreció este ejemplo:

Se coloca un cuerpo sobre un plano inclinado sin rozamiento y se le da una velocidad inicial de un metro por segundo. El movimiento del objeto, ¿será rectilíneo y uniformemente variado?

Muchos habíamos considerado, erróneamente, que la respuesta es afirmativa, sea que se impulse al cuerpo hacia arriba o hacia abajo. Sin embargo no lo es, como se ve en la figura de la página siguiente.

El origen del error es la costumbre de representar los planos inclinados en realidad como *rectas* inclinadas; la tercera dimensión se encuentra tan abandonada en la física, como lo estaba en la matemática antes de recomendarse el estudio de cuerpos geométricos y no sólo el de las figuras; esto ocurre tanto en la escuela como en la vida diaria: si tenemos que comprar un trozo de madera de ciertas medidas, ¿por qué nos da vergüenza decir *paralelepípedo*, y en cambio no tenemos ningún empacho en decir *rectángulo* cuando viene al caso?

Convendría, alguna de las tantas veces que decimos *plano inclinado* en nuestras clases, aclarar que se trata en verdad de un plano, aunque se dibuje una recta.



Un cuerpo que desliza sin fricción sobre un plano inclinado puede tener una trayectoria parabólica.

¿Lenguaje riguroso o coloquial?

Compárense estas dos preguntas:

1. Sea un cuerpo puntual, o de medidas geométricas despreciables, de sesenta kilogramos de masa. ¿Qué fuerza única, de módulo, dirección y sentido constantes, aplicada a ese cuerpo en la misma dirección que su desplazamiento y en sentido opuesto, disminuiría el vector velocidad del objeto hasta cero después de un desplazamiento de diez metros, si ese cuerpo se mueve en línea recta sobre una superficie horizontal sin rozamiento, con una velocidad inicial cuyo módulo es de cien kilómetros sobre hora?

Respuesta: 7716 N.

2. ¿Qué fuerza detendría en diez metros a un cuerpo de sesenta kilos que va a cien por hora?

Respuesta: 787 kilos.

La pregunta 1 está en lenguaje físico, y la 2 en lenguaje llano. Hay quienes prefieren el primero por su rigor, otros el segundo por su sencillez. Nosotros proponemos conocer ambos lenguajes, puesto que en los cursos hay pocas personas que harán de la física su especialidad profesional, y la mayor utilidad para los que no son especialistas es la conexión entre los conceptos abstractos y sus aplicaciones efectivas.

Así pues, frente a enunciados como el 2 que se encuentren en el libro, decimos que no hay intención oculta en la pregunta, y que la falta de precisión y rigor no tiene como propósito inducir la confusión, sino vincular hechos comunes con el estudio; ése será, quizás, el lenguaje de un testigo en un accidente de tránsito, que deben interpretar tanto el juez como el perito.

La energía potencial y el potencial (una cuestión de idioma).

Hay quienes proponen respetar la concordancia de géneros del castellano, y dicen *la potencial* en vez de *el potencial*, pues se trata de un calificativo que se aplica al nombre sustantivo *energía*, o a función del mismo género.

La costumbre se inclina, sin embargo, por la forma masculina que proviene del neutro del inglés: *el potencial gravitatorio terrestre* (también el electrostático).

LEYES DE CONSERVACIÓN.

Magnitudes constantes

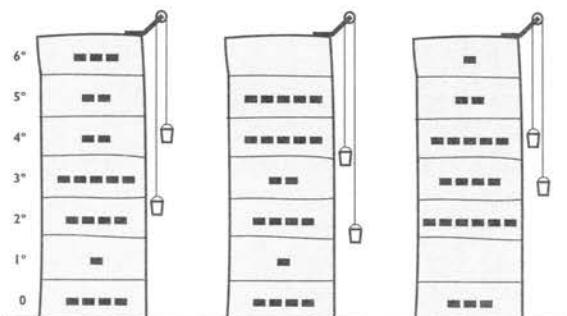
Ladrillos en un edificio

Nosotros ya sabemos que la energía potencial gravitatoria se obtiene con el producto de la masa por la aceleración de la gravedad y por la altura. Sin embargo, cuando se introduce ese tema en clase, la idea de energía potencial es todavía nueva para los estudiantes y se ven frente a dos problemas: uno de ellos es aprender cómo se conserva o se transforma esa energía; pero la mayor dificultad (simultánea) consiste en que todavía les falta aprender *qué* es la energía potencial. Por eso sería preferible un abordaje indirecto a ese concepto, que tiene el inconveniente de ser un rodeo, y por tanto demanda un mayor tiempo de estudio, pero tiene la ventaja de que recurre a ideas intuitivas y fácilmente aceptables, como las nociones de transformaciones reversibles y simétricas que se adquieren a muy temprana edad.

El argumento que sigue está inspirado en los razonamientos de Arquímedes, y guarda alguna semejanza con la introducción de la idea de momento de una fuerza, desarrollada en el capítulo de Estática.

Supongamos que en cada piso de un edificio hay ladrillos, y en la terraza una roldana con una soga y dos canastos que se pueden cargar para subirlos o bajarlos. Si se sube el mismo número de pisos la misma cantidad de ladrillos que la que se baja, no serán necesarios ni un motor ni un freno, y alcanzará con un pequeño esfuerzo para vencer los rozamientos.

Por ejemplo, si el estado inicial es el que se indica a la izquierda de la figura, con el aparejo se

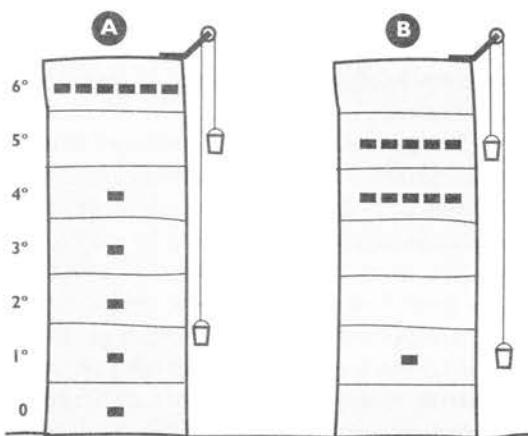


Sin aportar ni tomar trabajo, se puede cambiar la ubicación de los ladrillos con la ayuda de dos canastos y una polea. En cada etapa los ladrillos que suben deben ser tantos como los que bajan, y recorrer la misma distancia.

pueden bajar tres ladrillos del sexto piso al cuarto, y subir igual cantidad desde el tercero al quinto. El esquema del medio muestra cómo quedaron distribuidos los ladrillos después de esa operación, y el de la derecha es otro estado final posible sin agregar ni quitar energía en más medida que la necesaria para vencer los rozamientos.

Con procedimientos semejantes al descripto de subir y bajar la misma cantidad de ladrillos, se determina si es o no posible pasar de la disposición de la figura A a la de la figura B.

La respuesta es que sí es posible pasar de A a B. Una forma es la siguiente:

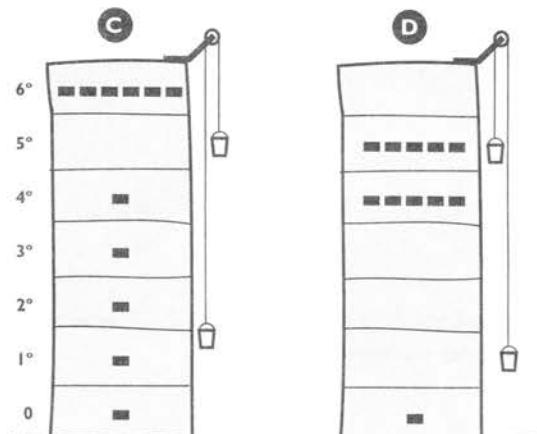


¿Es posible pasar del estado A al B? ¿Y del C al D?

0:1	1:2	2:3	3:4	1:2	2:4	3:4
6:5	6:5	6:5	6:5	6:5	6:4	2:1

Cada operación se refiere a sólo un ladrillo; el primer número antes de los dos puntos es el del piso de origen; el segundo, el del destino. (Los movimientos deben ser de a pares.)

No es posible, en cambio, pasar de C a D con el mismo procedimiento; uno de los ladrillos



queda, al final, más alto de lo que debe, y sería necesario dejarlo caer un trecho para obtener la disposición final que se pide.

Para que se pueda pasar de una disposición a otra sin aportar ni tomar energía, debe cumplirse que la suma de los productos del número de cada piso por la cantidad de ladrillos que hay en él, sea la misma antes y después.

Por ejemplo, en A tenemos:

$$[1] 1 \times 0 + 1 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3 + 1 \times 4 + 0 \times 5 + 6 \times 6 = 46$$

Y en B:

$$[2] 0 \times 0 + 1 \times 1 + 0 \times 2 + 0 \times 3 + 5 \times 4 + 5 \times 5 = 46$$

El producto del peso por la altura es la energía potencial gravitatoria acumulada al elevar los ladrillos, y se conserva en este tipo de operaciones que hemos imaginado con el aparejo, en las que no hay rozamiento y no se aporta ni se quita energía.

La igualdad entre las cantidades [1] y [2] se cumple aunque el nivel de referencia no sea la planta baja, sino cualquier otro. Para cada cuerpo, podemos definir entonces:

$$E_{pg} = \text{Peso} \cdot \text{altura}$$

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot h,$$

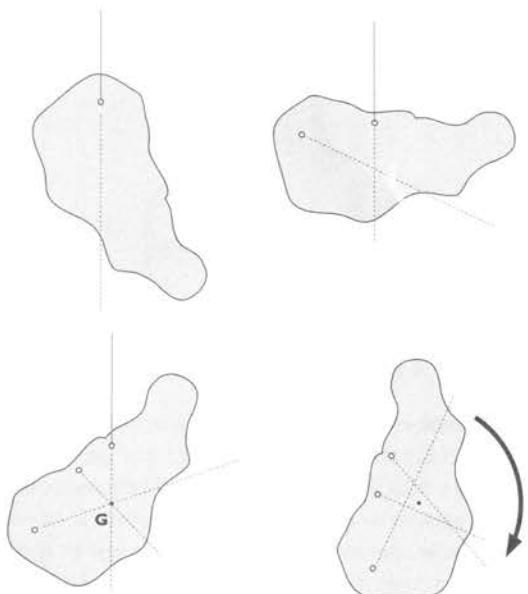
donde E_{pg} es la energía potencial gravitatoria, medida en joules, m es la masa, en kilogramos, y h la altura, en metros.

En nuestra práctica docente hemos comprobado que la introducción de este planteo como un juego de habilidad previo a la definición de la energía potencial gravitatoria facilita considerablemente la comprensión de ese concepto.

Centro de gravedad

En el capítulo de estática no hemos tratado el concepto de centro de gravedad (ni lo hemos hecho en el de gravitación) porque no es sencillo referirse a sus dificultades en un lenguaje accesible para todos los alumnos; preferimos entonces tratarlo en esta Guía y dejar a cargo del docente su desarrollo de acuerdo con las particularidades de cada curso.

Se llama *centro de gravedad* de un sistema de partículas al punto de aplicación de la resultante de sus pesos (véase *resultante* en Estática). En campos gravitatorios uniformes, como el de la Tierra en regiones pequeñas, el centro de gravedad coincide con el centro de masa.

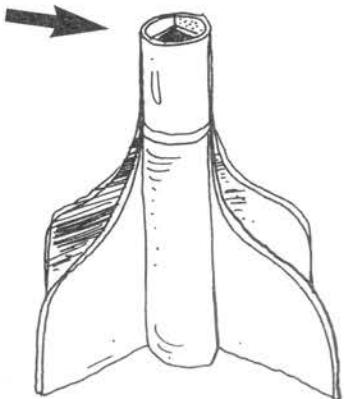


En muchos textos se describe el clásico experimento de hallar el centro de gravedad de un cuerpo irregular por el procedimiento de colgarlo de varios puntos: la intersección de las sucesivas verticales marca el centro de gravedad del objeto. Si, hipotéticamente, las verticales sucesivas no se cortaran en el mismo punto, entonces se podría suspender el cuerpo de un punto interior al polígono formado por las verticales, y el cuerpo se aceleraría, en contra del principio de conservación de la energía! Eso demuestra que las verticales tienen que converger obligatoriamente.

Alineación y balanceo

Los conceptos se adquieren de manera mucho más efectiva cuando se los puede conectar con observaciones cotidianas o familiares. Hemos encontrado que muchos estudiantes conocen las luces estroboscópicas de los locales de baile (a las que llaman *psicodélicas*, porque se las supone disparadoras de ataques de epilepsia en las personas que sufren esa enfermedad); algunos han visto los detalles de una operación de balanceo de las ruedas de un automóvil (o, sin eso, quizás les interese todo lo relacionado con los coches), y otros han visto los efectos del desbalanceo en algún lavarropas de eje vertical.

Ciertos lavarropas de eje vertical se sacuden cuando centrifugan ropa muy desbalanceada, y caminan solos por el lavadero. ¿Cómo saber de qué lado hay que sacar ropa para pasarlal lado de enfrente del canasto, si hay mezcladas toallas muy esponjosas con prendas de telas delgadas, y en consecuencia es difícil adivinar cómo está repartida la masa?



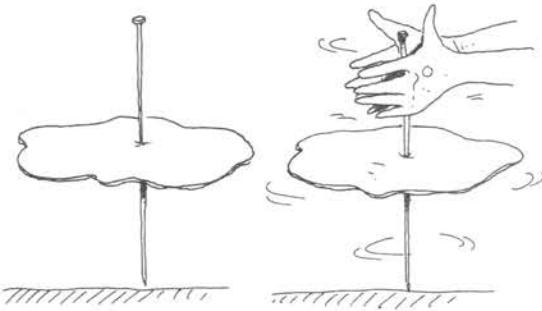
Una respuesta es que se pueden pintar tres sectores coloreados sobre el extremo superior del agitador (por ejemplo, negro, blanco y roja). Si el lavarropas gira bien balanceado, se verá una mancha de color uniforme rosa grisáceo. Si, en cambio, la mancha aparece gris hacia los bordes y roja en el centro, es que el canasto está desbalanceado hacia el lugar que señalan los sectores blanco y negro; de ahí hay que sacar prendas y pasárlas enfrente.

Si las ruedas de un automóvil no están bien paralelas ocurren efectos indeseables; uno de ellos es que, por así decirlo, las ruedas se pelean para ver cuál de ellas es la que se adhiere bien al piso y obliga a las otras a deslizarse lateralmente. En ese caso el coche se bandea a izquierda y derecha, y obliga al conductor a hacer permanentes correcciones con el volante; además, las ruedas se desgastan prematuramente. Ambos efectos son incómodos, antieconómicos y riesgosos, por lo que conviene alinear periódicamente las ruedas, operación sencilla que se suele hacer con rayos de luz y espejos fijos a las ruedas. (Es necesario salir a dar una vuelta y volver al taller, para asegurarse de que no se ha aflojado nada durante la marcha.)

Otra operación de ajuste, que se recomienda hacer simultáneamente con la anterior, es la del balanceo de las ruedas, que se puede hacer con las que están puestas y también con una rueda suelta, como la de auxilio. Consiste en hacerles coincidir el centro de masa con el centro de rotación.

La rueda no es perfectamente circular, ni la masa metálica de la llanta o la goma de la cubierta está exacta y simétricamente distribuida; entonces cuando la rueda gira velozmente transmite vibración al eje del vehículo y al mecanismo de dirección. Esto trae inconvenientes de desgaste, riesgos de rotura, saltos del vehículo a razón de uno por vuelta de la rueda, disminución del agarre contra el pavimento e incomodidad de los que viajan.

Para comprender en la práctica el efecto del desbalanceo se puede atravesar un cartón con una aguja de tejer gruesa y hacer girar el conjunto entre las palmas de las manos.

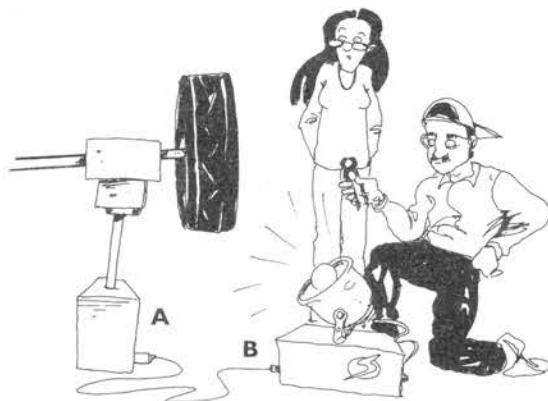


Simulación de una rueda de coche desbalanceada, con la ayuda de un cartón y una aguja gruesa.

Se percibirá una vibración, que será mayor cuanto más desbalanceado esté el cartón con respecto al punto por el que lo atraviesa la aguja. Supongamos que no es posible retirarla y atravesarlo por otro lugar más apropiado. Podríamos entonces adherir pequeños trozos de masilla en la periferia, hasta sentir que al hacer girar la aguja entre las manos, ésta no nos transmite vibración.

Quien haya hecho ese intento, habrá notado que es difícil saber de qué lado hay que poner o quitar masilla. En el caso de las ruedas de automóvil es más sencillo, gracias a un aparato especial que tiene una luz estroboscópica.

En el taller levantan el eje de la rueda hasta dejarla en el aire y, si se trata de una rueda de tracción, ponen en marcha el motor y la hacen girar velozmente. Si no es una rueda de tracción, la impulsan con un motor eléctrico. Entre el gato con el que levantó al coche y el eje hay un transductor piezoelectrónico que, al igual que las púas fonocaptadoras de los antiguos tocadiscos o los micrófonos de cristal, envía un pulso eléctrico cada vez que recibe una vibración. (Si se da un puñetazo sobre el transductor, destellará la luz.)



Equipo de balanceo:

- Transductor piezoelectrónico;
- luz estroboscópica.

Si la rueda está desbalanceada, cada vuelta que dé generará un golpe o vibración sobre el transductor; éste envía un pulso eléctrico a un circuito, que en ese instante descarga un capacitor sobre una lámpara de destello semejante a las que se usan en fotografía; el destello ilumina la rueda, y como esta operación se repite en cada vuelta, la rueda resulta iluminada siempre en la misma posición, y parece estar quieta.

El mecánico memoriza la posición de la rueda (se ayuda con el pico de aire u otro detalle natural o marcado con tiza), y agrega contrapesos (en rigor serían contramasas) en el lado de arriba, que es el opuesto al que daba los golpes al transductor.



Masas de balanceo. Sin ellas, la rueda vibraría cuando el vehículo marcha a gran velocidad.

Por razones estéticas algunos talleres ponen las masas de balanceo del lado de adentro de las ruedas, para que no resulten visibles. Pero si el coche ya es viejo y gastado, y tiene además algún golpe o no está muy limpio, los mecánicos suelen poner las masas de balanceo donde les resulta más cómodo: del lado exterior de las ruedas; así podemos verlas si examinamos vehículos estacionados en la calle.

Cuando la rueda está bien balanceada ya no parece fija, sino que resulta iluminada de manera azarosa. El indicador de la intensidad de desbalance pasa a marcar, entonces, en la zona verde de la escala, y se da por balanceada la rueda.

¿Por qué en las películas de vaqueros las ruedas de las diligencias parecen girar hacia atrás?

La detención aparente de la rueda de las diligencias de los westerns (o su giro muy lento) obedece a que la filmación está compuesta por una sucesión de cuadros fijos. Si entre dos cuadros consecutivos la rueda gira exactamente un rayo, parecerá fija. Los balanceadores de ruedas de automóviles usan a propósito este efecto, llamado estroboscópico (estro: período. La palabra estrógeno, que genera el período menstrual en la hembra, tiene la misma raíz), y en los talleres donde hay máquinas debe evitarse que la alternancia de los tubos fluorescentes dé lugar a accidentes al hacer aparecer como quietas máquinas que se hallan en marcha, entre otros engañosos efectos de giro.

GRAVEDAD. Atracción entre todos los cuerpos

Gravedad y relatividad

A pesar de que la relatividad ya tiene un siglo de edad, en algunos medios docentes se la considera todavía un tema de punta y excesivamente moderno y avanzado para la mentalidad de los jóvenes estudiantes:

“¿Cómo les vamos a enseñar relatividad si todavía no saben resolver un problema clásico de encuentros, o tienen dificultad para escribir la ecuación de un movimiento uniforme?”

En nuestra opinión, las dificultades conceptuales de la relatividad no son más arduas para los jóvenes que para los adultos con muchos años de estudio, y los rudimentos relativistas no constituyen obstáculo para el estudio de la física clásica; a la inversa, ensanchan la comprensión general y facilitan el aprendizaje. Por ejemplo, suele despertar interés entre los estudiantes el siguiente hecho, que resulta de la equivalencia entre aceleraciones y campos gravitatorios: la luz recorre el camino más corto, que es la recta; y, puesto que la luz tiene masa, su trayectoria se desvíe bajo la influencia de los campos gravitatorios, del mismo modo en que se desvíe un proyectil. Se debe aceptar entonces, aunque parezca absurdo, ¡que se curvan las rectas!

Que las rectas sean curvas es imposible de imaginar por muchísimas mentes estudiadas, y es extraordinario no sólo que a Einstein se le pudiera ocurrir por primera vez semejante idea, sino que además sea cierta

A las líneas (sean o no curvas) que corresponden al camino más corto se las llama, en realidad, geodésicas, por semejanza con las líneas de menor distancia sobre la superficie terrestre curva.

Variación del peso con la altura

Cuenta Celia Dibar Ure (investigadora en didáctica de la física) que en una oportunidad entró al laboratorio donde unos alumnos pesaban objetos, y le extrañó ver que todas las balanzas habían sido apoyadas en el suelo. La explicación de los niños fue que habían oído hablar de que el peso cambia con la altura, ¡y no querían que sus pesadas se vieran afectadas por ese fenómeno en las mesas sobre las que estaban trabajando!

Se trata, evidentemente, de un despropósito. Una variación tan pequeña de la altura (de menos de un metro) en comparación con el radio te-

rreste sólo produciría minúsculas variaciones del peso. La relación entre la altura de la mesa y el radio terrestre es de aproximadamente cinco millones; hay un factor dos que proviene de la dependencia cuadrática, así esperaríamos un error en la pesada de sólo cuatro diezmillonésimas del peso de que se trate. Si éste fuera de un kilogramo, se trataría de diferencias de menos de un miligramo. Una simple variación de la temperatura de un grado centígrado en el ambiente determinaría un cambio cinco veces mayor del empuje de Arquímedes que ejerce la atmósfera sobre el cuerpo que se está pesando.

Agreguemos a estas consideraciones que si las balanzas son de contrapesos y no de resortes o de *strain-gauges*, entonces no se registrará la más insignificante variación en la determinación de la masa de un objeto, aunque efectuemos la operación de pesada a miles de kilómetros de altura, o en otro planeta.

Vacío y gravedad

Es siempre interesante dejar que los estudiantes expresen sus ideas previas y trabajar con ellas hasta hacer patente la contradicción entre los hechos y las ideas erróneas que pudieran cultivar. Es útil apoyarse en las confusiones de los estudiantes, y explotarlas como uno de los más fériles caminos hacia el conocimiento.

La identificación entre *ingravidez, vacío, espacio y futuro* tiene su origen en pésimos programas televisivos que no encuentran mejor manera de simular las condiciones lunares, que pasar en cámara lenta las escenas con actores (¡hasta los puñetazos que se dan el héroe y el villano son seis veces más lentos!), mientras hacen tomas normales en el interior de la estación lunar presurizada, a pesar de que ahí también la gravedad se supone reducida.



Neptuno llegó puntual a la cita

¿Qué hacen los investigadores cuando los hechos

contradicen las teorías? ¿Las abandonan, acaso, al instante? La historia de la ciencia muestra que, lejos de eso, se empecinan en sostener sus ideas aun contra las más consistentes y repetidas contradicciones, y sólo abandonan el viejo cuerpo teórico cuando aparece una alternativa satisfactoria para reemplazarlo, y además la defensa de la teoría anterior se torna ya gravosa e incómoda. Aun así, el cambio se da en medio de conflictos, sufrimiento y discusiones, a menudo ásperas, hasta que las antiguas y superadas ideas por fin caen en el olvido o se derrumban con estrépito.

Es una gran ventaja que las teorías superadas se resistan a morir, porque gracias al empeñamiento de quienes las sostienen se llega muchas veces a descubrimientos importantes.

Urbain Jean Joseph Leverrier (1811-1877), profesor de astronomía en la Sorbona, estudió las anomalías del movimiento del planeta Urano, que parecía no obedecer a las leyes de Newton con la exactitud comprobable con los instrumentos de la época. En vez de abandonar las leyes de Newton, supuso la perturbación de otro planeta que hasta el momento no se había descubierto. Comunicó el resultado de su cuidadoso análisis al astrónomo John Gottfried Galle del Observatorio de Berlín, quien ajustó el telescopio el 23 de septiembre de 1846, y ahí estaba el nuevo planeta que había sospechado Leverrier, a menos de un grado de donde había calculado que iba a estar. ¡Neptuno acudió puntualmente a la cita!

En cambio, el corrimiento del perihelio de Mercurio no pudo ser explicado por ningún supuesto planeta que estuviera perturbando su órbita, ni por ninguna otra razón newtoniana; sólo la teoría general de la relatividad pudo explicar satisfactoriamente ese efecto.

Recordamos a un esforzado maestro que en 1954, después de la lectura de la nota histórica a que nos referimos sobre el descubrimiento de Neptuno, inquirió personalmente a cada uno de sus discípulos. No quedó satisfecho hasta comprobar que todos habíamos entendido la metáfora. La cita y la puntualidad eran sólo figuras retóricas para descartar la capacidad predictiva del astrónomo. El maestro Silvera, en aquella clase de astronomía, supo valorar que la comprensión de nuestra lengua tenía, en ese momento, más jerarquía que la física.

Soplidos y mareo

En relación con el mareo y los soplidos menciona-

dos en la estrategia de salvataje para el viajero espacial varado en el centro de la nave, ésta y otras formas artificiales de marearse son practicadas a veces por los muy jóvenes en su natural deseo de experimentar emociones inéditas: lo vemos cuando dan vueltas hasta perder el equilibrio, o cuando aspiran vapores de solventes. Algunas de estas prácticas son perniciosas y debemos reprenderlos afectuosamente, para que sepan que nos preocupa su bienestar y salud, y no con acritud, pues entenderían erróneamente que nuestra intención es la de privarlos de placer, y podrían reincidir a escondidas.

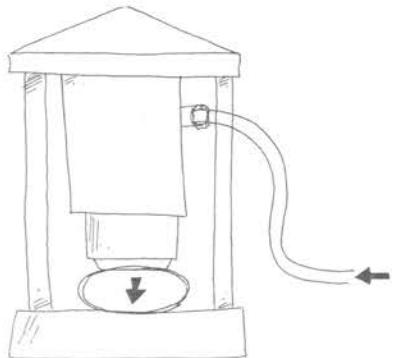
Algunas personas, después de soplar repetidamente para avivar el fuego, se marean a los pocos segundos de haber dejado de soplar, pero no mientras estaban realizando esa tarea. El mareo se va enseguida, pero se ha sabido de gente que se desvanece si inmediatamente después de ese ejercicio contiene la respiración.

Suponemos que el mareo que sobreviene al dejar de soplar obedece a una suboxigenación del cerebro cuando se reduce la presión del oxígeno desde el valor que poseía durante los soplos hasta el normal. Por esto conviene dejar de soplar gradualmente y no en forma abrupta, para dar tiempo a que funcionen los mecanismos biológicos de adaptación a las variaciones de la presión del gas.

HIDROSTÁTICA. Fluidos en equilibrio

Prensa hidráulica y palanca

Por tradición, las máquinas simples se estudian con las leyes del equilibrio estático (suma vectorial de fuerzas y suma de momentos iguales a cero), y a la prensa hidráulica con la noción de presión hidrostática, como lo hemos hecho nosotros en el libro. El estudio de estos sencillos mecanismos queda así supeditado a conceptos como el de vector o el de presión, que ofrecen a veces dificultades. En cambio el primitivo método de los trabajos virtuales, empleado hace más de dos mil años por Arquímedes de Siracusa, es más sencillo, inmediato e intuitivamente comprensible, a través de la noción de la conservación del volumen. Proponemos entonces ofrecer, en el momento apropiado, ambos enfoques a los estudiantes, por su valor conectivo de conceptos.



La prensa hidráulica como máquina simple. Cuando se bombea un litro de agua desde la derecha, aparece el mismo volumen a la izquierda. El pistón de gran diámetro avanzará, en consecuencia, muy poco; entonces hará mucha fuerza. (Este argumento no recurre al concepto de presión.)

Más sobre el percance del túnel Hernandarias

En relación con la flotación del túnel entre Santa Fe y Paraná ocurrida en 1983, agreguemos que, para poder retirar el lastre de arena y abrir las dos manos al tránsito, fue necesario aumentar en medio metro el espesor del piso del túnel con el agregado de planchas de hormigón y una nueva carpeta asfáltica, que costaron 11 millones de dólares.

En 1996 el túnel quedó otra vez suficientemente cubierto por los sedimentos del río, y se encararon trabajos de fresado y restitución de la altura útil original de esa vía, para permitir la circulación normal de los camiones y vehículos altos, suspendida durante 13 años.

El costo de esos trabajos fue mucho menor que el de las pérdidas ocasionadas por el entorpecimiento del tránsito internacional, que aumentó mucho desde la puesta en vigencia del tratado del Mercosur.

No habrá riesgo de repetición de crecientes y correntadas, por las nuevas represas hidroeléctricas que ahora regulan el flujo de ese caudaloso río.

En relación con la parodia que sigue, los estudiantes suelen hacer intencionados y jocosos comentarios relacionados con la expresión *en pelota*, en la creencia de que alude a los testículos, visibles en un hombre desnudo. Pero el origen de esa expresión (empleada por el General San Martín en una célebre arenga en la que instaba a los patriotas a alistarse en las filas de su ejército, aunque careciesen de vestimenta apropiada) es muy otro: *en pelota* significa *en pelo*, se aplica al jinete que monta sin montura, y por extensión, a la desnudez de uno u otro sexo. (Una pelota era una bola de pelo con la que jugaban los indios.)

¡Eureka! (parodia de poema gauchesco)

Este remedio de poema en verso fue dramatizado por los asistentes en el clima festivo del cierre de un congreso de enseñanza de la física en Mar del Plata, en 1987:

Todo cuerpo sumergido
en un fluido pascaliano
lo agarre o suelte la mano
que lo mantiene sujeto
recibe un empuje neto
sea piedra, bestia o humano.

La magnitud del empuje
es fácil de calcular:
debemos primero hallar
cuánto fluido es desplazado,
pesarlo con gran cuidado
y su valor anotar.

El principio que antecede,
aunque esté enunciado en verso,
rige en todo el Universo;
con gravedad uniforme,
o bien gradientes enormes
de campos bruscos o tercos.

Perplejizantes cuestiones
asaltan nuestro intelecto:
¿en el vacío perfecto,
se equilibra una balanza
tal cual si en aire descansa?
¿o se observa algún efecto?

¿Qué ocurre con un cilindro
que desliza sin fricción
por igual perforación
en el fondo de un acuario?
¿Flota o queda, estacionario,
o lo expulsa la presión?

Esta cuestión y mil otras
las resolvieron antaño
hace más de dos mil años
filósofos e ingenieros.
Arquímedes fue el primero,
mientras tomaba su baño.

Su argumento fue genial,
simple, veraz y elegante:
reemplazó al cuerpo boyante
por un volumen igual
del fluido perimetral
y añadió la equilibrante.

Hay alumnos que hoy en día
sólo estudian por la nota.
La mente se les embota
por aprender de memoria.
¡Que los inspire la gloria
de Arquímedes en pelota!

Ventajas concretas de la diversidad de unidades

En el texto hay un ejercicio cuyo enunciado es el siguiente:

Un dinamómetro del que cuelga un cuerpo indica 9 kgf cuando el conjunto está en el aire, y 6 kgf cuando se sumerge al cuerpo en agua. ¿Cuál es el peso del cuerpo, su masa, su volumen, su peso específico y su densidad?

Las respuestas que hemos dado como correctas son éstas: $P = 9 \text{ kgf}$; $m = 9 \text{ kg}$; $V = 3 \text{ dm}^3$; $\rho = 3 \text{ kgf/dm}^3$; $\delta = 3 \text{ kg/dm}^3$, y destacábamos que el empleo de unidades de diferentes sistemas facilita en este caso el cálculo. Sin embargo, hemos visto que algunos colegas, antes de considerar cualquier tentativa de respuesta por parte de los estudiantes, les imponían que convirtiesen todas las cantidades al mismo sistema de unidades. Queremos puntualizar aquí que, si bien esa conversión asegura la coherencia de las operaciones y simplificaciones, oscurece el razonamiento, pues la introducción del factor $9,8 \text{ m/s}^2$ repetidas veces aumenta el riesgo de error y hace prevalecer la operatoria algebraica por sobre el concepto. No temamos emplear unidades heterogéneas: no infringen las leyes o la moral, ni engordan.

En medios docentes se oye a veces la recomendación de emplear en las clases siempre un mismo y único sistema de unidades, por ejemplo el SIMELA, “para no crearles confusiones innecesarias a los estudiantes”. Pero al parecer esas confusiones, además de inevitables, son convenientes para el estudio, porque aclaran más cosas que las que confunden.

La multiplicidad de unidades y el empleo simultáneo de sistemas diversos es un hecho inevitable de la vida diaria. Lo podemos apreciar cuando hablamos de semanas o años en vez de segundos; cuando se habla de toneladas de cereal, barriles de petróleo u onzas de oro. Las medidas en los planos de piezas mecánicas se asumen en milímetros si no se indica otra cosa, o en centímetros en los planos de edificios, pero se usarán casi siempre las millas en la navegación marítima o aérea.

Si ni los mismos físicos se ciñen a un único sistema de unidades, ¿cómo exigirles a los demás, entonces, que lo hagan? Los investigadores utilizan el angstrom si trabajan con distancias interatómicas, las milímicras si se ocupan de espectros visibles, y los años-luz y parsecs en la astronomía.

En física teórica se emplea a menudo un



—¡Le puedo firmar un pagaré a 2,610° segundos!

sistema natural de unidades, en el cual valen 1 la velocidad de la luz en el vacío, la constante de Planck, la constante de gravitación universal y la de Boltzmann. En tal sistema de unidades la energía, la masa, la frecuencia y la temperatura son magnitudes equivalentes.

Empleemos, pues, sin temores, algunas de las unidades más comunes, aunque no sean las legales.

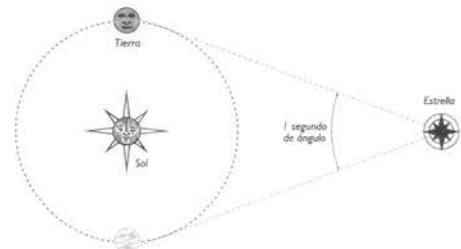
En relación con el empleo incorrecto de las unidades y sus símbolos, nos tienta a menudo el deseo de establecer qué es lo correcto y qué es lo errado; quiénes son las buenas personas que nombran las unidades como mandan las leyes y convenciones, y quiénes los marginales que no guardan respeto por lo legal y aceptado. Y nuevamente, como en el caso de los sistemas de unidades, nos vemos en la obligación de reconocer que es imposible hablar y escribir de modo siempre legal y correcto. Por una parte, los tiempos avanzan y los organismos nacionales e internacionales cambian periódicamente los reglamentos y convenciones con buenas razones y así dejan desactualizados en este aspecto valiosos textos cuya excelencia no debería depender de tales salvables detalles. Pero ocurre que además debemos considerar que muchas palabras de la física pertenecen también a otras ciencias y al menos controlable lenguaje común, del cual los físicos las hemos tomado sin permiso y carecemos de derechos para imponer sobre él nuestros significados.

Proponemos dar a las convenciones el lugar importante pero secundario que les corresponde, y prestar mayor atención a los conceptos. La ignorancia de la física puede dar lugar a concepciones erróneas de personas con insuficiente cultura general (por ejemplo creer que el agua que hiere intensamente está más caliente que la que lo hace con suavidad). Esa creencia es falsa, y el agua está en ambos casos a cien grados. Pero este error es de una categoría muy diferente a la mera

infracción formal que puede ocurrir en la comunicación, como las del nombre correcto o incorrecto que se den a las unidades, siempre sujeto a convención arbitraria que poco tiene que ver con los hechos físicos. Discúlpese a los libros, pues, que pongan lt. en vez de l cuando hay riesgo de que se confundan eles con unos; que se use indistintamente Kg y kg, que pongamos cm³ ó cc, que digamos 10°C y también diez grados centígrados, diez grados Celsius o diez grados, y que usemos todo lo posible el lenguaje llano de los que no son especialistas, en vez de ceñirnos con tanto celo a la jerga especializada, con el riesgo de que alguien pueda no entender qué se dice.

Múltiplos y submúltiplos

Hacia 1950 se enseñaba que los múltiplos se simbolizan con mayúscula, y los submúltiplos con minúscula. Así encontramos hoy textos en los que el kg aparece, todavía, con mayúscula. La convención actualmente aceptada establece que las mayúsculas sólo se emplean a partir del prefijo Mega.



Un parsec es la distancia a la que tiene que estar una estrella para que tenga una diferencia aparente de posición de un segundo de ángulo, cuando se la observa con un intervalo de seis meses, en el cual la Tierra se desplazó una distancia de un diámetro orbital.

Con respecto a las unidades inglesas (libra, pulgada, pie), que están cayendo en desuso en el propio Reino Unido, se expresa a veces el deseo de no usarlas en absoluto y ayudar así a que desaparezcan de una buena vez, como ya lo han hecho en casi todo el mundo. Sin embargo creemos que se deben conocer esas unidades, del mismo modo en que, a pesar de que es necesario saber hablar y escribir correctamente, nos interesamos también en términos, expresiones y modos de dicción que no son nada académicos, pero forman parte del mundo en que vivimos. Sería un error ignorar el lunfardo, las expresiones populares y las malas palabras, o fingir que no existen: resultaríamos tan perjudicados como si pretendiéramos manejarlos únicamente con un lenguaje inculto y nos negáramos a conocer el uso convencional y acordado del idioma.

Extracción de la manteca de cacao

El chocolate se obtiene de la molienda y el refinado de la semilla de cacao tostada. Si se comprime el chocolate contra un filtro, los sólidos quedan de un lado y pasa al otro la manteca fundida, que sirve de alimento y en cosmética, donde rinde más ganancia. Así, algunos extraen la manteca, la venden, y la suplanzan con aceites vegetales hidrogenados de la misma consistencia y punto de fusión, pero de calidad y sabor diferentes, y quizás más difícilmente metabolizables. La prensa opera durante varias horas, con un pistón de medio metro de diámetro que avanza imperceptiblemente, hasta reducir el chocolate a un disco sólido que, molido, da el polvo con el que se preparan bebidas que recuerdan, por su sabor, al verdadero chocolate.

Lo físicamente interesante de ese proceso es que la enorme presión necesaria para extraer la manteca se obtiene con un pequeño motor de un cuarto de caballo, que bombea el aceite hidráulico con un pistón de sección muy pequeña, del orden de un centímetro cuadrado.

Medidores electrónicos de presión

Hay medidores automáticos de presión sanguínea (esfigmomanómetros) que estrangulan un dedo del sujeto, que se introduce por un orificio, e indican el resultado en una pantalla. No se debe mover el dedo mientras disminuye la presión; de otro modo, el aparato malinterpreta el movimiento como si fuera un latido. Si colocamos, en vez del dedo, un lápiz grueso, el aparato indicará error, al no detectar latidos. Pero si mientras desciende la presión de estrangulamiento damos pequeños golpes o tirones alternativos al lápiz, no sólo la pantalla dará un valor (falso) de tensión arterial, sino que además suministrará el ritmo de los supuestos latidos. Y algunas marcas suministran algún comentario o recomendación ¡que debería obedecer el lápiz si desea continuar con buena salud!

Radar (*Radio detection and ranging*; Detección radial y rastreo). El método es muy útil para controlar el tránsito aéreo y terrestre y se basa en la medición del tiempo que tarda una onda de radio en ir hasta el blanco, reflejarse en él y volver.

ONDAS. Propagación de vibraciones

Importancia conceptual de las ondas

El docente tiene una visión mucho más vasta que la del estudiante acerca del papel central que desempeñan las ondas en la física; la idea de onda es tan fundamental como la de energía, campo y materia, y no se restringe a un mero fenómeno particular de variación de magnitudes con el espacio y con el tiempo. Pero es imposible comunicar de inmediato la importancia teórica de las ondas, si antes no se adquieren algunas nociones elementales sobre los fenómenos ondulatorios. Ya avanzado el estudio es bueno tener presente que, de acuerdo con la mecánica cuántica, todo lo que nos rodea es ondas, desde la luz hasta los objetos más grandes y pequeños, aunque desde un punto de vista macroscópico y clásico se distinga entre los fenómenos ondulatorios y los que no lo son.

Oscilaciones de los cristales

La mayoría de los relojes actuales de uso común basan su precisión en la constancia del período de oscilación de un cristal piezoelectrónico de cuarzo. Este mineral genera una tensión eléctrica cuando sufre una deformación, y se deforma cuando se le aplica una tensión eléctrica. Esas propiedades permiten construir circuitos osciladores cuya frecuencia es mucho más estable que la de un péndulo o la de los mecanismos de espiral y volante.

Los primitivos transmisores de radio se corrían de frecuencia cuando variaban la capacidad o la inductancia de sus componentes, y los radioescuchas debían seguir la frecuencia con la sintonía, además de soportar interferencias con emisoras vecinas en el espectro electromagnético. Posteriormente se introdujeron osciladores comandados por las vibraciones de cristales piezoelectráticos, y eso permitió multiplicar los permisos de transmisión sin riesgos de interferencias entre estaciones.

El hecho de que muchos relojes tengan osciladores eléctricos basados en las vibraciones de un cristal de cuarzo, lleva a algunas personas a llamarlos, erróneamente, relojes de cuarzo líquido, expresión que carece de significado: el cristal líquido de la pantalla no es cuarzo, y el cuarzo del oscilador no es líquido.

El núcleo conceptual del tema de las ondas

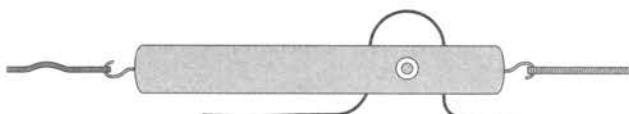
En una onda hay dos magnitudes en juego: desplazamiento y presión; campo eléctrico y magnético; estiramiento y velocidad, etcétera. La variación de una de ellas genera la otra magnitud, y esta segunda, al ser generada, naturalmente varía; entonces genera la primera, en un juego de aumentos y disminuciones que conciernen de modo tal que se produce la propagación espacial del fenómeno. Esta visión cualitativa describe en términos sencillos lo que está mejor reflejado por la ecuación de onda, que escribimos para una sola dimensión:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} - k^2 \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} = 0$$

La variable Φ es una función de la posición x y del tiempo t . Las dificultades conceptuales asociadas con el estudio de las ondas son difíciles de resolver sin recurrir a esa ecuación diferencial y a herramientas analíticas que están fuera del alcance actual de nuestros alumnos.

Adaptación de impedancia

Cuando una onda pasa a través de la frontera entre dos medios, se refleja una porción de energía. Supongamos que se trata de una onda mecánica que se propaga por dos resortes de diferente constante y grosor, empalmados. Si quisieramos que una onda no se refleje parcialmente en el empalme, debemos construir alguna clase de mecanismo adaptador, por ejemplo un brazo articulado o palanca. El resorte grueso hace mucha fuerza, y el delgado, poca. Entonces, si ponemos el punto de articulación de la palanca en el lugar apropiado, podremos equilibrar las fuerzas de modo que se reduzca la reflexión.

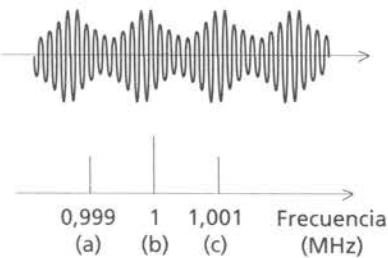


La palanca transforma la fuerza pequeña y el desplazamiento grande del resorte delgado, en una fuerza mayor con un pequeño desplazamiento. Lo que se gana en fuerza se pierde en desplazamiento, de modo que la energía se conserva. Así la onda atraviesa por completo el empalme, sin reflexión parcial.

Esto se conoce como un *adaptador de impedancia*. Los huesecillos del oído medio, el pequeño transformador que se intercala en los empalmes entre el cable chato y el cilíndrico de antena de TV, los megáfonos y los estetoscopios son ejemplos de adaptadores de impedancia. (La impedancia no se ha tratado en este curso; en el caso de las ondas mecánicas está relacionada con la fuerza necesaria para acelerar a las partículas del medio de propagación.)

BLU (banda lateral única)

Se puede demostrar que, si se modula una onda portadora electromagnética en amplitud, la onda resultante (que es de amplitud variable) es equivalente a la suma de otras tres de amplitudes y frecuencias fijas.



La onda de 1 MHz modulada en amplitud con una frecuencia de 1 kHz (arriba) equivale a la suma de tres ondas: a) 0,999 MHz; b) 1 MHz; c) 1,001 MHz (en el medio). La amplitud de cada una de esas ondas depende de la intensidad de la modulación. Abajo se representan las tres frecuencias mencionadas. (Por claridad gráfica hemos exagerado las diferencias.)

En el ejemplo que estamos considerando, la frecuencia de 1 MHz se llama *fundamental*; las de 999 y 1001 kHz son frecuencias *laterales*. En la práctica la modulación no es de una frecuencia fija de 1 kHz, sino que cambia de acuerdo a la frecuencia del sonido de la voz o de un instrumento. Así, en vez de tener frecuencias laterales fijas, hay bandas *laterales* de un cierto ancho o intervalo de frecuencias.

Es posible irradiar solamente una de las bandas laterales, y no la simétrica ni la fundamental. Esa técnica, que se conoce como *banda lateral única*, economiza energía de transmisión, ocupa un menor ancho de banda en el espectro (y permite, en consecuencia, que otros usuarios transmitan en frecuencias cercanas) y presenta algunas ventajas adicionales, entre ellas la de poderse invertir la banda para hacerla ininteligible a personas ajenas a la comunicación.

Sensible a la radiación

Un colega refiere que en los días crudos de invierno una almacenera que tenía la puerta de su pequeño comercio cerrada sólo con una cortina, sentía frío cuando entraban sus clientes al local. “¡Vienen con el frío pegado a sus ropas!”, decía. La comerciante, una persona de piel muy blanca y delgada, con sus vasos capilares casi a la vista, distinguía con esa especie de tacto térmico tan sensible si estaba recibiendo el calor radiante de las paredes de su almacén, que estarían a 15°C, o si en cambio tenía enfrente un abrigo a 5°C.

Captores de radiación de los grandes reptiles

Ciertos reptiles gigantes ya extinguidos, los estegosauroides, tenían unas aletas dentadas en su dorso que les servían para elevar en poco tiempo la temperatura de su sangre cuando amanecía y los rayos solares comenzaban a incidir sobre sus cuerpos, pues eran animales de sangre fría. De ese modo, estaban inmediatamente en condiciones de comenzar a alimentarse o cumplir con otras tareas de supervivencia y reproducción. Los animales de sangre fría que carecían de esos absorbentes térmicos estaban en desventaja relativa.

CALOR. Transferencia de energía entre las moléculas

El concepto de calor presenta dificultades metodológicas que trascienden la clásica confusión de esa magnitud extensiva con la temperatura, intensiva. Los alumnos suelen representarse el calor, erróneamente, como un fluido que se conserva, y en verdad el calor no se conserva: se puede extraer calor permanentemente de un sistema, a condición de que se le dé trabajo; es lo que sucede, por ejemplo, con el fluido refrigerante de una heladera, que disipa permanentemente por el radiador más calor del que toma del interior del gabinete; la diferencia está dada por el trabajo que aporta el motor. Transcribimos un fragmento de especial interés conceptual y didáctico de *La construcción de las ciencias físico-químicas* (Daniel Gil Pérez y otros, Nau Libres, Valencia, 1988), un libro del que es coautor.

“[...] Todos estos trabajos (a los que Joule dedicó su vida como científico aficionado) condujeron a establecer la equivalencia entre el calor y el trabajo. Conviene que el profesor se detenga aquí y (siguiendo por ejemplo la explicación muy clara dada en el Alonso-Finn) deje muy claro que no hay que concebir el calor como una forma de energía almacenada en los cuerpos (error éste muy extendido), sino pura y simplemente una forma de intercambio de energía, es decir, una forma de trabajo. Un trabajo asociado al desplazamiento de las partículas de un cuerpo y que no puede medirse por razones obvias de la forma habitual (lo que obligaría a seguir el desplazamiento de cada partícula y medir la fuerza que actúa en cada instante sobre cada una). La magnitud calor aparece así como una globalización estadística del trabajo realizado sobre cada partícula. Un trabajo que se traduce en variaciones de energía de las partículas, aumentando por ejemplo su velocidad (que se mide, también estadísticamente, con el concepto de temperatura). Y no puede hablarse de contenido en energía calorífica (a pesar de que se suela hacer) como no puede hablarse de contenido en energía “trabajosa” (cosa que, afortunadamente, nadie hace). [...]”

Otros autores, sin embargo (por ejemplo, Robert Resnick y David Halliday, *Física*, CECSA, México, 1984), hablan del calor como de “una forma de energía”, y lo identifican así con la energía interna de un sistema, o sea con la suma de todas las formas de energía cinética y potencial de sus partículas.

Además de conocer con qué diferentes significados se emplean a veces los términos (aun por

parte de los especialistas y dentro el ámbito de la física), conviene tener presente que el calor no es una función de estado. Si se sabe, por ejemplo, cuáles son la presión, la temperatura y el volumen de un cierto gas, se puede saber cuál es su energía interna, pero carece de significado la pregunta de qué cantidad de calor tendría ese sistema.

¿A qué temperatura debemos regular un termotanque?

Conviene ajustar el termotanque o el calefón a la temperatura a la que realmente vamos a usar el agua (o poco más), en vez de regularlo a una temperatura mayor y después mezclar la salida con agua fría de la otra canilla. A pesar de que con cualquiera de esos dos procedimientos gastamos la misma cantidad de litros de agua a la misma temperatura, el consumo de gas o energía eléctrica es mayor en el caso de la mezcla, porque las pérdidas en los caños serán mayores, al estar en ellos el agua a mayor temperatura.

Otro ejemplo de economía de calorías, cuando ponemos un recipiente sobre la hornalla de la cocina, es hacer que no sobresalga la llama por los costados del recipiente, para no malgastar la energía que proporciona la llama, y poner el gas en el mínimo una vez que ha hervido el líquido pues, aunque le demos más fuego y hierva más enérgicamente, no por ello se excederá ni en un solo grado la temperatura de ebullición.

La edad de la Tierra

El caso del enfriamiento de nuestro planeta desde su formación es un ejemplo que no encuentra explicación satisfactoria en la suposición de que se ha ido enfriando como lo hace cualquier objeto caliente en el espacio. La Tierra presenta un gradiente geotérmico (aumento de la temperatura con la profundidad en un pozo) de aproximadamente $33^{\circ}\text{C}/\text{km}$, que se podría atribuir erróneamente a que la Tierra todavía se está enfriando desde la época en que se formó. En los pozos petrolíferos, de escasos miles de metros de profundidad, se alcanzan temperaturas de 100 o 120°C , en ocasiones mucho más, y ese valor supera al de la temperatura ambiente en cualquier lugar de la superficie del globo; en consecuencia ese gradiente no se puede atribuir en modo alguno al calentamiento acumulado por la radiación solar. Si se utilizara el valor del gradiente geotérmico (o sea el dato de cuántos grados varía la temperatura por kilómetro de profundidad) para determinar la edad de la Tierra, del mismo modo en que podríamos saber cuánto hace que se sacó del horno una torta si tomamos la tem-

peratura en su superficie y su interior, se llega a resultados sorprendentes: la Tierra se habría formado hace pocos centenares de miles de años. Pero hay testimonios geológicos de tiempos muchísimo mayores (unos 5000 millones de años). El error de esa conclusión proviene de suponer que no hay actualmente aporte de calor en el interior de nuestro planeta. Se sabe que, por el contrario, la Tierra genera calor propio, que se suma al que recibe del Sol. Proviene del trabajo de la fuerza de gravedad originado en la tremenda presión a la que se encuentran sometidos los minerales de las profundidades, o por reacciones nucleares en ellos.

Cuanto más grande es un planeta, más importante es ese calor generado en su núcleo. Se ha especulado que Júpiter tiene probablemente el mayor tamaño que puede tener un planeta como tal (si fuera más grande, generaría más calor y sería una estrella). Y hay investigadores que se han aventurado a considerar a nuestro gigante compañero, efectivamente, como una estrella. Se trataría de una estrella infrarroja y, bajo esa óptica, nuestro sistema solar sería binario.

Disipador térmico para ratas

Vimos una rata que vive como animal doméstico en una jaula con piso de chapa metálica enteriza (el techo y las paredes son de barrotes). Cuando hace calor desplaza a un lado toda la viruta que le ponen por razones higiénicas, y se acuesta sobre la chapa, que le sirve así de disipadora térmica.

Refrigeración por jadeo

Los perros jadean con la lengua afuera, y ése es el principal medio del que disponen para disipar el exceso de calor: por enfriamiento por evaporación. Nosotros, en cambio, y por carecer de tanto pelo, podemos evaporar agua por casi toda la extensión de la piel.

Los cerdos no poseen glándulas sudoríparas ni jadean, y al igual que los elefantes e hipopótamos, disipan calor por inmersión en cursos de agua. Si no los tienen, no vacilan en revolcarse en lodazales. Pero usarían agua limpia, si se les proveyese.

El borde del plato como disipador

Si el puré está demasiado caliente, se enfriará antes (y lo podremos comer) si lo extendemos en el plato y tomamos en primer lugar el del borde.

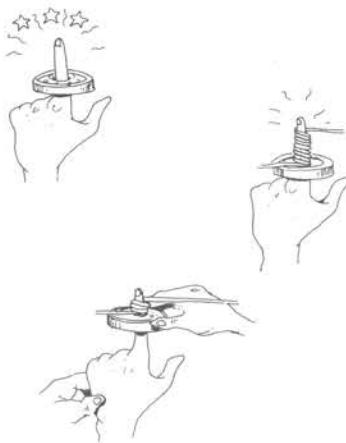
Precaución durante el soldado

Para soldar un transistor sin que el calor transmitido por el soldador lo perjudique, se recomienda tomar con una pinza el alambre que se está soldando; así el calor pasa a la pinza en vez de elevar la temperatura del transistor.

El dedo atascado

Hemos encontrado utilidad en referir este caso a los alumnos cuando promedia el tratamiento del capítulo de calor. Nuestra intención era comprobar cómo los estudiantes, guiados por el llamado contrato pedagógico, orientan sus respuestas no tanto de acuerdo con lo que creen acertado y razonable, sino por lo que consideran que se espera de ellos en ese momento del desarrollo de la materia.

Un niño metió una vez el dedo en el hueco de un cojinete que encontró en la calle, y no lo podía sacar. Un mecánico intentó sin éxito cortar el durísimo acero con un disco abrasivo. El dedo comenzaba ya a amoratarse, y se temía tener que recurrir a la cirugía, hasta que un médico logró sacarlo del aprieto. ¿Cómo hizo?



Algunos problemas que parecen de dilatación son en verdad más complejos. Naturalmente, el médico no aplicó ningún procedimiento de dilatación térmica, que habría expuesto al paciente al riesgo de quemaduras, además de que el aumento del diámetro del rodamiento sería absolutamente insignificante. El médico aplicó agua helada y mantuvo la mano del muchacho en alto para producir vasoconstricción (contracción de los vasos sanguíneos), envaselinó el dedo, enrolló un hilo alrededor de él para reducir al máximo la hinchazón, y lo fue desenrollando del lado más cercano al rodamiento, a la vez que lo deslizaba para hacerlo salir. Instruyó al chico para que él empujara con el dedo, como si se negara a retirarlo, mientras él tiraba de la piel del lado de la mano, para evitar que se arrugara y entorpeciera la operación.

Defensa del resultado absurdo

Un profesor relataba con sorna e indignación que en un examen un alumno calculó que, para una variación de apenas unos pocos grados, una barra de bronce de 10 cm sufriría una dilatación de 16 m. ¡Saldría por la ventana! La explicación del estudiante fue: "Es dilatación constante, señor" (!?)

Cuando los estudiantes se sienten presionados por el docente hasta un punto en que les interesa más la acreditación que el estudio, suelen responder sin tino ni coherencia y con el deseo de que el suplicio del examen termine cuanto antes; así lanzan respuestas irreflexivas, con la esperanza de que al menos por su forma le parezcan al docente medianamente acertadas.

En semejantes casos resulta aconsejable aliviar la tensión; suprimir el tono de censura, interesarnos en las ideas del estudiante aunque sean erróneas, desarrollarlas, dejar que él mismo las lleve a la contradicción y ayudarlo a estudiar y comprender el tema.

El vaso y la vela

No queremos dejar de comentar lo que consideramos un error muy difundido en libros, revistas y programas de divulgación. Nos referimos al clásico experimento que consiste en cubrir con un vaso invertido una vela encendida sobre un plato con agua; la llama se extingue y el nivel de agua asciende. La explicación incorrecta que se ofrece a veces es que la atmósfera tiene un 20% de oxígeno, que se consume durante la combustión, y ese volumen pasa a ser ocupado por el agua.

Sin embargo, esa explicación es objetable, porque por cada molécula de oxígeno consumida en la combustión, se produce una molécula de dióxido de carbono, que también es un gas y en consecuencia ocupa el mismo volumen aproximado.

La explicación que ofrecemos como correcta es que, durante la combustión, los gases del interior del vaso se dilatan y escapan; cuando la llama se extingue, los gases se enfrián, se contraen y entonces sí hay una verdadera causa para el ascenso del agua.

Podemos experimentar esos efectos con vasos y botellones de diverso tamaño; en los más grandes se verá cómo el aire burbujea mientras la llama aún está encendida; eso muestra que no hay consumo de volumen de gas, sino todo lo contrario; y el agua asciende después de que se ha apagado la vela, entonces ya no hay supuesto consumo, pues ha cesado la combustión.

¿Por qué se apaga la vela? Porque se agota el oxígeno. ¿Por qué sube el agua? No es por la misma razón.