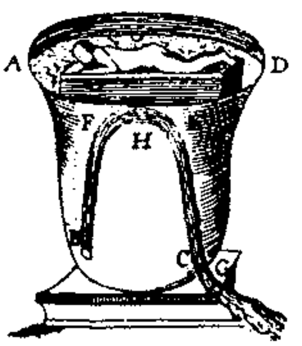
INTERCAMBIOS, COMENTARIOS



Y CRITICAS

En esta sección intentamos recoger, por una parte, los comentarios y críticas sobre los trabajos aparecidos, así como sugerencias de cualquier tipo que puedan contribuir a una mejora de la revista.

En segundo lugar pretendemos que estas páginas sirvan para dar a conocer la existencia de grupos de trabajo y facilitar así los contactos e intercambios.

También pensamos que puede ser de interés el conocimiento de las líneas de trabajo seguidas por los distintos grupos, que pueden enviar breves resúmenes de sus actividades.

Por último contemplamos la posibilidad de favorecer los intercambios objeto de esta seccion con la publicación de algunas entrevistas y mesas redondas.

DEBATES

LAS MAGNITUDES DIRECTAS EN LA FISICA ELEMENTAL

CARMELO OÑATE GUILLEN
Dr. en Ciencias Físicas
Colegio de San José. Valladolid

Introduccion

Las orientaciones pedagógicas de los programas (aún en vigor) del BUP aconsejan que, sin olvidar un uso moderado de la matemática, se insista más en el sentido físico de las demostraciones.

Comentando este consejo decíamos en el prólogo a la primera edición de nuestro texto de 2° de BUP: «La Física debe utilizar las matemáticas, pero *no es* «matemáticas»». Estas son un testigo de excepción, como lo es el maestro. Pero ni con lo uno ni con lo otro somos protagonistas del proceso físico. Por ello, junto a la demostración teórica, se ha de insistir en la intuición del fenómeno, en la comprensión íntima del alcance de los símbolos y en la manera como éstos aparecen en la fórmula hallada».

Siguiendo en esta línea, hemos podido observar cuánto ayuda a la intuición física la recíproca de muchas magnitudes, que nos son más familiares en su forma directa. O al revés, la ventaja que aporta la forma directa, demasiado olvidada.

1. Ondulatoria

Empezamos con un ejemplo en que el uso de las formas directa y recíproca se hace con naturalidad y lo destacamos porque puede servirnos de modelo para todo lo que sigue: Nos referimos al *período* y la *frecuencia*. Pasamos del uno a la otra casi sin darnos cuenta, mirando un parecido fenómeno por la cara más lúcida: Nadie dice que el período del *La* fundamental es 0,00227 segundos, porque es mucho más sencillo definir esa nota por su frecuencia, 440 Hz. En cambio nos parece más razonable hablar de los *dos segundos* del período de un péndulo que del *medio hertz* de su frecuencia.

Por lo mismo cualquier alumno comprende lo sencillo que resulta escribir ω para la corriente alterna de la red $I = I_m sen 100\omega t$, utilizando la frecuencia en vez del período *(50 Hz* en vez de *1/0,02.s)*. O bien, sirviéndonos de la frecencia *angular*, $\omega = 2\pi\nu$, expresar un movimiento armónico cualquiera más escuetamente así: $s = a.sen\omega t$.

Menos usado es en la Física elemental el llamado *número de onda*, $1/\lambda$, símbolo σ o $\bar{\nu}$): O sea, el número de ondas completas abarcadas por la unidad de longitud. Es claro que en el sistema internacional el *número de onda* se medirá en m^{-1}. A su vez el número de onda es proporcional a la frecuencia como la longitud de onda lo es al período. Y, así como la frecuencia en Hz tiene su homóloga $\omega = 2\pi\nu$ (frecuencia en radianes por segundo), existe el número de onda *angular* $k = 2\pi\sigma = 2\pi/\lambda$.

La ecuación del movimiento ondulatorio unidimensional (que estudian los alumnos en BUP y COU) puede escribirse así

$$s = s_o \cdot sen\ 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Pero, gracias a la *frecuencia* y al *número de onda* angulares, queda más sencilla de esta forma.

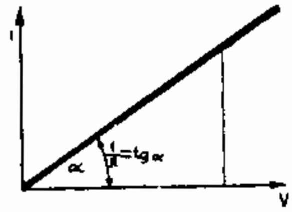
$$s = s_o \cdot sen\ (\omega t - kx)$$

II. Corriente eléctrica

a) La característica de un conductor es evidentemente la conductancia (G). Sin embargo la ley de Ohm ha solido expresarse a partir de su inversa, $R = 1/G$. Creemos que ambas deberían utilizarse indistintamente, como la frecuencia y el período, atendiendo a la mejor comprensión del fenómeno concreto que se estudia. La ley de *Ohm* la halló este físico experimentalmente. Pero, al justificarla teóricamente, aparece antes la *conductancia* que la *resistencia*. ¿Por qué tendemos tanto a olvidar la primera?

La resistencia *R* sirve para expresar la proporcionalidad entre el voltaje y la intensidad por medio de la *caída de tensión:* $V = RI$. Pero en todos los libros de texto y de prácticas de alumnos se suele demostrar experimentalmente la ley de Ohm por las intensidades obtenidas para unas tensiones *dadas*. Por tanto es la función $I = I(V)$ y no la $V = V(I)$, la que se representa (fig. 1):

Figura 1



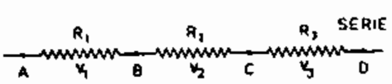
«La pendiente de esta recta, se afirma, es la inversa de la resistencia». ¿No sería mejor concluir $I = GI$ y decir que el coeficiente angular es la conductancia *(G)*?

Es evidente que resulta más intuitiva esta afirmación: *«La conductancia* es la propiedad de los cuerpos en virtud de la cual éstos dejan pasar las cargas y *se define* en cada uno *por la relación de la intensidad y la diferencia de potencial entre dos secciones paralelas».* (Véase *Easton* 1983).

b) En la conexión de resistencias («resistores» dicen los ingleses y sería más adecuada la palabra «conductores») vuelven a ser útiles los dos conceptos *G* y *R*, si queremos evitarnos rodeos inútiles en la demostración.

En el caso de que los conductores estén en serie, razonaremos a base de su resistencia o sea el *impedimento* al paso de la corriente. Colocados los «impedimentos» como en la figura 2, es lógico que sus efectos queden sumados y *el impedimento total ha de ser igual a la suma de los parciales*

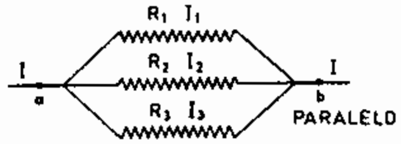
Figura 2



$$R = R_1 + R_2 + R_3 \qquad [1]$$

Desde luego esto es tan evidente como las dos proposiciones que suelen postularse para su demostración. Hay que advertir que esta evidencia no debe extrapolarse demasiado, pues en corriente alterna no se suman aritméticamente los «impedimentos». Pero si se suman, aun en alterna, las impedancias cuando son de la misma especie. Y, además, la proposición $V_t = \sum Vi$, que (como suma aritmética) es una de los postulados para la demostración de [1], tampoco es verdadera en alterna.

Figura 3



Veamos ahora cómo podría procederse en la conexión paralela (fig. 3). En esa conexión, el hecho de que *la conductancia total es la suma de las conductancia parciales* resulta tan evidente como las proposiciones en que se basa su demostración ($I = \sum Ii$ y $Vab = Vi$). Nos podemos ahorrar la demostración y escribir sin más

$$G = G_1 + G_2 + G_3 \qquad [2]$$

Fórmula equivalente a ésta otra

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad [2']$$

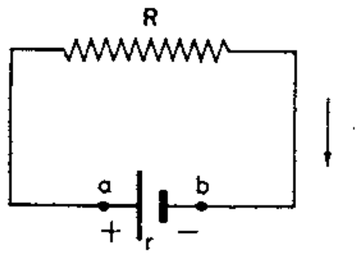
La proposición [2'] queda más alejada del alumno con la demostración convencional y por ello es tan frecuente que la aplique así en los problemas:

$$(?)\ R = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Este defecto nunca ocurriría si se utilizase la fórmula [2]. Desde luego, para que ella sea útil, ha de ser familiar la ley de Ohm en la forma $I = GV$, así como la unidad de *G*, el *siemens*.

c) Para la *ley de Ohm generalizada* y para la más-generalizada de los lemas de *Kirchhoff* es mejor el concepto de resistencia que el de conductancia. Pero si advertimos lo siguiente en orden a acercar la mente del alumno al fenómeno: Es frecuente demostrar la fórmula $I = E/(R + r)$ partiendo de la potencia. Creo que es más intuitivo y fácil no salirse de la diferencia de potencial en la forma de «caída de tensión». La *fuerza electromotriz* (o mejor la FEM, *como nombre* más que como sigla) podría definirse así: «Diferencia de potencial propia y máxima del generador», que es la que señala el voltímetro en circuito abierto. Si ha de pasar corriente, es lógico que esa caída de tensión se consuma, en parte, dentro del generador debido a su resistencia interna. Sólo el resto se detectará entonces entre los bornes *a* y *b* (fig. 4). Siendo $E = V_{max}$ resultan inmediatas las fórmulas

Figura 4



$$I = \frac{E}{R + r};$$

$$E = RI + rI; \qquad E = V + rI$$

La nueva modalidad de la potencia es también inmediata a partir de éstas y la más simple $P = RI^2$:

$$P_t = (R + r)I^2; \quad P_t = RI^2 + rI^2;$$
$$P_t = P + rI^2; \quad P_t = (R + r)I = E \cdot I$$

III. Capacidad y su inversa

Este segundo concepto puede resultar una novedad. Pero, siguiendo nuestra idea inicial, vamos a demostrar que es también útil. Entre los alumnos suele haber algo de perplejidad al comparar las fórmulas de asociación de resistencias y condensadores. Resultan al revés y por eso las confunden. Helas aquí

Serie $\quad R = R_1 + R_2;$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

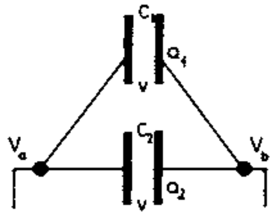
Paralelo $\quad \dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2};$

$$C = C_1 + C_2$$

Son antagónicas porque en el caso de la corriente introducimos como concepto primario el que en realidad es el inverso (la resistencia) y en el condensador se estudia el directo y el inverso ni se nombra. Las fórmulas han de ser aprendidas de memoria sin que se intuya su significado de conjunto. Pues bien, la *capacidad* es un concepto útil para la asociación en paralelo

$$C = C_1 + C_2$$

Figura 5



A mi juicio esto no necesita demostración. Es tan evidente como la hipótesis en que nos fundamos para deducirla. Si se trata de condensadores planos (y casi todos pueden asimilarse a ellos) el conectarlos en paralelo, cuando es el mismo el espesor y el dieléctrico, equivale a sumar su superficie

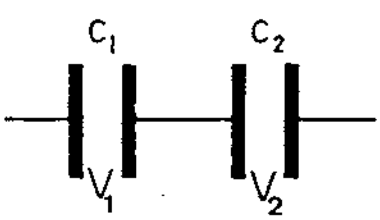
$$C = \frac{\varepsilon(S_1 + S_2)}{d} = \frac{\varepsilon S_1}{d} + \frac{\varepsilon S_2}{d} =$$

$$C_1 + C_2$$

La ampliación al caso general puede hacerse y demostrarse por el método clásico; pero, se haga o no se haga, el resultado se admite sin dificultad. Y ¿qué hacer con los condensadores en serie? —En corriente alterna existe la noción de *reactancia capacitativa* $1/C\omega$ (que se comporta como una resistencia) así como existe $C\omega$, que podemos considerarla como una *conductancia*, ya que $I_e = C\omega V_e$. ¿Por qué no oponer a la capacidad su inversa $1/C$, que sería la «dificultad en admitir cargas» para un voltaje dado? (1). Elegido un nombre adecuado (p.e. *descapacidad*) y un símbolo cualquiera $\not{C}$, quedaría $\not{C} = 1/C$; y también $\not{C} = V/Q$.

Puesto que la capacidad de un condensador es efecto de la influencia eléctrica y ésta es proporcional a la superficie de las placas y a la *cercanía* (= inversa de la distancia) entre ellas, se comprende que el colocar en serie dos condensadores de igual superficie y del mismo dieléctrico, equivale a aumentar la distancia entre la placa colectora y condensadora (la parte metálica no cuenta ya que su «influencia» es absoluta)

Figura 6



$$\frac{1}{C} = \frac{d_1 + d_2}{ES} = \frac{d_1}{ES} + \frac{d_2}{ES} \quad \frac{1}{} =$$

$$= \frac{1}{C_2} \quad \not{C} = \not{C}_1 + \not{C}_2$$

Ya ha intuido el alumno una fórmula, quizá demasiado restringida, pero que es idéntica a la que puede (o no) demostrarse después con más generalidad. La analogía entre conductores y condensadores es evidente: Puestos en serie, se suma en ambos casos la *dificultad* al paso de las cargas o a la acumulación de las mismas

$R = R_1 + R_2 \qquad \not{C} = \not{C}_1 + \not{C}_2$

Puestos en paralelo, se suma la facilidad de ambas cosas

$G = G_1 + G_2 \qquad C = C_1 + C_2$

Entre otras, citamos una ventaja más del concepto de *«descapacidad»:* El periodo de un circuito oscilante ganaría en paralelismo con el de los osciladores mecánicos:

Péndulo simple $\quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}};$

resorte $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};$

circ° oscte. $\quad T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{\not{C}}}$

El último en vez de $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

La aceleración de la gravedad, la constante del resorte (su vigor), la inversa de la capacidad (C) favorecen la frecuencia y disminuyen el período. Las tres se encuentran en el denominador.

IV. Nuevas perspectivas

Todo lo dicho no es sino una pauta para el posible uso de las magnitudes recíprocas en los demás campos de la Física. Citemos algún ejemplo más:

a) En óptica son de sobra conocidas, la curvatura, $1/r$, y la vergencia $\Upsilon = 1/f'$. Ambas se miden en m^{-1}. Pero las inversas de las distancias de objeto e imagen, que tanto intervienen en las fórmulas, deberían tener la misma entidad que la curvatura y la vergencia. Llamándolas, como en el apartado anterior, *cercanías*, colaboran a que tanto las fórmulas como sus enunciados y sus representaciones gráficas resulten más transparentes.

Por ejemplo, en los espejos esféricos, llamando c a la cercanía, y C mayúscula a la curvatura, podemos escribir

en vez de $$\left(\frac{1}{f'} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}\right),$$

$$\varphi' = c + c'; \text{ o bien } c + c' = 2C$$

«La suma de las cercanías de objeto e imagen es igual a la vergencia y proporcional a la curvatura». La representación gráfica de $s' = s(s)$ resulta difícil de interpretar para un alumno de BUP, cuando la dibuja en el laboratorio; en cambio c' en función de c le dará una recta de ordenada en el origen igual a la vergencia o el doble de la curvatura, mucho más expresiva para él.

Similares simplificaciones pueden conseguirse en otros elementos de la Optica Geométrica.

b) La inducción magnética de la bobina es directamente proporcional a la permeabilidad, al número de espiras, a la intensidad de la corriente... y a la «estrechez» del solenoide (entendiendo aquí por estrechez la inversa de la longitud, que como otras inversas ya descritas habría de medirse en m^{-1}). Esa estrechez hace que las espiras estén más apretadas y el efecto magnético de la corriente (la inducción) sea más eficaz.

c) La inversa del tiempo (rapidez con que se verifica un fenómeno) podría dar mucho juego para convertir en funciones lineales algunas que, si no, resultan hiperbólicas. Y no sólo la inversa del tiempo nos da esa posibilidad, cuya ventaja es de todos conocida.

Conclusión

Quizá a algunos colegas les parezca todo esto contraproducente. El alumno abusa de la falsa evidencia y aplica *sin ton ni son* la regla de tres y la proporcionalidad. Precisamente hemos intentado que los muchachos lleguen al fondo físico de los fenómenos, que no coincide con la evidencia, pero tampoco con la sola deducción matemática. Esta resulta demasiado fría y abstracta.

Por lo demás, si alguno cree que no conviene aumentar el número de magnitudes y símbolos, respondemos que los Físicos no han dudado en introducirlos cuando podían ayudar a la simplificación. Recuérdese lo dicho en la sección III respecto de la alterna, así como la   y la k del movimiento ondulatorio, la $\hbar$ barrada de la mecánica cuántica y tantas y tantas nuevas magnitudes y símbolos de Física y en Matemáticas.

Nota

(1) Recuerde el lector cómo en el estudio de las redes, en corriente alterna se introducen magnitudes inversas, que simplifican los cálculos: La *admitancia*, inversas de la impedancia, $Y = G - jB$, siendo G la conductancia y B la susceptancia. Las tres, como es lógico se miden en *siemens* y podrían haber sido las magnitudes directas. Esto es ya antiguo y va en nuestra línea.

Referencias Bibliográficas

BASTON D., 1983, Suntax and Newton Second Law, *The Physics Teacher*, Vol. 21, p. 381.

RELACION DE GRUPOS DE TRABAJO

GRUPO DE CIENCIAS NATURÁIS DE NOVA ESCOLA GALEGA DE VIGO

Integrantes:

Félix Angosto, Manuel Brañas, Virginia Barros, Manón Funes, José Ramón García, María Pilar Jiménez, Cristina Pereiro, Inmaculada Pizarro.

Nivel educativo: BUP, COU, FP

Materias publicadas: Pequeña Flora de Galicia (galego), Itinerario geológico y ecológico de Pontevedra (galego), Guías de alumno y profesor para una visita ecológica a la playa (galego), Aves de Vigo.

Proyectos: Programación basada en la ecología en 1° de BUP y FP (experimentada desde 1979); programación interdisciplinar en 1° de BUP (id desde 1983); estudio del entorno; diseño de experiencias para desarrollar habilidades de investigación en los alumnos de Enseñanza Media; diagnóstico de errores conceptuales.

Dirección: Instituto Castelao. C/. Aragón s.n. Vigo. (Pontevedra).

GRUPO «PHI DOS» DE FISICA Y FILOSOFIA

Componentes:

Xavier Granados García-Doncel (Física y Química), I.B. Vall d'Hebron, Barcelona; Francisco Reus (Física y Química), I.B. La Garriga; Gloria Santa-María (Filosofía), I.B. Sant Joan Despí; Alfons Garrigós (Filosofía), I.B. La Garriga; Pere de la Fuente (Filosofía), I.B. La Garriga.

Dirección del grupo: Seminario de Física y Química. I.B. Vall d'Hebron. P. Vall d'Hebron, 93. 08035 Barcelona.

Este grupo surgió a partir de diversas actividades interdisciplinares desarrolladas en el I.B. Vall d'Hebron de Barcelona durante los últimos cursos en las que intervinieron tanto profesores de ciencias como de humanidades.

Líneas de trabajo: Durante el curso escolar-85 el grupo está trabajando en la adaptación y experimentación del