

**ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES EN LA ESCUELA
UNIVERSITARIA DEL PROFESORADO DE E.G.B. DE SANTIAGO
"ACTIVIDAD ABIERTA" I: "FUERZAS ELASTICAS"**

**Francisco M. Lorenzo, E. García-Rodeja F., J.M. Domínguez Castiñeiras
y J. Díaz de Bustamante**

Creemos que es indispensable, antes de comenzar, el tener en cuenta que el principal objetivo de nuestras Escuelas Universitarias es el de formar educadores y, en este caso concreto, formar futuros maestros que ejercerán su labor docente, como especialistas en el Area de las Ciencias de la Naturaleza, en el Ciclo Superior de la E.G.B.

Es un hecho incontrovertible que la tradición sigue imperando sobre el sistema educativo actual. Por lo que se refiere a Nuestras Escuelas Universitarias también ocurre lo mismo: se sigue manteniendo un Plan de Estudios experimental desde 1971, del que ofrecemos una muestra en el esquema (1) (Véase Esquema 1). Nos encontramos así ante una situación como es el que nuestros alumnos de la Especialidad de Ciencias solamente estudian Física y Geología en segundo curso y Química y Biología en tercer curso y a partir del mes de Enero, pues anteriormente se encontraban haciendo Prácticas Escolares. Pero lo que agrava realmente el problema es el que en el Plan de Estudios en vigencia no figuran para nada las Didácticas correspondientes a las asignaturas de la Especialidad.

Tomando como premisa la necesidad que tiene el Profesorado de adquirir una preparación psicopedagógica en línea con las nuevas tendencias de la Enseñanza de las Ciencias Experimentales y que en los momentos actuales aún

ESCOLA UNIVERSITARIA DE FORMACIÓN DO PROFESORADO DE E.X.B.: SANTIAGO
PLAN DE ESTUDIOS

ESPECIALIDADE CIENCIAS

PRIMER CURSO (COMÚN)

Obligatorias

- 161 Pedagogía
- 162 Psicosociología de la Educación
- 163 Lengua Española
- 164 Matemáticas
- 165 Lengua Francesa ó
- 166 Lengua Inglesa
- 167 Dibujo

Complementarias

- 106 Educación Física 1º (hombres)
- 107 Educación Física 1º (mujeres)

SEGUNDO CURSO

Obligatorias

- 261 Matemáticas
- 262 Física
- 263 Geología
- 264 Didáctica de la Geografía y de la Historia
- 265 Pedagogía
- 266 Música
- 267 Didáctica de la Lengua

Opcionales (a elegir una)

- 268 Religión I
- 269 Enseñanzas Pretecnológicas

Complementarias

- 211 Educación Física 2º (hombres)
- 212 Educación Física 2º (mujeres)

TERCER CURSO

Obligatorias

- 361 Matemáticas
- 362 Química
- 363 Biología
- 364 Psicosociología de la Educación
- 365 Música
- 366 Gallego
- 369 Prácticas Escolares

Opcionales (a elegir una)

- 367 Dibujo Técnico
- 368 Religión II

ESQUEMA-1

no se han logrado unas líneas maestras que seguir en Educación, porque todo o casi todo en esta materia está en etapa más o menos avanzada de investigación o de experimentación, consideramos fundamental que el Profesor de E.G.B. tenga los suficientes conocimientos sobre las Ciencias Experimentales, pero también creemos fundamental que reflexione sobre ellos, teniendo en cuenta cómo son sus alumnos, para que así conozca los mejores medios para comunicarse con ellos.

No podemos hablar de una verdadera Enseñanza de las Ciencias Experimentales sin tener en cuenta el conjunto de leyes empírica y deductivamente construidas por otros (científicos) que sirvan de guía a nuestros alumnos en la labor investigadora, en aumentar su capacidad de explicación, interpretación y predicción de fenómenos y propiedades y en la percepción del carácter interdisciplinar de la Ciencia y la integración de ésta en los entornos natural y social del alumno (1). Así —teniendo en cuenta el elevado número de alumnos por aula y el poco tiempo del que disponemos, según el plan de estudios actual, para enseñar las Ciencias Experimentales a nuestros alumnos— consideramos de vital importancia, las clases expositivas caracterizadas fundamentalmente por la transmisión de conceptos básicos expuestos por el Profesor con una adecuada conjunción teórico-experimental y utilizando los recursos didácticos apropiados. Pero no alcanzaríamos nuestro objetivo docente si nuestros alumnos, futuros educadores, sólo observaran en nuestras clases un modelo tradicional de enseñanza que despreciara las implicaciones que las Ciencias Experimentales tienen en los entornos natural y social en los que viven.

Pretendemos, por consiguiente, una enseñanza integrada donde los conceptos y principios de la Ciencia y su impacto sobre el individuo y la Sociedad constituyan un nuevo enfoque que evite la desintegración en diversos compartimientos (2), ayudando así a nuestros alumnos a comprender el mundo en que viven y a comunicar esta forma de pensamiento a sus futuros alumnos del Ciclo Superior de la E.G.B.

Nuestra Escuela Universitaria está orientada a la formación de Profesores de E.G.B. Estos profesores deben dominar el hecho científico, los modelos de interpretación, rompiendo las barreras clásicas de las ciencias diferenciadas que no se dan, por otra parte,

ni en el hecho físico, Interdisciplinaridad,
ni en el hecho pedagógico, Modelo de enseñanza en E.G.B.,
ni en el hecho social, Integración.

Es nuevamente nuestro Plan de Estudios el que pone trabas y dificultades a la innovación educativa (ausencia de Didácticas). Teniendo en cuenta nuestra experiencia docente y los diversos contactos e intercambios de ideas con nuestros alumnos y con maestros en ejercicio, vemos que la actual situación nos conduce a situaciones tan antipedagógicas como las siguientes:

- Falta de interdisciplinaridad, que trae como consecuencia la presentación de los fenómenos físico-naturales bajo diferentes aspectos, pero sin relación entre unos y otros.

- Dificultad, por parte del futuro maestro, de integrar el pensamiento científico que le conduzca a la comprensión del mundo físico natural.
- Ausencia de motivación, en el alumno de la Escuela Universitaria, al encontrar las enseñanzas desligadas de la realidad física y social.
- Dificultad, en los futuros maestros, para el desarrollo de una enseñanza integrada como método de transmisión del pensamiento científico a sus alumnos del Ciclo Superior de la E.G.B.

En nuestro empeño para buscar soluciones —conjuntamente con un colectivo de 40 Profesores de E.G.B. en ejercicio, que imparten clases como especialistas en el Área de las Ciencias de la Naturaleza— hemos constituido un Seminario que orienta su actividad hacia el estudio de la Enseñanza Integrada de las Ciencias Experimentales en el Ciclo Superior de la E.G.B. La relación de nuestros alumnos con los maestros del colectivo ha dado lugar a un marco adecuado de reflexión sobre las disciplinas de la especialidad. De él han surgido actividades, “Actividades Abiertas”, uno de cuyos objetivos es el de incorporar la enseñanza de las Ciencias Experimentales a su entorno socioeconómico, ecológico e interdisciplinar de manera que, por una parte les inicien en las técnicas de laboratorio individualizadas y de grupo y, por otra, les abran a investigaciones en su medio social, regional y nacional.

Consideramos que una de las principales cualidades de las “Actividades Abiertas” es la simplicidad del “material físico” elegido, de modo que:

- Sea utilizado en la vida real.
- Sea de fácil descripción e interpretación científica.
- Tenga pluralidad de implicaciones en la Naturaleza y en la Sociedad.

Estas “Actividades Abiertas” se pueden realizar, con distintos niveles de tecnificación, en la Escuela Universitaria del Profesorado de E.G.B. o en el Ciclo Superior de la E.G.B.

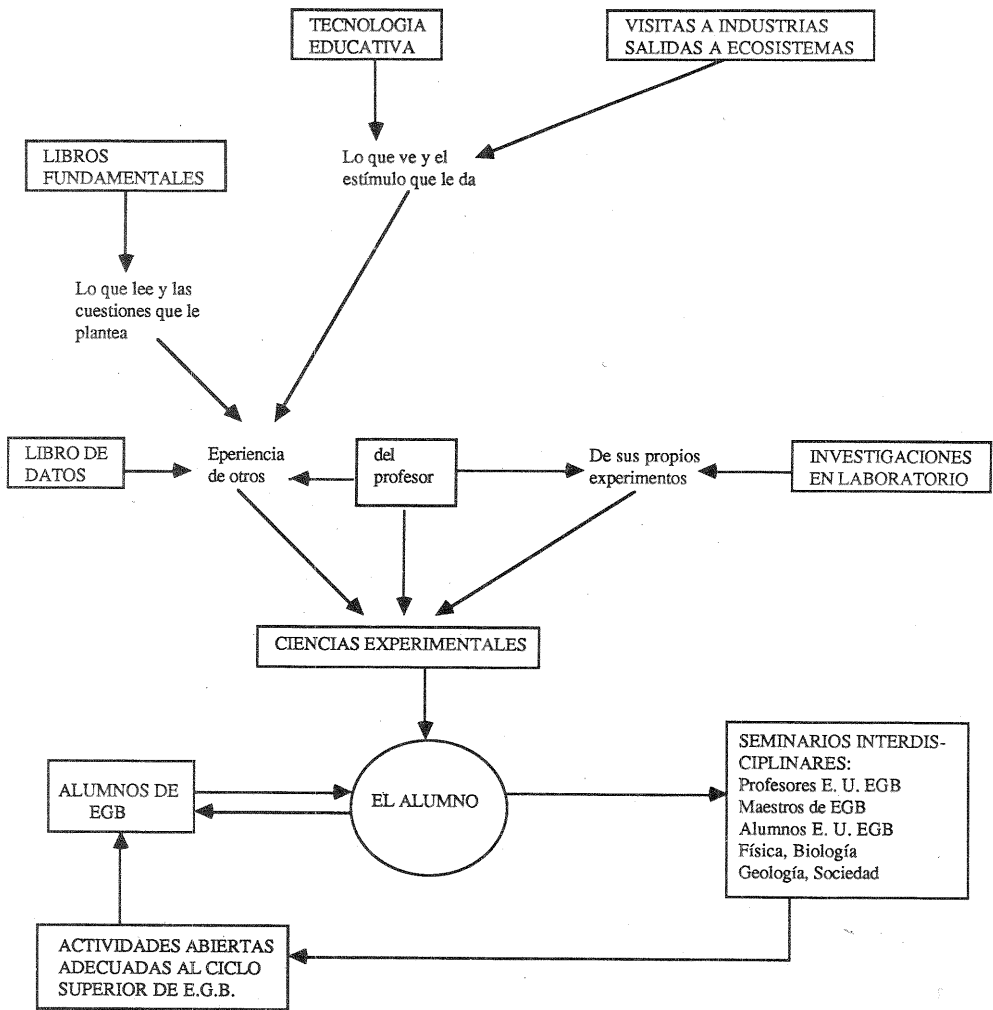
El esquema (2) puede ilustrar lo que hemos querido decir (Véase esquema 2).

A continuación exponemos un ejemplo de “Actividad Abierta” realizada conjuntamente con un grupo de alumnos de segundo curso de la Especialidad de Ciencias de la Escuela Universitaria del Profesorado de E.G.B. de Santiago de Compostela, durante el curso 1983-84, y constituido por:

Pilar Allo Búa
 Edita Astrar Martínez
 Josefa Lombardero Díaz
 Raquel Troitiño Barros
 Ana Vázquez García

Elasticidad

Desde nuestras primeras vivencias, los objetos elásticos están presentes de forma continua. Podemos remontarnos a los primeros meses en los que el



ESQUEMA 2

niño juega a estirar su chupete de goma, pasando luego por los clásicos tirachinas o por las gomas de atar el pelo hasta los mecanismos más complicados que la técnica nos proporciona como los relojes de resorte o los instrumentos musicales. El niño va diferenciando los objetos que le rodean gradualmente a base de irlos definiendo manipulativamente, sin embargo, en torno al término elasticidad, se producen a veces equívocos en el sentido de confundir la facilidad para ser deformados (cuerpos "blanditos") con la tendencia a recuperar su forma primitiva después de una deformación, de manera que se suele decir que es más elástico un chicle o la plastilina que una bola de acero, confundiendo la elasticidad con la plasticidad.

El estudio de algunos cuerpos elásticos, sobre todo de muelles y resortes, nos lleva a poder establecer relaciones cuantitativas que son obtenidas a través de experiencias muy sencillas aptas para un nivel como el ciclo superior de la E.G.B.

El muelle

Es quizás el muelle el objeto elástico por excelencia. Se puede trabajar con un muelle hecho por los propios alumnos enrollando un hilo de cobre en un lápiz de forma que se pueda sostener en un soporte y se le pueden colgar distintos pesos en el otro extremo. La comprobación del alargamiento que se produce en el muelle al colgar distintos pesos es probablemente la experiencia más sencilla que se puede realizar para obtener una ley física: la ley de Hooke (3).

Nosotros, utilizando un muelle de acero que pertenece a un equipo didáctico comercial, hemos obtenido los resultados que se resumen en la tabla I.

TABLA I

F/N	x/m
0,75	0,05
1,00	0,08
1,25	0,11
1,50	0,14
1,75	0,17

En primer lugar, aunque no hubiésemos medido ni los pesos que colgamos del muelle, ni los alargamientos, es inmediato que a mayor fuerza, mayor alargamiento se produce. Esta relación de proporcionalidad ya puede ser captada por niños de menor edad. Pero a la vista de los datos de la tabla I, es sencillo comprobar que hay una relación que se mantiene constante para todas las medidas y es que por cada 0,25 N que aumentamos la fuerza, el alargamiento

que se produce es de 3 cm, se llega así a la ley de Hooke que resume el comportamiento del muelle de la forma siguiente: $F = -kx$. Por ser los desplazamientos y las fuerzas de sentido contrarios, es necesario poner el signo menos para expresarlo. Los resultados pueden representarse mediante una gráfica que nos proporcionará una imagen más evidente de la ley obtenida (figura 1), siendo la pendiente de la recta, igual al valor de la constante "k" que llamamos constante de elasticidad del muelle y que en nuestro caso tiene un valor de 8,3 N/m.

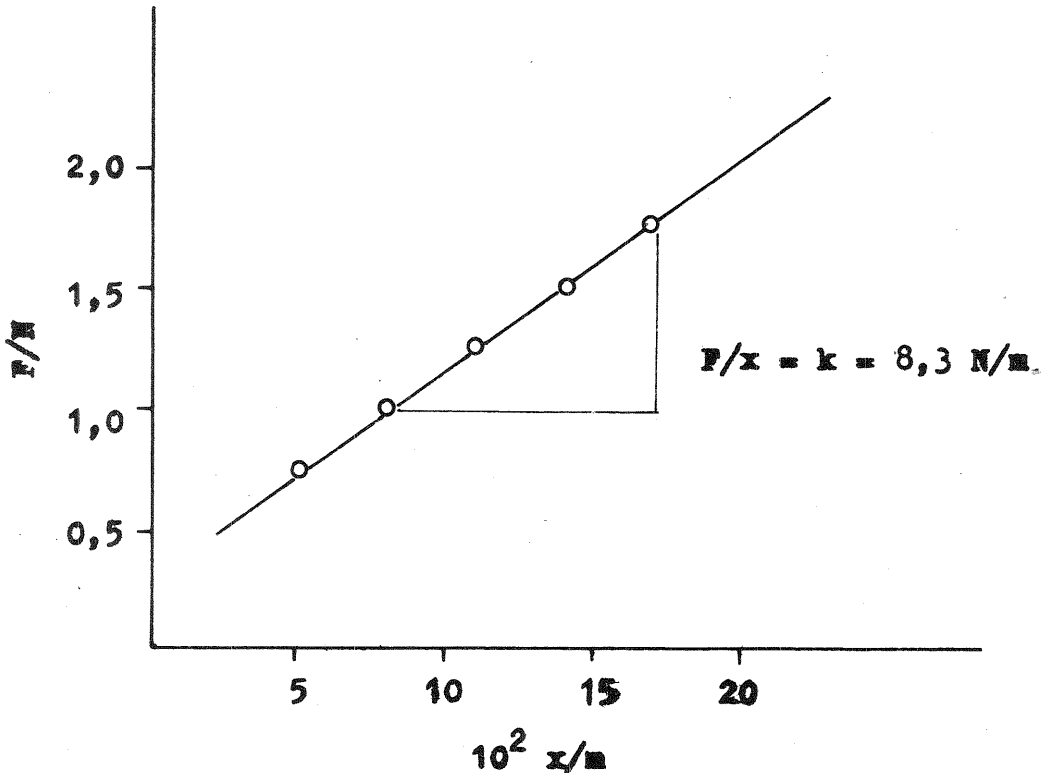


FIGURA 1

El que la recta de la figura 1 no pase por el origen de coordenadas se explica si tenemos en cuenta el comportamiento elástico del muelle, pues, con los primeros pesos que colgamos, por ejemplo 0,25 N, prácticamente no se estira nada, y, empieza a comportarse como elástico a partir de 0,50 N. Esto es importante pues nos permite explicar que el muelle sólo tiene un intervalo de comportamiento perfectamente elástico. Lo mismo ocurre cuando lo estiramos demasiado, caso en el que pierde de nuevo sus propiedades elásticas. De aquí en adelante ya tenemos un criterio para decidir si un cuerpo se comporta como perfectamente elástico o no: si cumple la ley de Hooke.

Puede repetirse la experiencia con otros muelles para comprobar que lo característico de ellos es la constante "k".

Hasta aquí, hemos estudiado con el muelle situaciones de equilibrio estático, podemos ver qué ocurre cuando con una masa “m” colgada del muelle, estiramos éste y lo soltamos. Bien, podemos observar que se pone a oscilar en torno a su posición de equilibrio. La rapidez con la que se producen las oscilaciones no depende de la distancia que nosotros separemos la masa de su posición de equilibrio, es decir, su período de oscilación (T) o tiempo que tarda en dar una oscilación completa, es independiente de la amplitud o máxima distancia de la posición de equilibrio. Pero T depende de la masa que colguemos del muelle, a medida que aumenta la masa, las oscilaciones se hacen más lentas.

La dependencia del período con la masa se puede cuantificar si medimos con un cronómetro los valores de T para distintas “m”. Nosotros hemos realizado una serie de experiencias que se resumen en la tabla II (para obtener el valor de T medíamos el tiempo de 10 oscilaciones para evitar el error que se comete al medir tiempos muy pequeños).

TABLA II

10^{-3} masa/kg	T/s
75	0,60
100	0,70
125	0,76
150	0,85

En este caso, la ley es mucho menos inmediata que en el caso estático, por lo que debemos ayudar al alumno a encontrarla sugiriéndole que haga la representación de T frente a $(m)^{1/2}$. Como se puede observar en la figura 2, esta representación es lineal, expresando la proporcionalidad entre T y $(m)^{1/2}$.

Este resultado es muy fácil de explicar si tenemos en cuenta que el movimiento es de tipo armónico simple y por tanto posee una aceleración del tipo: $a = -w^2x$ (donde w es la frecuencia angular y x la elongación) siendo la fuerza que lo produce por tanto de la forma $F = -mw^2x$ que identificando con la ley de Hooke nos queda $k = mw^2$ y como $w = 2\pi/T$, se llega finalmente a que $T = 2\pi(m/k)^{1/2}$ expresión que hemos confirmado con la experiencia. (Véase figura 2).

Podemos volver a calcular entonces de una manera dinámica la “k” del muelle. Obtenemos el valor medio de 8,2 N/m que concuerda perfectamente con el obtenido estáticamente.

El resorte

Si el muelle nos ha permitido llegar a la ley de Hooke y estudiar su movimiento vibratorio viendo cómo depende su período de la masa que colgamos

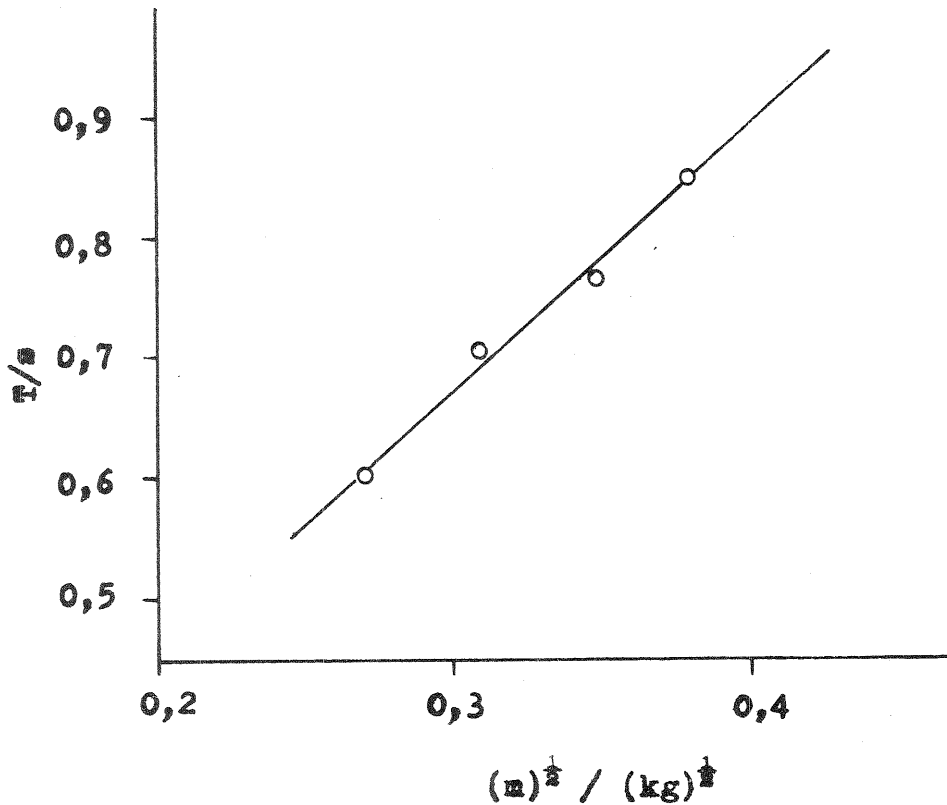


FIGURA 2

de él, el resorte nos permite hacer un estudio paralelo, esta vez con un movimiento de rotación.

Midiendo el ángulo girado por el resorte para cada momento de la fuerza, se llega experimentalmente a una ley análoga a la de Hooke para la rotación: $M = -k' \varphi$, siendo M el momento de la fuerza y φ el ángulo girado, mientras que k' es la constante de elasticidad del resorte.

Si ponemos en el resorte un cuerpo de momento de inercia " I ", veremos que realiza un movimiento oscilatorio con período:

$$T = 2 \pi (I/k)^{1/2} \quad (\text{relojes})$$

Hemos realizado la determinación estática de la constante del resorte obteniendo los valores que se muestran en la tabla III, su representación gráfica (figura 3) nos permite ver la buena correlación entre los valores de M y de φ y calcular el valor de k' que resulta ser de 0,025 Nm.

TABLA III

10^2 M/Nm	φ / rad
2,75	1,12
5,50	2,16
8,25	3,32
11,0	4,38

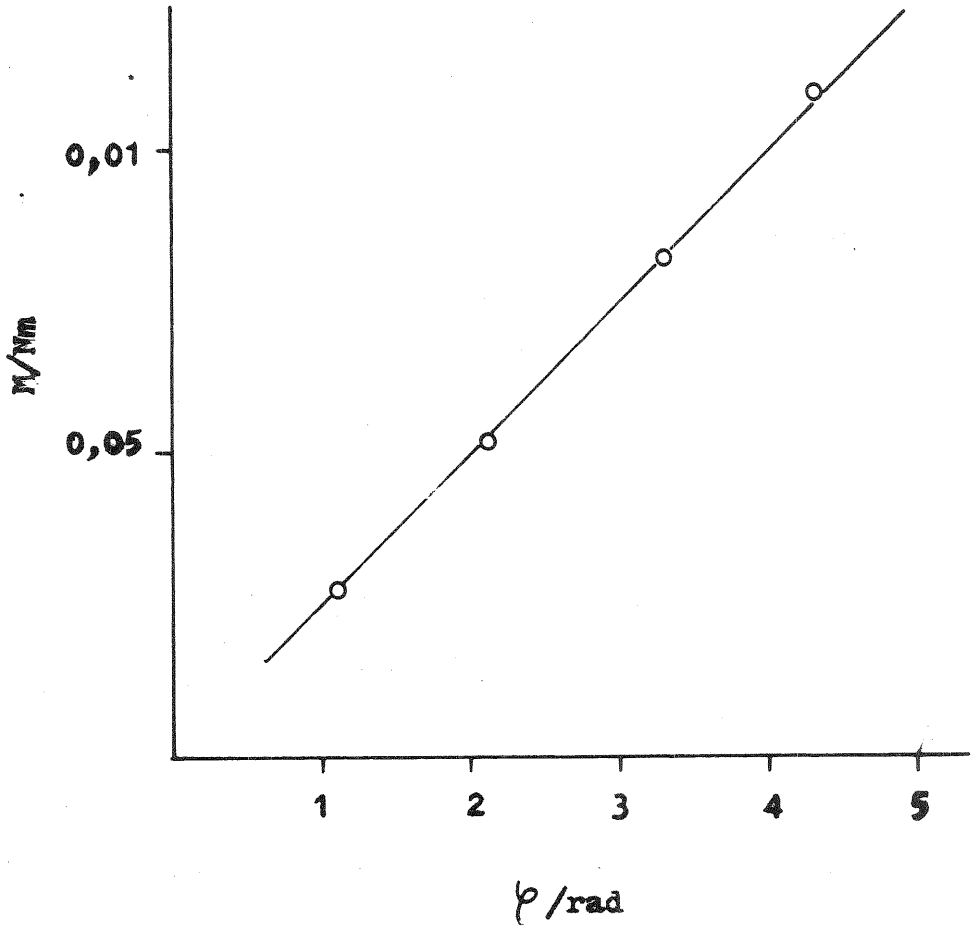


FIGURA 3

Si disponemos de un resorte sobre el que se puedan poner distintos cuerpos a rotar como es el caso del nuestro (en caso de no disponer de uno se puede hacer con el que tienen las persianas para ser enrolladas), podemos

calcular de nuevo k' de forma dinámica. Lo hemos hecho con un disco de masa y radio conocidos y girando alrededor de un eje que pasa por su centro (4) obteniendo los resultados que se muestran en la tabla IV:

TABLA IV

$10^3 I/\text{kg m}^2$	t/s (10 osc.)	T/s	k'/Nm
1,67	15,4	1,5	0,027
	15,5		
	15,3		

El valor obtenido para k' es perfectamente concordante con el obtenido anteriormente.

Ahora ya estamos en disposición de usar nuestro resorte como instrumento para la medida de momentos de inercia de cuerpos, sin más que ponerlos a oscilar en el resorte y medir su período de oscilación, lo hemos hecho con una esfera rotando por un eje que coincide con uno de sus diámetros y con una varilla rotando por un eje perpendicular que pasa por su centro. Los resultados se recogen en la tabla V y como tanto la esfera como la varilla son uniformes, de los valores de sus momentos de inercia determinados experimentalmente, podemos obtener el coeficiente que está multiplicando a la masa y al radio al cuadrado en la expresión general del momento de inercia ($I = A mr^2$), resultando ser de $2/5$ para la esfera y de $1/12$ para la varilla en perfecto acuerdo con los determinados analíticamente.

TABLA V

Objeto	t/s (10 osc.)	T/s	$10^3 I/\text{kg m}^2$
Esfera	15,8	1,6	1,7
	15,8		
Varilla	24,2	2,4	4,0
	24,4		
	24,2		

Implicaciones de las fuerzas elásticas

Las fuerzas elásticas aparecen en el medio de forma ubícuca, sin embargo, tanto en la Química como en la Geología alcanzan gran importancia porque las utilizamos como instrumento de medida de magnitudes a las que no llegamos fácilmente con métodos experimentales directos: son las fuerzas y distancias de enlace en las moléculas y el estudio del interior de la Tierra.

Las moléculas presentan enlaces no rígidos de forma que los átomos que las forman pueden vibrar en torno a unas posiciones de equilibrio. Muchas veces aunque sea una simplificación, se representan los átomos en las moléculas unidos por enlaces como muelles.



Por tanto las moléculas tendrán su período de vibración $T = 2\pi (m/k)^{1/2}$ aunque si se trata de moléculas diatómicas es más correcto poner la expresión en función de la masa reducida $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ (5). El período depende por tanto de las masas de los átomos y del valor de k que no es ni más ni menos que una medida de fuerza del enlace.

Las frecuencias con las que vibran las moléculas corresponden a las de la radiación infrarroja (IR) que como sabemos está al lado de la luz visible en el espectro electromagnético pero en regiones de mayor longitud de onda. El problema de saber con qué frecuencia vibra una determinada molécula está resuelto con la técnica espectrográfica de IR ya que sometiendo a una muestra a la luz IR podemos saber cuales son las frecuencias que absorbe.

El período y por tanto la frecuencia de vibración dependerá de la constante "k" y por tanto nos dará una medida de la fuerza del enlace. Comparando las frecuencias de vibración de algunos enlaces entre átomos de la misma naturaleza (tabla VI), podemos comprobar como efectivamente el triple enlace carbono-carbono es más fuerte que el doble enlace y éste que el enlace sencillo y que el doble enlace carbono-oxígeno es más fuerte que su enlace sencillo.

TABLA VI

ENLACE	FRECUENCIA/s ⁻¹
C-O	3,1. 10 ¹³
C=O	5,1. 10 ¹³
C-C	3,4. 10 ¹³
C=C	4,8. 10 ¹³
C≡C	6,3. 10 ¹³

Los espectros IR de las moléculas permiten su identificación pues sus frecuencias de vibración son tan características como las huellas dactilares de una persona.

Las moléculas no sólo pueden vibrar sino que rotan también y lo hacen con un período que dependerá de su momento de inercia. La frecuencia de rotación de las moléculas es menor que la de vibración, corresponde a la radiación de microondas. Las frecuencias que absorben las moléculas al rotar se

obtienen al igual que en vibración por una técnica espectrográfica en este caso de microondas y de sus valores obtenemos la información que nos va a permitir calcular el momento de inercia de las moléculas y, como las masas de los átomos son conocidas podremos determinar sus distancias de enlace.

Del mundo de las moléculas pasamos ahora al mundo macroscópico donde el estudio de las ondas sísmicas producidas por los terremotos constituyen un buen instrumento de conocimiento del interior de la Tierra. Las ondas sísmicas no son más que la transmisión elástica de deformaciones originadas en rocas con propiedades también elásticas. Estas ondas son de dos tipos, primarias y secundarias (ondas P y S) y, mientras que las P se propagan por todos los medios pues son ondas longitudinales y su velocidad de propagación es: $v_p = (K + 3/4 M) / d)^{1/2}$, las ondas S no lo hacen por medios líquidos al tratarse de ondas transversales o de cizalla, siendo su velocidad de propagación menor: $v_s = (M/D)^{1/2}$, donde M es la rigidez, K el inverso del módulo de compresibilidad y "d" la densidad.

Por supuesto, las implicaciones de las fuerzas elásticas no se acaban en la Geología o en la Química sino que se extienden al mundo de la técnica, donde las encontramos en los relojes de resorte o en las modernas turbinas de vapor que con masas de hasta 200 toneladas han de girar a 3.000 revoluciones por minuto por lo que tienen que estar construidas con materiales elásticos pues si fuesen rígidas se romperían necesariamente cualquiera que fuera su resistencia (6); en el mundo de la investigación donde podemos citar la conocida experiencia de Cavendish para la determinación de la constante de gravitación universal realizada con una balanza de torsión; y, en general en todo el entorno socio-cultural como es el caso de la música con instrumentos como la guitarra, el arpa, el violín, etc., por ejemplo, en el caso de la guitarra es fácil comprobar la aplicación de la dependencia del período de vibración de sus cuerdas con sus masas o la tensión a la que están sometidas ($T = 2\pi (m/k)^{1/2}$) pues mientras las más gruesas (mayor masa), producen los sonidos más graves (menor frecuencia), las más delgadas producen los sonidos más agudos y también si tensamos la cuerda (aumento de k), el sonido se hace más agudo.

En definitiva, el niño vive en estrecho contacto con una serie de hechos reales muy próximos a él (gomas o tirachinas, guitarra, pelota, canicas, etc.) que pueden constituir un importante punto de partida para llegar a conceptos relacionados con las fuerzas elásticas, para más adelante profundizar en aspectos formales o temas como la determinación de distancias o fuerzas de enlace o terremotos e interior de la Tierra. El acercamiento a las fuerzas elásticas se irá realizando de forma paulatina hasta desembocar, como dice Piaget cuando habla del "preadolescente y las operaciones preposicionales" en su libro *La psicología del niño* (7), en ese período de operaciones formales donde el niño pueda controlar ya las experiencias separando y combinando variables, período que correspondería a un 7º u 8º de E.G.B.

NOTAS

- (1) Sheila Haggis, "La Ciencia Integrada-un desafío para el profesor de Ciencias", *UNESCO: Nuevas Tendencias en la Enseñanza Integrada de las Ciencias*, 3 (1977), pp. 16-22.
- (2) Julio Casado, "Introducción a métodos y objetivos de la Ciencia Integrada", *Revista de Bachillerato*, 16 (1980), pp. 63-68.
- (3) Nuffield, *Ciencia Combinada: Guía del Profesor 1*, Reverté, Barcelona, 1974, p. 130.
- (4) Heidemann Kelle, *Experimentos para Laboratorios de Física, Mecánica*, Phywe España, 1977.
- (5) Robert T. Conley, *Espectroscopia Infrarroja*, Alhambra, Madrid, 1979, p. 17.
- (6) J. Landau y K. Kitaigorodskij, *Física sin secretos*, "2 vol.", Doncel, Barcelona, 1, 1971, p. 183.
- (7) J. Piaget y B. Inhelder, *Psicología del niño*, Morata, Madrid, 1978, pp. 131-148.