DEMO 182 ELASTICIDAD POR FLEXIÓN Y MÓDULO DE YOUNG

Fig.1

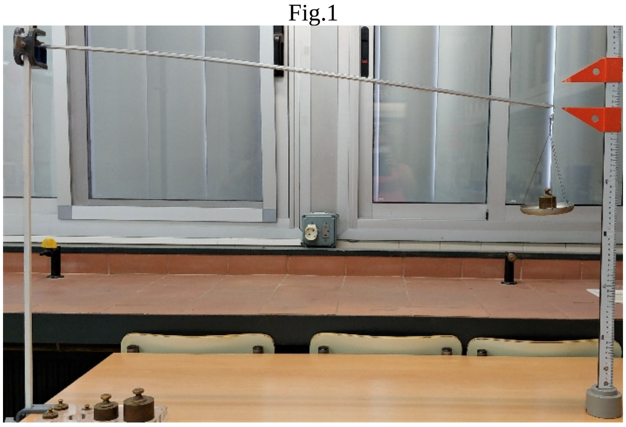

Fig. 2

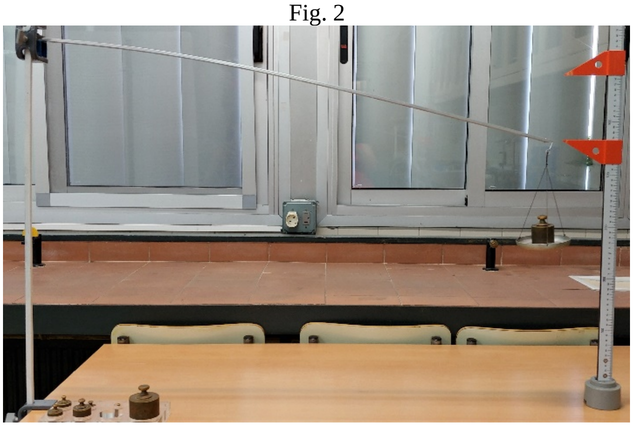

Fig. 3

Fig. 4

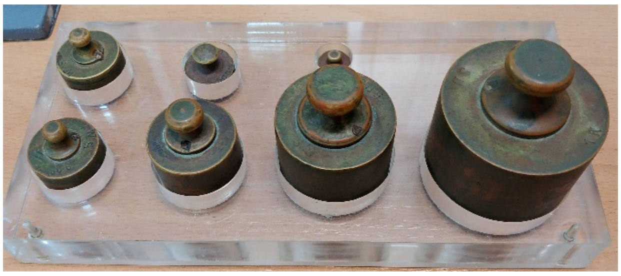

Fig. 5

Autor de la ficha	Raquel Niclòs Corts, María Jesús Hernández y Guillem Soria Barres
Palabras clave	Elasticidad, flexión, fuerzas recuperadoras, módulo de Young, coeficiente de Poisson
Objetivo	Observar y cuantificar la elasticidad de sólidos en el caso de elasticidad por flexión, es decir, cuando se ejerce una fuerza perpendicular a la longitud mayor del sólido.
Material	- Varillas de 3 materiales distintos (acero, aluminio y madera) - Portapesas y juego de pesas - Soporte - Cinta métrica o regla vertical graduada
Tiempo de Montaje	5 minutos

Descripción

Los sólidos se deforman cuando sobre ellos se ejercen fuerzas o tensiones (fuerza por unidad de superficie), por el hecho de estar conformados por átomos y moléculas entre los que existen fuerzas de interacción. Estas fuerzas de interacción, aunque en los sólidos sean más fuertes que en los fluidos, hacen que los átomos o moléculas puedan desplazarse o vibrar alrededor de sus posiciones de equilibrio. De esta forma, tras cesar la acción de fuerzas o tensiones externas que produzcan deformaciones en los sólidos, estos puedan recuperar su forma original, actuando las fuerzas internas como fuerzas recuperadoras.

La ley de Hooke nos relaciona la fuerza externa (o la tensión) ejercida para deformar un sólido con la deformación producida (o su deformación relativa), siendo el alargamiento de un muelle, por la acción de un peso colgado de él, el caso más fácilmente observable. En el caso del muelle, si al colgar un peso se produce un alargamiento x, habrá una relación lineal entre el peso, o fuerza externa F ejercida, y dicha x: $F = k\,x$, donde k será el coeficiente elástico que dependerá de las dimensiones del muelle y del material del que está hecho.

Sin embargo, existen diferentes formas de observar la elasticidad: elasticidad por tracción/compresión (ejercemos tensiones sobre una barra en la misma dirección de la dimensión mayor de la barra), elasticidad por flexión (cuando se ejerce una fuerza deformadora perpendicular a la dimensión mayor del sólido), elasticidad por cizalla (cuando la fuerza deformadora se aplica tangencialmente a la superficie del sólido), y elasticidad por torsión (caso específico de la elasticidad por cizalla en el que se aplica un par de fuerzas respecto del eje de rotación del sólido).

En esta demostración nos centramos en la elasticidad por flexión y mostramos la diferente elasticidad que tienen los sólidos según el material del que están hechos. Además, la demostración permite el cálculo de su propiedad elástica a partir de medidas experimentales simples.

Si una varilla se encuentra sujeta por sus dos extremos y se somete a una fuerza que actúa sobre su centro, dicha varilla se encorvará como se muestra en la Figura *a*. Si consideramos como deformación la distancia s, conocida como flecha en el centro, en este caso la ley de Hooke nos dice que hay una relación lineal entre s y la fuerza deformadora aplicada F: $s = k'\,F$, donde la constante de proporcionalidad k' dependerá de las dimensiones de la varilla y del material, a través de lo que se conoce como módulo de Young, E, es decir, la propiedad elástica asociada a cada material. Si la barra es de sección rectangular, con dimensión horizontal b y vertical d, y con una distancia L entre los puntos de apoyo, puede deducirse que la flecha s producida dependerá de las dimensiones de la barra y de la fuerza aplicada según la expresión:

$$s = \frac{1}{4E}\frac{L^3}{bd^3}F \qquad (1)$$

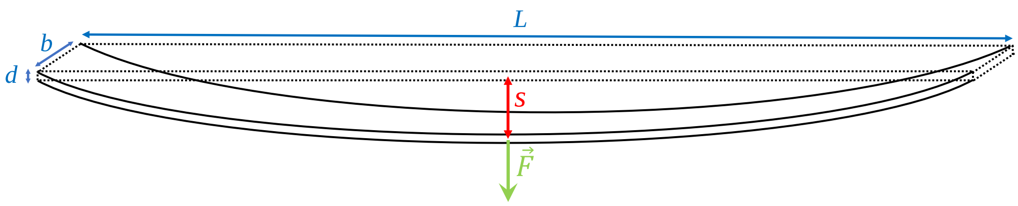

Figura *a*. Flexión de varilla sujeta por los dos extremos tras aplicar una fuerza hacia abajo verticalmente en su centro.

Si la misma varilla se dispone de tal manera que se sujeta por un extremo y se deja libre por el otro extremo, aplicando la fuerza deformadora por el extremo libre como se muestra en la Figura *b*, entonces la flecha por el extremo, s_e, puede deducirse según la expresión:

$$s_e = \frac{4}{E}\frac{L^3}{bd^3}F \qquad (2)$$

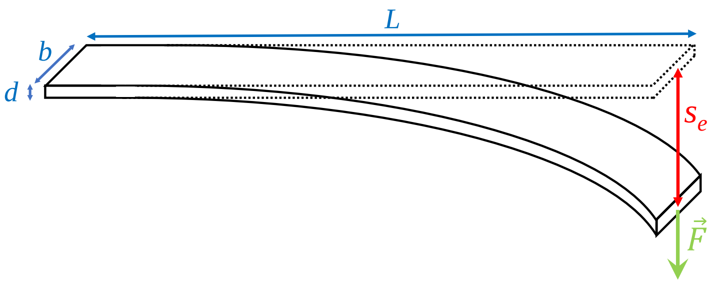

Figura *b*. Flexión de varilla sujeta por un extremo tras aplicar una fuerza verticalmente por el otro extremo.

Este segundo caso es el que se muestra en la demostración (tal y como se refleja en las figuras iniciales, Fig. 1-5).

Nota: la flecha se deduce también en la bibliografía como $s = \frac{1}{E}\frac{L^3}{48I}F$ cuando la fuerza se aplica en el centro de la varilla, y como $s_e = \frac{1}{E}\frac{L^3}{3I}F$ cuando se aplica en el extremo de la varilla, siendo *I* en ambos casos el momento de inercia de la varilla (donde $I = bd^3/12$ en el caso de varillas rectangulares como las usadas).

Montaje de la demo:

1) Se sujeta la varilla en horizontal por un extremo, y en perpendicular al pie que sirve de soporte, y se coloca el portapesas en el extremo libre de la varilla (mediante un agujero en este) (Fig.1).
2) Se observa o mide la posición inicial de la varilla por su extremo libre, utilizando para ello la regla vertical, una vez se ha colgado el portapesas (y_0) (Fig.1 y 4).
3) A partir de ese momento, se irán situando diferentes pesas en el portapesas (Fig. 4-5), y observando o midiendo las flechas s_e producidas por cada peso ($F = m\,g$), utilizando para ello la regla vertical (Fig. 2-3). Para ello, se medirá la posición, y, alcanzada por el extremo libre para cada peso (Fig. 2-4), calculándose la flecha correspondiente como $s_e = y - y_0$.

A nivel **cuantitativo** se podrá deducir el módulo de Young *E* de cada material de que están hechas las 3 varillas a partir de un ajuste lineal entre las flechas medidas para cada peso y los propios pesos o masas. Si se establece la relación lineal entre s_e y la masa, *m*, para cada pesa, entonces la pendiente de la regresión lineal por mínimos cuadrados para las medidas de cada varilla vendrá dada por $\frac{4}{E}\frac{L^3}{bd^3}g$, y de ella se obtendrá el módulo de Young *E* del material del que está hecha cada varilla si se conocen sus dimensiones (*b*, *d*, y *L*).

Las dimensiones de las varillas de la demo son: longitud de 1 m (L = 0,95 m desde el punto de sujeción al extremo libre), b = 0,02 m y d = 0,005 m.

Los módulos de Young teóricos para acero, aluminio y madera son:

Material	E (10^9 N/m^2)
Acero	170 - 210
Aluminio	60 - 70
Madera	10 - 20

También se indican los valores máximos de carga que soporta cada una de las varillas:

Material	Masa máxima (kg)
Acero	1,5
Aluminio	0,5
Madera	0,1

Advertencias

Téngase en cuenta el valor máximo de carga que soporta cada una de las varillas (para no sobrepasarlo en ningún caso), y antes de empezar se debe pensar en la distribución de pesas que se irán colocando en el portapesas. Si se hace a nivel cuantitativo sería conveniente poder obtener rectas de ajuste por mínimos cuadrados con al menos 10 puntos igualmente espaciados en el intervalo de medida posible en cada caso, considerando la carga máxima. Por ejemplo, con medidas de cada 10 g, 50 g, 100 g, para la madera, aluminio y acero respectivamente.

Además, una vez se ha finalizado se debe retirar inmediatamente el portapesas, para evitar la fatiga de los materiales y posibles deformaciones residuales.

Se indican valores teóricos de los módulos de Young de los materiales de que están hechas las varillas para dar una idea de su orden de magnitud. Sin embargo, cuantitativamente se obtienen resultados algo diferentes, dada la fatiga de las varillas utilizadas, las posibles aleaciones en su composición y la dependencia del módulo de Young con la temperatura para los metales.

Bibliografía

Burbano, Burbano y Gracia (2003), Física general (32ª edición) Ed. Tébar, Cap. XIII, p. 294.

Jou (2008). Física para las ciencias de la vida. Ed. McGraw-Hill, pp. 65-71.

Koshkin N. I., y Shirkévich M. G. (1975). Manual de Física Elemental. Editorial Mir.

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm

https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/maderas.html