

# 108

Simple + mente  
física



## La unión (de libros) hace la fuerza (12 - 16 noviembre 2007)

Durante la reciente *Semana de la Ciencia y la Tecnología de Murcia* (25-28 de octubre) entretuvimos al numeroso público visitante con la siguiente experiencia (entre otras muchas).

Tomamos dos libros con bastantes páginas (dos guías telefónicas o catálogos son ideales) y entremezclamos sus hojas, como si las barajásemos (ino es necesario que la mezcla sea hoja hoja!). Cuando los dos libros tienen sus hojas entremezcladas se los ofrecemos a dos personas (a ser posible, fornidas y con la autoestima alta) y les preguntamos si creen que son capaces de separar los dos libros estirando del lomo de cada uno de ellos.

La respuesta siempre es: "¡ Claro, cómo no vamos a poder separarlos !". Pero como puede observarse en la fotografía, por mucho que se estire de cada libro, éstos no se separan tan fácilmente. Podéis intentarlo vosotros mismos.

¿Por qué motivo cuesta tanto separar los libros?



---

AVISO: El objeto de *Simple+mente física* no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

---

Rafael García Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

**Resp.:** Cuesta mucho separar los libros debido a la fuerza de fricción entre sus páginas intercaladas, la cual depende de la fuerza normal  $N$  entre las hojas y del coeficiente de fricción estática  $\mu_e$  entre sus superficies.

Una hoja de papel pesa muy poco, por ello es muy pequeña la fuerza normal que se ejercen las superficies de dos hojas colocadas una sobre la otra. Esto implica que el máximo valor de la fuerza de fricción estática ( $\mu_e N$ ) también es muy pequeño, por lo que resulta imperceptible el esfuerzo necesario para desplazar dos hojas de papel en contacto. Pero cuando muchas hojas están en contacto (¡por las dos caras!), la fuerza de fricción total se multiplica por el número de hojas intercaladas.

Además, podemos considerar que la fuerza  $F$  aplicada al estirar del lomo del libro se transmite mediante una fuerza tangencial a cada hoja; la figura 1 muestra la fuerza  $F$  con que se estira del libro y las fuerzas  $f_1$  y  $f_2$  transmitidas tangencialmente a dos páginas situadas simétricamente respecto del lomo del libro. Cada una de estas fuerzas  $f_i$  ( $i = 1, \dots$ , número de hojas) se puede descomponer en las direcciones paralela ( $\parallel$ ) y perpendicular ( $\perp$ ) a la de la fuerza  $F$  aplicada originalmente al lomo, tal como se ilustra en la figura 2.

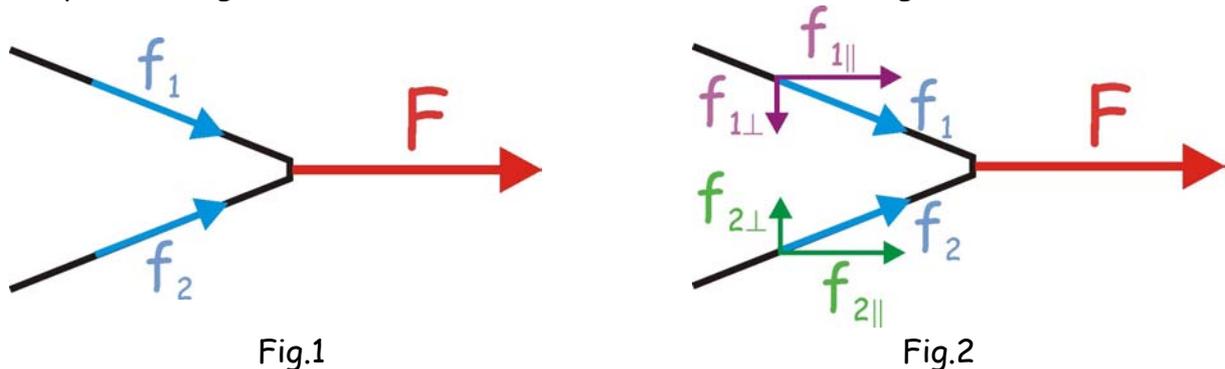


Fig.1

Fig.2

Obviamente, la suma de las componentes paralelas es la fuerza con la que se estira desde el lomo del libro ( $\sum_i f_{i\parallel} = F$ ) y la suma de las componentes perpendiculares se cancela ( $\sum_i f_{i\perp} = 0$ ). Pero cuanto mayor sea el valor de  $f_{i\perp}$ , la fuerza normal entre las superficies en contacto aumentará, con el consiguiente incremento de la fuerza de fricción entre las páginas. Por consideraciones geométricas se obtiene que  $f_{i\perp} = (F/\text{núm. hojas}) \tan(\theta_i/2)$ , donde  $\theta_i$  es el ángulo que subtenden dos páginas simétricas. Como vemos,  $f_{i\perp}$  es proporcional a la fuerza  $F$  aplicada y a la tangente de  $\theta_i/2$ .

Así pues, el hecho de intercalar muchas páginas no sólo ocasiona que haya muchas superficies en contacto, sino que la fricción entre éstas crezca notablemente porque también aumenta  $\theta_i$ . Además, al estirar con más fuerza  $F$ , también aumenta la fuerza de fricción.

Miscelánea (frases, anécdotas, curiosidades...): Un pensador ha escrito: "Pasará la teología, como pasó la nigromancia." Es posible que pasen y perezcan la teología y la metafísica; lo que no pasará nunca es la física y la matemática [N. Estévez, *Entretenimientos Matemáticos, Físicos, Químicos, etc.* (París, 1894)].