Física con juguetes. Tentetiesos

J Güémez
Departamento de Física Aplicada,
Universidad de Cantabria

Noviembre 12, 2012

Los juguetes han sido ampliamente utilizados para explicar física a todo tipo de auditorios, tanto en clases magistrales, de bachillerato o de universidad, como en conferencias de divulgación para el público en general, tal y como puede comprobarse en un repaso de la literatura pedagógica [1].

Figura 1: (Izq.) Tentetieso improvisado hecho con dos navajas, un corcho y una aguja. (Der.) Tentetieso de bola. La parte inferior del mismo es una semiesfera de acero.

Los diversos tentetiesos (Fig. 1), uno de los juguetes más antiguos y populares, son fáciles de construir, y tienen una física muy interesante [2].

La condición de estabilidad de un tentetieso, su particularidad más interesante, se puede establecer diciendo que su centro de masas debe encontrarse por debajo de su punto de apoyo [Fig. 2 (Izq.)]. Con esta condición se asegura siempre que, ante cualquier perturbación de su equilibrio, aparecerá un torque recuperador que dará lugar a la ecuación diferencial de un movimiento armónico.

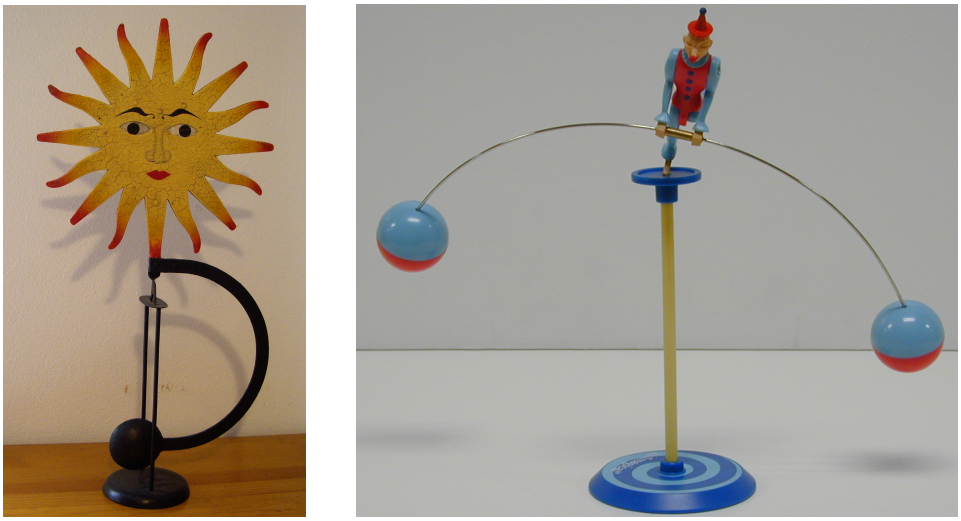

Figura 2: (Izq.) Tentetieso con forma de Sol y contrapeso inferior. (Der.) Tentetieso con figura de payaso y dos contrapesos que lo estabilizan sobre la peana que lo soporta.

Si un objeto con forma aproximada de cono invertido se coloca sobre un apoyo estrecho, al dejarlo libre, caerá. En cuanto el objeto se desvíe de la vertical, aparecerá un torque que tenderá a alejarlo de dicha vertical. Si al objeto se le colocan unos pesos adicionales, que hagan que el centro-de-masas del conjunto descienda por debajo del punto de apoyo, el equilibrio pasará a ser estable [Fig. 2 (Der.)]. Cuando el objeto se desvíe de la vertical, aparecerá un torque recuperador que hará que el centro-de-masas descienda, estabilizando el cuerpo.

Como todos los cuerpos rígidos en equilibrio estable, los tentetiesos oscilan cuando se ven perturbados (es decir, cuando se les proporciona algo de energía). Y, en la mayoría de los casos, estos tentetiesos tienen, al menos, dos modos normales de oscilación. Si la configuración del cuerpo no tiene muchos planos de simetría, cada uno de los modos tendrá un periodo de oscilación muy diferente del otro.

Para el tentetieso con forma de águila que se muestra en la Fig. 3, es fácil deducir que no puede estar construido con un material homogéneo (pues su centro de masas estaría por encima de su punto de apoyo) y que las masas ocultas deben estar situadas en el extremo de las alas (pues es la única parte del águila por debajo del punto de apoyo) [3].

Este tentetieso con forma de águila puede oscilar de dos maneras: una lenta, alrededor de un eje que va desde el pico hasta el centro de la cola, en la que los extremos de las alas suben un bajan alternativamente y, una rápida, que se consigue haciendo descender la cola del águila, alrededor de un eje que pasa por el pico y los extremos de las alas. El período de oscilación del primer modo es de $T_1 \approx 1,66$ s (210 oscilaciones tardan 33,2$\pm$0, 5 s en producirse) y el período del segundo es $T_2 \approx 0,71$ s (20 oscilaciones tardan 14,2$\pm$0, 5 s).

Si el águila se modeliza como un péndulo físico, un período de oscilación T vendrá

Figura 3: Tentetieso águila, con los contrapesos ocultos en los extremos de las alas. La distancia desde el punto de apoyo hasta el centro de gravedad, se estima que es $D = 1,0 \pm 0,1$ cm. La distancia d_1 desde el pico hasta el primer eje de giro se estima en $d_1 = 7,5 \pm 0,5$ cm, mientras que la distancia d_2 de las alas hasta el segundo eje de giro se estima que es $d_2 = 2,5 \pm 0,2$ cm.

dado por

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgD}}\,, \tag{1}$$

donde $I = md^2$ es el momento de inercia asociado a la oscilación, m es la masa del águila y d es una distancia al eje de giro, y D es la distancia vertical del punto de apoyo al centro-de-masas .

Tomando las medidas del águila (Fig. 3), se tiene que el momento de inercia para la oscilación lenta es $I_1 \approx md_1^2$, mientras que para la rápida $I_2 \approx md_2^2$. Con estas estimaciones, y la de $D \approx 1,0$ cm, se tienen los períodos teóricos ($\sqrt{g} \approx \pi$):

$$T_1 = 2\left(\frac{d_1^2}{D}\right)^{1/2} \approx 1,5 \pm 0,2 \text{ s}\,; T_2 = 2\left(\frac{d_2^2}{D}\right)^{1/2} \approx 0,5 \pm 0,1 \text{ s}$$

La condición citada anteriormente no es la más general para asegurar la estabilidad de un tentetieso. En el tentetieso de bola de la Fig. 1 (Der.), su punto de apoyo se encuentra por debajo de su centro-de-masas. Sin embargo, su equilibrio es estable. En este caso, lo que sucede es que las condiciones geométricas, la forma de esfera de su parte baja, implican que, ante cualquier perturbación, ¡el centro de masas del cuerpo siempre asciende! Es ésta, finalmente, la condición más general de equilibrio de un tentetieso, que su centro de masas se eleve cuando su equilibrio se vea perturbado. La gravedad se encargará de que vuelva a descender y la energía que se le ha proporcionado mantendrá la oscilación.

Este sencillo juguete se puede utilizar para poner de manifiesto la capacidad de predicción de la física, para apreciar la utilidad de hacer aproximaciones, por

crudas que sean, con tal de sacar adelante una contrastación experimental, y para desarrollar un proyecto de construir un tentetieso muy esquemático, con alambres y dos bolas de madera, que tenga un período largo deseado (y, entonces, otro corto determinado).

Referencias

[1] J Güémez, C Fiolhais and M Fiolhais, *Toys in physics lectures and demonstrations—a brief review*, Phys. Educ. **44** 53-64 (2009)

[2] R C Turner, *Toys in physics teaching: Balancing man* Am. J. Phys. **55**, 84-85 (1987)

[3] J Fort *et al.*, *A counterintuitive toy: the bird that never falls down*, Phys. Educ. **32**, 98-100 (1998)