

## UN EXPERIMENTO DE FÍSICA ÚTIL PARA LA EDUCACIÓN VIAL

Jesús Vila<sup>1</sup> y Carlos J. Sierra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Física Aplicada I, Universidad del País Vasco, Portugalete, 48920 Vizcaya. ([jesusangel.vila@ehu.es](mailto:jesusangel.vila@ehu.es)).

<sup>2</sup> Colegio Los Peñascales. Madrid. ([carjcar13@msn.com](mailto:carjcar13@msn.com)).

[Recibido en Abril de 2008, aceptado en Diciembre de 2008]

**Palabras clave:** *Conservación de la energía; distancia de frenado.*

El índice de fallecidos y de minusvalías debido a los accidentes de coches en las vías se relaciona (1) muy directamente con el exceso de velocidad de los automóviles. En la educación vial internacional se establecen variadas estrategias para concienciar a los conductores de modo que respeten los límites de velocidades establecidos e incrementen las precauciones cuando las condiciones climatológicas así lo aconsejen.

En las normativas que regulan la velocidad en las diferentes vías se expresa la imperiosa necesidad de respetar las distancias de seguridad, en función de la velocidad, para contribuir a evitar colisiones, si se precisa frenar bruscamente.

El propósito de este experimento es estudiar de una manera fácil y amena estas indicaciones, sobre la base de un modelo muy simplificado de la realidad. Va dirigido a estudiantes de nivel Secundario y se investigará:

- A) La posible relación que existe entre la velocidad inicial del frenado y la longitud mínima que se necesita para que no ocurra colisión hasta que el coche se detenga.
- B) Además se considera en estas hipótesis la posibilidad de que, de alguna manera, el rozamiento cubierta-carretera y la masa del vehículo puedan tener relación con la referida distancia mínima de frenado.

En este Modelo para la investigación, no se consideran:

- Las ventajas del sistema de frenado contemporáneo: ABS (2).
- El intervalo de tiempo que el conductor emplea desde que se percata del peligro hasta que comienza a frenar: tiempo de reacción.

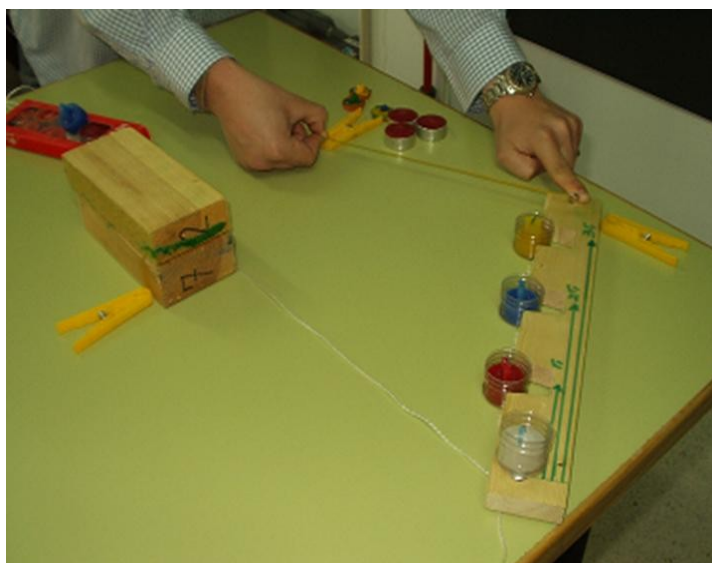
Es decir se asume que el proceso de frenar comienza instantáneamente y que el sistema de acción de los frenos interrumpe la rotación de las ruedas de inmediato y éstas deslizan (sin rotar) por la carretera.

El material necesario para desarrollar esta actividad (Vila y Sierra, 1996) es el siguiente:

- Mesa de trabajo metálica o de madera con superficie horizontal.
- Lámina de madera o de cartón.
- 2 clavos o un clavo y un obstáculo cualquiera.
- 5 o 6 chapas: tapas de refresco o velas.
- Plastilina.
- Regla graduada.
- Gomas elásticas.
- Una balanza que aprecie miligramos (mg).

A continuación se indica el desarrollo del experimento. A una lámina de madera le hacemos tres o cuatro ranuras a 10, 20, 30 y 40 cm del eje de giro (Kawakatsu, 1992; Valero, 1995); en lo que sigue nos referiremos a esta lámina como regleta. Pueden servir otros valores con tal que sean  $R_1, 2R_1, 3R_1 \dots n R_1$ , donde  $R_1$  es la distancia mínima al eje de giro y su longitud está comprendida entre 10 y 20 cm, por comodidad. Las velas o chapas deben caber en las ranuras (Figura 1). La plastilina se utiliza para igualar las masas. Una vela/chapa estará en el centro de giro, es decir con radio cero (la vela blanca en la Figura 1). En este caso el eje de giro de la regleta se fija a la mesa mediante un clavo que se ajusta a una perforación practicada en la misma.

Se tensa la goma manteniendo constante esta deformación durante todo el experimento (indicada con las pinzas amarillas) y se libera soltando el dedo índice izquierdo de modo que la regleta choque perpendicularmente con el obstáculo que interponemos en su giro para que las chapas/velas salgan despedidas tangentes a dichos radios (véanse las Figuras 2 y 3).



**Figura 1.-** Fotografía en la que aprecia la construcción de la regleta de tres ranuras junto con las velas y el obstáculo.

Para establecer el fundamento físico veremos primero la relación entre la velocidad lineal y la angular en un movimiento circular, aplicaremos la ley de conservación de la energía y en particular la transformación de la energía cinética en trabajo de rozamiento.

Las tres o más chapas se mueven con la misma velocidad angular  $\omega$  y en el instante en que se separan de la regleta, cuando golpea el obstáculo (taco de madera grande), poseen las velocidades lineales:

$$\begin{aligned}v_1 &= \omega R_1 \\v_2 &= \omega R_2 = 2v_1 \\v_3 &= \omega R_3 = 3v_1 \\v_n &= \omega R_n = nv_1\end{aligned}$$

Como las deformaciones en las velas y en la regleta de madera son despreciables y todo transcurre en un nivel horizontal, las energías potenciales elásticas y gravitatorias de las velas no varían, de modo que la energía mecánica es igual a la energía cinética y ésta se degrada debido al rozamiento. Teniendo en cuenta que las velas se detienen, podemos escribir:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}mv_1^2 &= \mu mgs_1 \\ \frac{1}{2}mv_2^2 &= \mu mgs_2 \rightarrow s_2 = 4s_1 \\ \frac{1}{2}mv_3^2 &= \mu mgs_3 \rightarrow s_3 = 9s_1\end{aligned}$$

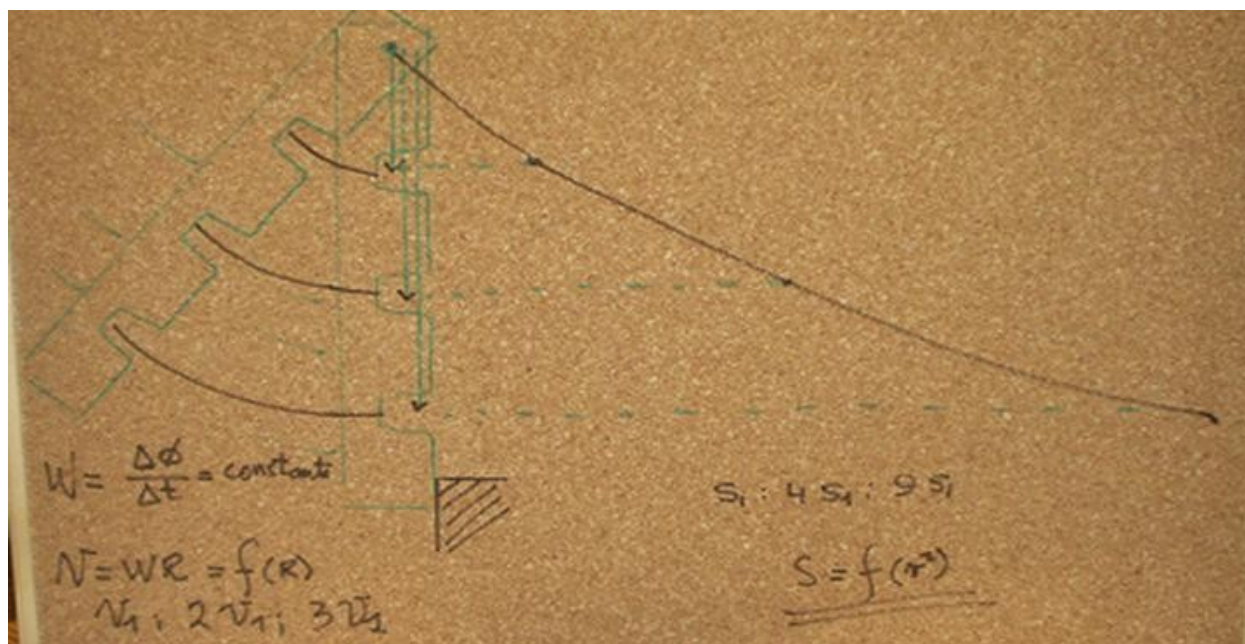
En las expresiones anteriores  $\mu$  es el coeficiente de rozamiento cinético entre las chapas/velas y la superficie sobre la que se deslizan;  $m_i$  y  $s_i$  representan los valores de las masas y los desplazamientos respectivos ( $i=1,2,3$ ).



**Figura 2.-** Después de chocar la regleta con el obstáculo salen las tres velas con sus correspondientes velocidades  $v_i$ , recorriendo distintas distancias  $s_i$ . La figura de la derecha representa el resultado de la experiencia realizada a gran escala en la Feria Madrid es Ciencia de 2003 (Sierra *et al.*, 2003).

Luego medimos sobre la mesa las distancias recorridas y comprobamos con muy buen nivel de aproximación que resultan ser:  $0^2 s_1$ ,  $1^2 s_1$ ,  $2^2 s_1$ ,  $3^2 s_1$ ,  $n^2 s_1$ , tal como se demostró teóricamente.

Mediante unos indicadores (láminas plásticas, flexibles de aproximadamente 70 cm) de diferentes colores colocados sobre las posiciones alcanzadas por las velas podemos evidenciar la relación cuadrática para cada deformación diferente de la goma; también se pone de manifiesto la familia de parábolas obtenidas para distintas deformaciones de la goma elástica. En algunos casos "los puntos" no estarán de manera exacta sobre la parábola, lo cual ofrece más credibilidad al experimento, ya que estas desviaciones deben ser estudiadas a partir de los errores que se comenten. La figura 2 ilustra esta experiencia a escala gigante.



**Figura 3.-** Comprobación de que la distancia de frenado  $s$  varía con el cuadrado de la velocidad  $v$ .

Al medir las distancias recorridas por cada vela, comprobamos que se cumple la relación teórica entre los espacios recorridos y queda demostrado que la distancia necesaria de frenado varía cuadráticamente con la velocidad del cuerpo.

Para demostrar que esta regularidad es una relación funcional que no depende de las superficies en contacto, repetimos el experimento de modo que las chapas/velas se deslicen sobre corcho, y/o con las velas sin el recipiente de plástico que la contienen. Si variamos la naturaleza de las superficies ( $\mu$ ), el resultado cualitativo se mantiene: una familia de parábolas desde el origen, pero cuantitativamente se diferencian entre sí.

Una duda que podemos hacer surgir es la siguiente: ¿Qué ocurre si variamos las masas de las velas? Pongamos por ejemplo dos velas en una cualquiera de las ranuras y repitamos los

lanzamientos 4 o 5 veces para trabajar con los valores medios. Las distancias de frenado que medimos son iguales: no dependen de la masa.

En consecuencia, la ecuación que resulta de aplicar el Principio de conservación de la energía nos lleva a la expresión.

$$s = \frac{v^2}{2\mu g}$$

Con esta ecuación podemos “conversar” con los estudiantes desde el punto de vista físico, de modo que ellos concluyan los aspectos que siguen:

- la distancia necesaria para frenar depende del cuadrado de la velocidad inicial.
- la distancia de frenado es inversamente proporcional al coeficiente de rozamiento (si el coeficiente tiende a cero, la distancia tiende a infinito; si tiende a infinito el coche se clava en el sitio).
- una vez obtenida la función y las gráficas correspondientes: ¿podemos interpolar y extrapolar para comentar y pronosticar resultados sin necesidad de desarrollarlos en la práctica?

Además se les pueden plantear cuestiones como las que siguen:

- ¿en cada planeta habrá una distancia diferente, según  $g$ ?
- ¿qué resultados esperamos si se realizara este experimento en una nave satélite de la Tierra o de cualquier planeta?

Este es un experimento que ofrece muy buenos resultados, que se realiza con materiales de fácil adquisición, y puede desarrollarse en grupos de tres estudiantes. También es útil para utilizar metodologías participativas con procedimientos de investigación.

Se relaciona con una problemática real: más del 30% de los fallecidos en accidente de tráfico en España son jóvenes de 19 a 35 años y es la primera causa de muerte en esta franja de edad (alrededor de mil fallecidos). Es conveniente relacionarlo con las regulaciones del código de tráfico relativas a las distancias entre coches en función de la velocidad, y del estado del tiempo (superficie de la carretera), además de las precauciones imprescindibles para evitar accidentes.

## REFERENCIAS

Sierra, C. J et al., ( 2003). *IV Feria Madrid por la Ciencia*. Madrid: SM, p.136.

Valero, M. (1995). *Física de la vida cotidiana*. XVI Congreso Nacional de Física. Cali, p.49.

Vila, J. y Sierra, C. J. (1996). *Prácticas de Laboratorio. Física I*. Quito: Edicumbre, p.102.

[www.dgt.es/estadisticas](http://www.dgt.es/estadisticas)

[www.elmundomotor.elmundo.es](http://www.elmundomotor.elmundo.es)

[www.bmwfaq.com](http://www.bmwfaq.com)

Kawakatsu, H. (1992), p.199 en *Ikiiki Wakuwaku. Japanese-Hungarian Physics Teacher Meeting* (ed. G. Marx), Ook-Press, Budapest, 1992.

(1) <http://elmundomotor.elmundo.es/>

(2) <http://www.bmwfaq.com>

## **AN EASY PHYSICS EXPERIMENT USEFUL FOR ROAD SAFETY**

**Keywords:** *Conservation of the energy; breaking distance.*