

Cinturón negro para la física

Bajo nuestra atónita mirada se lleva a cabo una hazaña sorprendente: un enorme bloque de concreto se parte estrepitosamente al recibir un golpe asestado por... ¡una mano desnuda! Parece imposible. Sin embargo, no existe truco de ninguna clase. Más increíble aun, pese a la violencia del impacto, la mano se encuentra en perfectas condiciones; no hay fracturas, no hay heridas ni contusiones de ningún tipo. De seguro, esta descripción te resulta familiar. Y no podría ser de otro modo, tratándose de un espectáculo presentado hasta la saciedad en las pantallas del cine y la televisión. Por si aún tienes dudas, se trata de un karateca cinta negra ejecutando una clásica demostración de habilidad. Pero sin importar cuantas veces se observe este clásico de las artes marciales, siempre surgen las mismas preguntas. ¿Cómo es posible? ¿Estamos frente al resultado de un riguroso y prolongado entrenamiento, o es que acaso el karateca está embebido de algún poder milenario? ¿Puede la ciencia aportar alguna explicación a semejante proeza?

En medio del enorme acervo de principios y teoremas que dan cuerpo a la física, existe un resultado que para nuestros propósitos reviste especial interés: me refiero al *teorema impulso-momentum*. Un nombre sin duda intimidante. Pero no dejemos que la pomposa jerga científica nos inquiete, puesto que la idea detrás de este teorema es bastante simple. Eso sí, tendremos que introducir un par de fórmulas matemáticas que espero no desanimen a mis potenciales lectores.

Como su nombre lo indica, el *teorema impulso-momentum* consta de dos ingredientes. El primero de ellos es el *impulso*, definido como el producto entre la fuerza media total que se ejerce sobre un cuerpo, y el intervalo de tiempo en el cual actúa dicha fuerza. El segundo ingrediente es el *momentum*, conocido también con el nombre de *cantidad de movimiento* y definido como el producto entre la masa de un cuerpo y su velocidad. Pero toda buena receta debe incluir tanto los ingredientes, como la forma correcta de combinarlos, y lo que el teorema nos dice al respecto es que *el cambio de momentum de un cuerpo es igual a su impulso* (ver el apéndice.) Aunque parezca difícil de creer, en esta pequeña frase está contenida toda la física que necesitamos para comprender los golpes de karate. Si queremos ser aún más concisos, podemos expresar nuestro teorema recurriendo al lenguaje de las matemáticas:

$$\langle F \rangle \times t = \Delta p \quad (1)$$

En esta expresión, $\langle F \rangle$ denota la fuerza media, t el intervalo de tiempo durante el cual se ejerce dicha fuerza, y Δp simboliza la variación de la cantidad de movimiento, definida como el momentum final menos el momentum inicial. Si dividimos ambos miembros de esta ecuación por el tiempo t , resulta,

$$\langle F \rangle = \frac{\Delta p}{t} \quad (2)$$

Una vez equipados con todas las herramientas necesarias para comprender la física de los golpes de karate, rebobinemos un poco la cinta y situémonos unos segundos antes del instante en que la mano impacta al bloque de concreto. Para comenzar, notemos que el objetivo del cinta negra consiste en maximizar la fuerza ejercida por su mano sobre el bloque. De acuerdo a la expresión (2), el karateca puede alcanzar su objetivo incrementando el cambio de momentum de la mano, y reduciendo el tiempo de contacto entre esta y el bloque de concreto. En efecto, al observar la

ecuación (2) resulta fácil concluir que cuanto mayor sea el valor de Δp y menor el tiempo t de contacto entre la mano y el bloque, tanto mayor será la fuerza ejercida. En el lenguaje de las matemáticas decimos que la fuerza es directamente proporcional al cambio de momentum e inversamente proporcional al intervalo de tiempo correspondiente.

Introduzcamos algunas cifras para aterrizar la discusión. En promedio, una mano adulta pesa 0,7 kilogramos (kg). Por otra parte, inmediatamente antes del golpe, la mano de un cinta negra puede alcanzar una rapidez de aproximadamente 14 metros por segundo (m/s), vale decir, 50,4 kilómetros por hora (km/h.) Para tener una idea de cuán rápido se mueve la mano de un cinta negra, basta comparar los 14 m/s conseguidos por un experto con los modestos 6 m/s que alcanza un novato. Valiéndonos de estos números podemos determinar fácilmente la variación de momentum. En aras de la claridad, supondremos que la trayectoria de la mano es siempre una línea recta. Debemos analizar dos situaciones posibles. La primera es que la mano no rebote luego de la colisión, en cuyo caso la cantidad de movimiento final será nula. De acuerdo a los valores dados más arriba, la variación de momentum será:

$$\Delta p = 0 - 0,7kg \times (-14m/s) = 9,8kg \cdot m/s$$

Para nuestros propósitos, las unidades que acompañan este resultado no son importantes. Lo que debemos retener es la magnitud de la variación, cuyo valor es 9,8. Ahora bien, quizá te estés preguntando por el signo negativo que antecede a la velocidad, y la respuesta es que proviene de una simple convención según la cual he supuesto que la velocidad de la mano cuando se dirige hacia abajo (en dirección al bloque de concreto) tiene valor negativo, mientras que cuando se dirige hacia arriba tiene valor positivo. Por supuesto, también podríamos adoptar la convención opuesta, lo que habría dado como resultado un cambio de momentum negativo. Sin embargo, nada de ello afecta la física del problema puesto que se trata de simples convenciones.

Analicemos ahora la segunda posibilidad, que consiste en que la mano rebote luego del golpe. Suponiendo que la rapidez de la mano inmediatamente antes del impacto sea la misma que inmediatamente después, resulta

$$\Delta p = 0,7kg \times 14m/s - 0,7kg \times (-14m/s) = 2 \times 9,8kg \cdot m/s = 19,6kg \cdot m/s$$

Observa que al suponer que la mano rebota hemos logrado ¡duplicar la variación de momentum! De acuerdo a la ecuación (2) se concluye, en suma, que si además del rebote, el karateca consigue que su mano golpee el bloque de concreto durante un intervalo de tiempo muy breve y con gran rapidez, entonces habrá alcanzado su objetivo de maximizar la fuerza del impacto. Esto es precisamente lo que hace un cinta negra. Ahora bien, el tiempo de contacto entre una mano experta y su blanco es del orden de 7 milisegundos (0,007 segundos). Introduciendo este valor en la ecuación (2), junto con la variación de momentum recién calculada, obtenemos la fuerza promedio:

$$\langle F \rangle = 2.800 \text{ newtons}$$

Esta es la fuerza que un cinta negra es capaz de impartir a su blanco (una fuerza de un newton equivale aproximadamente al peso de una manzana). Para tener una idea de su real magnitud basta señalar que un cuerpo cuyo peso fuera de 2.800 newtons (N) tendría una masa de 280 kg.

Un resultado asombroso, si recordamos que el golpe es asestado por un objeto de apenas 0,7 kg. Vale decir, la fuerza del impacto corresponde a unas... ¡400 veces el peso de la mano!

Pero aún no hemos explicado cómo es que la mano puede partir un bloque de concreto sin fracturarse. Y la razón es que un cilindro de huesos de dos centímetros y medio de diámetro y seis centímetros de longitud puede resistir una fuerza de más de 25.000 N, lo que equivale a unas 40 veces la fuerza que es capaz de tolerar un cilindro de concreto de iguales dimensiones. Pero el hecho de que la mano no se fracture resulta insuficiente para explicar la ausencia de cortes o contusiones. Y aquí la física puede aportar muy poco, puesto que la razón fundamental para evitar esta clase de accidentes se debe a los muchos años de trabajo que es preciso invertir hasta desarrollar una callosidad en el canto de la mano, que los expertos denominan *shuto*, y que actúa como el parachoques de un vehículo, absorbiendo y difundiendo la fuerza de la colisión.

Naturalmente, el karate es mucho más que simplemente aporrear bloques de concreto. Se trata de un arte que sólo es posible dominar después de muchos años de trabajo esforzado, y de una férrea e inquebrantable disciplina, además de una buena dosis de talento. No debemos olvidar, por tanto, que una cosa es explicar la física de los golpes de karate, y otra muy distinta es ser capaz de llevarla a la práctica. Sin embargo, un buen golpe de karate es como una buena explicación: lo que importa no es lo que se rompe, sino como se rompe.

¿Quieres saber más?

La segunda ley del movimiento de Newton puede expresarse en la forma:

$$\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \quad (1)$$

donde \vec{F} es la fuerza neta aplicada a un objeto que experimenta un cambio de momentum $\Delta\vec{p}$ en un intervalo de tiempo Δt . Multiplicando ambos miembros de (1) por Δt obtenemos,

$$\vec{F} \times \Delta t = \Delta\vec{p} \quad (2)$$

La cantidad a la izquierda de esta ecuación se llama *impulso* y resulta muy útil para describir situaciones donde aparecen fuerzas muy intensas ejercidas durante tiempos muy breves. Por lo general, las fuerzas varían en ese intervalo de tiempo, de modo que podemos reemplazar la fuerza neta en la ecuación (2) por su valor medio en el intervalo de tiempo Δt :

$$\langle \vec{F} \rangle \times \Delta t = \Delta\vec{p} \quad (3)$$

Este es el denominado *teorema impulso-momentum*. Entre sus muchas aplicaciones, permite entender porqué un choque contra un montón de paja resulta inofensivo, mientras que si reemplazamos la paja por una muralla de concreto, las consecuencias pueden ser desastrosas. ¿Logras ver la explicación?

Jorge Pinochet I.

Licenciado en física, Universidad Católica de Chile.