

## DEMO 101 COHETE IMPULSADO POR AGUA Y AIRE A PRESIÓN




**Figura 1.** En el lanzamiento se expulsa el chorro de fluido rápidamente, y el cohete se impulsa hacia arriba.



**Figura 2.** Cohete en posición de lanzamiento



**Figura 3.** Piezas de la base de lanzamiento

|  |  |
|--|--|
| <b>Autoras</b>   | Chantal Ferrer y Ana Cros  |
| <b>Palabras clave</b>  | Conservación del momento lineal de un sistema, acción y reacción.  |
| <b>Objetivos</b>   | Demostrar el principio de conservación del momento lineal de un sistema: el cuerpo del cohete se mueve en un determinado sentido (hacia arriba) debido a que los fluidos propulsores salen despedidos en sentido opuesto.  |
| <b>Material</b>  | Base de lanzamiento, martillo de goma, botella de refresco con gas de 1,5 litros adaptada y estabilizador, hinchador de bicicleta, botella con agua.   |
| <b>Tiempo de Montaje</b>   | 10 minutos   |
| <b>Advertencias</b><br> | Los daños por impacto <b>NO</b> son despreciables. Realizar el lanzamiento en una zona en la que no haya personas o coches y avisar a los transeúntes antes del lanzamiento. Se recomienda el parque central del campus. La botella debe estar completamente vertical antes del lanzamiento y al tirar de la arandela tampoco debe inclinarse. <b>NO</b> acercarse a poca distancia de la botella presurizada, y <b>NO</b> colocar la cara encima. |

### Descripción

Esta demostración pone en evidencia cómo es posible poner en movimiento los cuerpos mediante el principio conservación del momento lineal o también llamado en este caso de acción y reacción. En primer lugar, se describe la forma de efectuar el lanzamiento y después se analiza el fenómeno en relación con este principio de conservación.

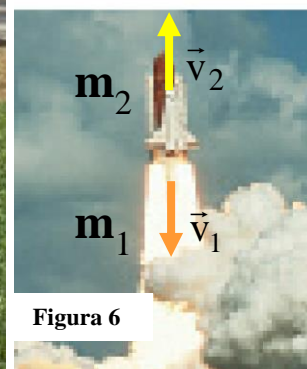
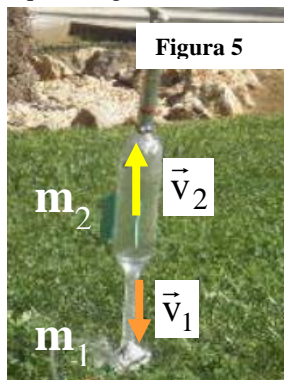
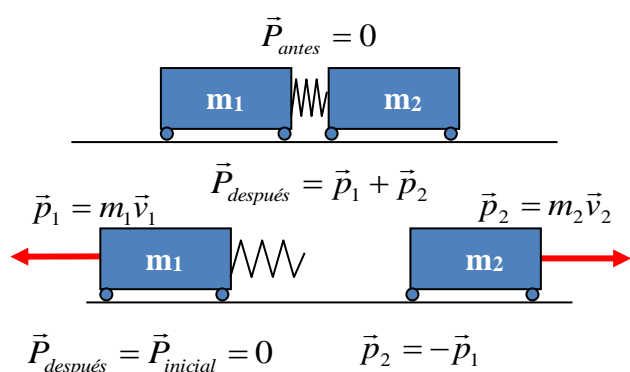
#### PASOS PARA EL LANZAMIENTO:

- La plataforma de lanzamiento (estructura de aluminio) debe estar en la posición de la figura. Golpear los extremos de la estructura con el martillo para introducir los vástagos en la tierra. Si la tierra del suelo está demasiado compacta, se puede mojar un poco con agua.
- Introducir en la botella un poco de agua, tapar la botella con el tapón de goma de la plataforma e invertir. La cantidad depende del tipo de lanzamiento (ver más adelante, tipos 1, 2, y 3)
- Subir las piezas de aluminio para que queden alrededor de la embocadura (la muesca de esas piezas debe coincidir con la zona circular que sobresale de la embocadura, de forma que quede bien sujeta). Si no se consigue, habrá que apretar un poco más el tapón de goma. **LA BOTELLA DEBE QUEDAR COMPLETAMENTE VERTICAL.**
- Introducir la arandela semicircular en los orificios preparados para ello, con el cable hacia la parte externa, de forma que se pueda tirar de él en el momento del lanzamiento. La botella/cohete está tapada y ligada a la plataforma
- Conectar la bomba/ hinchador de bicicleta al tubo e introducir aire en la botella hasta alcanzar la presión deseada. **NO ACERCARSE A LA BOTELLA PRESURIZADA NI COLOCAR LA CARA ENCIMA.** No sobrepasar los 3-6 bares.
- **LANZAMIENTO: AVISAR ANTES A TODAS LAS PERSONAS QUE HAYA POR LOS ALREDEDORES. EN SU CAÍDA, EL COHETE PODRÍA PRODUCIR DAÑOS.** Extraer la arandela dando un tirón fuerte y muy seco al hilo, la botella/cohete no debe inclinarse al hacerlo (lo haría en la dirección de quien estira el hilo con el peligro de que salga disparado).

La botella queda libre, la presión destapa el tapón y el fluido presurizado de su interior sale al exterior (P atmosférica) en un intervalo de tiempo muy breve. El cohete puede subir hasta 50 m.

### PRINCIPIO FÍSICO

Supongamos que se tiene un sistema sencillo como el de la figura 4, constituido por dos móviles unidos entre sí a un muelle que se mantiene comprimido. El sistema se encuentra en reposo inicialmente, por lo que su momento lineal es nulo. A un cierto punto se libera el resorte y se produce lo que se denomina como explosión. Como resultado, ambos cuerpos se mueven: el carrito  $m_1$  se mueve con una velocidad  $v_1$  (con un momento  $p_1$ ) y el carrito de masa  $m_2$  se mueve con una velocidad  $v_2$  (con un momento  $p_2$ ). El momento lineal del sistema será la suma vectorial de ambos momentos lineales. Como la fuerza neta total es nula, se conserva el momento lineal del sistema:  $\vec{P}_{después} = \vec{P}_{antes} = 0$ . Es decir, la velocidad del centro de masas no cambia y, necesariamente, los momentos lineales de ambos carritos tienen que ser iguales en módulo y con sentidos opuestos.



Nuestro cohete es un sistema análogo (figura 5). Basta pensar que el móvil 1 es el fluido (aire y agua) que hay dentro de la botella-cohete (móvil 2). Y que en este caso la explosión se produce por la salida súbita del fluido presurizado del interior de la botella con una velocidad  $v_1$ . Necesariamente, deberá aparecer un momento lineal  $p_2$  y una velocidad  $v_2$  en la botella-cohete, de forma que se verifique la conservación del momento lineal del sistema. En este caso el movimiento es vertical y está actuando la fuerza gravitatoria sobre el sistema, pero puesto que las fuerzas internas son mucho mayores que las externas durante la explosión, podemos considerar estas últimas despreciables en esos instantes.

La figura 6 representa el lanzamiento del transbordador espacial, que funciona de forma análoga a un coche o un avión a reacción. En todos estos casos, al existir propulsión continua, el problema se debe abordar teniendo en cuenta la variación de masa (combustible) que se produce en el móvil. La explicación detallada del movimiento producido en esta situación se puede encontrar en las páginas 10 y 11 de: <http://ocw.uv.es/ciencias/2/1-2/112733mats40.pdf>

TIPOS DE LANZAMIENTO: (si se dispone de poco tiempo, pasar directamente a 3)

1. **Sólo con aire y sin estabilizador:** introducir aire en la botella (sin haber puesto agua antes) con el hinchador, hasta una presión de aproximadamente 6 bares. El cohete efectúa giros al subir y bajar. Alcanza una altura máxima de unos 10 m.
2. **Con agua y aire y sin estabilizador:** introducir agua en la botella hasta el nivel indicado, antes de taponarla y colocarla en la plataforma de lanzamiento. Introducir aire en la botella hasta una presión de aproximadamente 3 bares y lanzar. El cohete efectúa giros mientras sube y baja. Alcanza una altura máxima de unos 30-40 m.
3. **Con agua y aire y botella con estabilizador:** Como en el caso anterior (2), pero en este caso se coloca el estabilizador (pieza con tubo alargado) encima de la botella, antes de introducir el aire. El cohete sube sin efectuar giros y alcanza una altura de unos 50 m.

Razonar con los estudiantes estos detalles:

- Se alcanza mayor altura en el caso 2 respecto al 1 debido a que el momento lineal del fluido (agua con aire) es mayor, puesto que el agua tiene mayor masa respecto a la situación en que sólo hay aire en la botella (incluso teniendo mayor volumen)
- El estabilizador incrementa el momento de inercia del cohete, lo que impide que una parte de la energía cinética inicial de traslación se convierta en energía cinética de rotación. De ahí que la altura en 3 sea mayor que en 2.

### Comentarios y sugerencias

- Se puede simular una cuenta atrás mientras se introduce aire en la botella, de forma que el "1" coincida con el llenado y el "0" con el lanzamiento (se tira con fuerza de la arandela).
- Puede hacerse un lanzamiento introduciendo una gran cantidad de agua en la botella (media botella, por ejemplo). En este caso la presión del aire no es capaz de expulsarla toda agua con suficiente rapidez, asciende poco, lastrado por el agua remanente.
- Observar la neblina que aparece en el interior de la botella en los instantes del lanzamiento, debido al descenso súbito de presión de su interior y la consiguiente saturación del vapor.

