



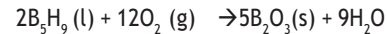
En otro sistema, el llamado de cohete iónico, se utilizan campos electrostáticos para acelerar partículas cargadas. El sistema comprende un dispositivo productor de iones y otro acelerador de esos iones, así como una zona de neutralización, donde se agregan electrones para restaurar el equilibrio eléctrico del vehículo.

Entre otros sistemas de propulsión de tipo eléctrico destaca el de "plasma", producido por un arco eléctrico por medio de un campo electromagnético. Hay que recordar que "plasma" es el término aplicado a un gas que contenga más del 50% de sus partículas ionizadas, es decir, que estén eléctricamente cargadas. Para cualquiera de las opciones de propulsión de tipo eléctrico, el cohete debería incluir una fuente de poder de tipo nuclear (fisión o fusión controlada).

IV. Actividades

1. Solicite a los alumnos que investiguen los siguientes términos o conceptos y los relacionen de alguna manera con el artículo de referencia
 - Impulso / Turbina / Arco eléctrico
 - Propulsión / Comburente
 - Entalpía o calor de combustión
 - Tobera / Plasma
2. Organice un concurso de cohetes. Pueden participar con distintos proyectos, siempre y cuando los considere suficientemente seguros. Una opción inocua es utilizar la reacción de eferescencia entre el bicarbonato y el vinagre para generar dióxido de carbono. La reacción se lleva a cabo dentro de una botella de refresco de plástico y el ganador del diseño será el que logre que su cohete alcance mayor altura (plataformas de lanzamiento, formas de destapar la botella cuando el gas se ha acumulado, etc.).
3. Utilice las sustancias involucradas en los sistemas de combustible/comburente en distintos problemas de química (tipo de reacción, estequiometría, gases, oxidantes, calores o entalpías de combustión, etc.).

4. Problema (entalpías estándar de formación y reacción). El pentaborano-9, B_5H_9 , es un líquido incoloro, altamente reactivo y hasta explosivo frente al oxígeno. Su reacción con el oxidante es:



El pentaborano-9 fue considerado como un combustible potencial para cohetes en los años cincuenta, dado que produce gran cantidad de calor en su reacción de combustión por cada gramo que se quema. Sin embargo, debido a que el B_2O_3 sólido que se genera es un poderoso abrasivo capaz de destruir el metal de la tobera en la salida de descarga, la idea fue abandonada. Calcula los kilojoules liberados por cada gramo de este compuesto cuando reacciona con el oxígeno. La entalpía estándar de formación del B_5H_9 es de 73.2 kJ/mol.

Otros datos necesarios:

$$\Delta H_f^\circ(B_2O_3) = -1263.6 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(H_2O) = -285.8 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ(O_2) = 0$$

V. Bibliografía

1. *The Way Things Work*, Simon and Schuster, Nueva York, 1967.
2. Asimov, Isaac, *The New Intelligent Man's Guide to Science*, Basic Books, INC., Nueva York, 1965.
3. Noreña, Francisco, *Física de emergencia*, Pangea, México, 1995.
4. *Life in Space*, Time Life Books, Nueva York, 1983.
5. En internet: www.spacecamp.com/museum (página del *US Space & Rocket Center*).

Esperamos sus comentarios y sugerencias, que pueden hacer con atención a: Rosa María Catalá, al teléfono 56 22 72 97, fax 54 24 01 38, correo electrónico comoves@universum.unam.mx

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Ubicación de la temática en los programas de bachillerato de la UNAM

Sistemas ENP y CCH

El artículo y esta guía pueden usarse en cursos medios y superiores de física y química, donde los temas del artículo (tercera ley de Newton, gases, termodinámica, combustión) pueden abordarse antes o después de una clase relacionada para enriquecer la discusión.

II. Más información

Un poco de física

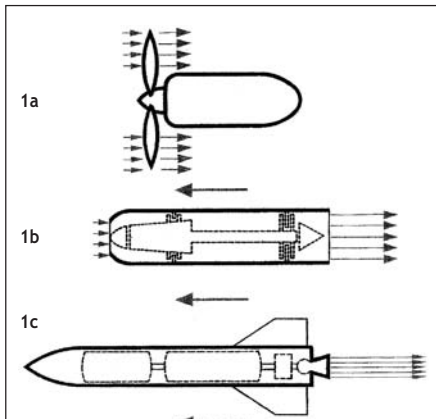
Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo son producidas, ya sea por contacto o a distan-

cia, por otros cuerpos. La tercera ley de Newton involucra la relación mutua que hay entre dos cuerpos cuando uno de ellos ejerce una fuerza sobre el otro. Si se le pega un puñetazo a la pared, la pared responde con una fuerza de igual magnitud, por lo que la mano duele. Si un patinador empuja a una compañera, él saldrá hacia atrás a consecuencia de su propio empujón. De la misma manera, si una persona está parada sobre una balsa flotante y salta hacia el agua, la balsa retrocede en dirección contraria a aquella en la que se hizo el salto. Es importante destacar que estas dos fuerzas, la acción y la reacción actúan sobre diferentes cuerpos cada una, es decir, que si un individuo empuja a otro, la acción actúa sobre el segundo, mientras que la reacción actúa sobre el primero. Una de las aplicaciones más importantes de la tercera ley de Newton es la llamada propulsión a chorro. Para que se entienda el principio podemos imaginar que estamos flotando en el espacio vacío sin ningún objeto del cual sujetarnos. La única forma que se tiene para moverse es lanzar algún objeto lo más rápido que se pueda, y se saldrá disparado hacia atrás por reacción.

Tanto los aviones como las naves espaciales impulsadas por cohetes avanzan de esta manera, lanzando potentes chorros de aire o

de gas hacia atrás, principio que también se usa en el espacio para cambiar la dirección.

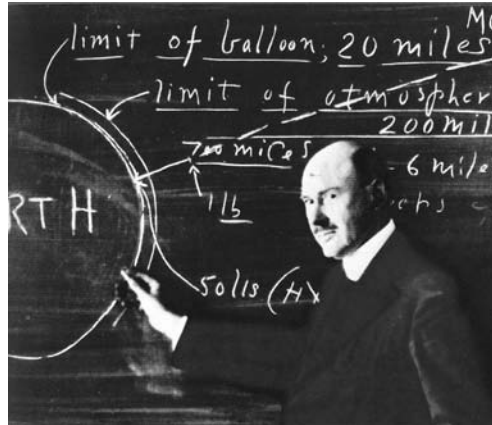
Hay que destacar, sin embargo, algunos aspectos de la propulsión en los cohetes y en las naves. La fuerza de propulsión (el "empuje" que se menciona en el artículo) es igual a la masa de gas producto de la combustión (propulsor) descargada por unidad de tiempo, multiplicada por la velocidad de salida del gas en la tobera. Esto significa que el empuje es mayor a medida que la descarga de gas es más rápida, por lo que la fuerza de propulsión no es producida —como muchas veces se cree— por el flujo de gases que "empujan" contra el medio circundante (atmósfera), sino que se desarrolla exclusivamente como una fuerza de reacción contra la expulsión de materia a alta velocidad. La propulsión de un cohete es, por lo tanto, la única que puede funcionar en el vacío. En las Figuras 1a, b y c se ven algunas aplicaciones prácticas del teorema del impulso en el principio de acción y reacción.



1a: empuje = masa movida por unidad de tiempo \times cambio en la velocidad impartido a la masa. En un avión de hélice, ésta acelera cantidades relativamente grandes de aire con sólo un pequeño incremento en la velocidad.

1b: en un turbojet (aviones actuales) la turbina acelera las masas de gas (aire + gases productos de la combustión) con un aumento relativamente grande de la velocidad.

1c: el cohete acelera masas en reposo (gases producto de la combustión) a una velocidad de salida muy alta.



Cuando todo el combustible se ha consumido, el cohete alcanza su máxima velocidad. Esta velocidad final depende de la velocidad de flujo del gas y la llamada "relación de masa" del cohete, que consiste en la masa inicial (masa del cohete más la masa del combustible y comburente juntos) con respecto a la masa final (la masa inicial menos la masa de la mezcla consumida). Puede lograrse un aumento de la velocidad final por medio de los cohetes seccionados. Cada etapa del cohete tiene su propio combustible y sistema de propulsión, y en la última etapa se coloca la carga útil, que incluye también a los tripulantes si se trata de una nave espacial.

III. Los sistemas de propulsión de los cohetes y las mezclas combustible/comburente

La aceleración de la masa de gases para alcanzar grandes velocidades en los motores de los cohetes puede alcanzarse de varias maneras. En los cohetes comunes, cuyo sistema de propulsión se basa en una reacción química, los gases calientes a alta presión se producen en la cámara de combustión y adquieren su velocidad al salir por la tobera. Los cohetes de esta clase se subdividen en tres: de propulsor sólido, de propulsor líquido y cohetes híbridos. En el siguiente cuadro se anotan algunas de las combinaciones combustible/comburente propulsoras utilizadas en cohetes experimentales.

Tipo de sustancia	Líquido (comburente y combustible en un solo reactivo)	Líquido-líquido	Sólido-líquido
Sistema propulsor	CH ₃ NO ₃ Nitrato de metilo.	Combustible: Queroseno, Hidracina, Hidrógeno	O ₂ , HNO ₃ H ₂ O ₂
	H ₂ O ₂ + KMnO ₄ (como catalizador)	Oxidante: Lox (O ₂) F ₂ , HNO ₃	
Velocidad de flujo del gas	3 200 m/s	7 200 m/s	4 000 m/s



En los cohetes de propulsor sólido, que consisten de la combinación de combustibles y el agente que provee de oxígeno para la combustión, se cargan en una cámara de combustión donde se queman. Al hacer esto, se producen gases calientes a alta presión que se descargan a través de una tobera y producen el empuje que impulsa al cohete. En los cohetes de propulsor líquido, los combustibles y comburentes líquidos están almacenados en tanques independientes y se bombean a la cámara de combustión a través de un inyector especial. La mayoría de los cohetes de propulsor líquido usan dos combustibles (sistema bipropulsor), como el hidrógeno y el queroseno. En los cohetes híbridos se utilizan combustibles sólidos con oxidantes líquidos y viceversa. Con éstos últimos se observa un mayor control del motor en el cohete y mayor seguridad, aunque los costos son muy altos.

En los últimos 30 años se han intentado otros métodos de propulsión. Algunos ya han sido descartados por poca viabilidad, pero es interesante describir sus principios de funcionamiento. Por ejemplo, de los varios tipos de propulsión eléctrica que se han propuesto, el que más se parece al de tipo químico es el jet de arco electro-térmico. Este dispositivo utiliza un arco eléctrico para calentar un fluido de trabajo (hidrógeno, helio, etc.), el cual es "termodinámicamente" acelerado en una tobera.