

¿Qué puedo aprender con los cohetes de agua y aire presurizado?



Un cohete de agua-aire presurizado al poco de iniciar su vuelo. Obsérvese el “chorro de agua” eyectado por la acción del aire a presión que se incorpora al interior de la botella.

Nos encanta compartir esta actividad con aquellos que se acercan con curiosidad. Todo el mundo, niños y no tan niños se sorprenden de la altura y velocidad que pueden alcanzar estas “botellas volantes”. Esto es lo que se ve en primera instancia, pero hay mucho más....

Esta actividad tiene como fin primordial el despertar y desarrollar la curiosidad de todo el mundo, principalmente de los niños y jóvenes, no sin menos preciar en que estamos introduciendo al asistente en el mundo de las leyes de la naturaleza (sobre todo en la dinámica newtoniana y en la mecánica de fluidos) y en los principios de la ingeniería (sistemas aerodinámicos, resistencia y coordinación de materiales), de una forma lúdica y divertida.

Los cohetes de agua son fáciles de construir con materiales que se encuentran en nuestro entorno cotidiano, a muchos de ellos se les da una segunda utilidad. Pero hay que diseñar y construir aplicando los cimientos de la ciencia...cuando algo falla, hemos pasado por alto algún principio físico.

Estos artefactos tienen mucho en común con los cohetes reales, por lo tanto, en su diseño, construcción y lanzamiento se experimentarán las mismas emociones que sienten los ingenier@s aeroespaciales.

FUNDAMENTOS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS COHETES

Un cohete de agua es un tipo de cohete que usa agua como propelente (o materia a expulsar). La cámara de presión, motor del cohete, es generalmente una botella de plástico que fue diseñada para contener bebidas con gas. El agua es lanzada fuera por un gas a presión, normalmente aire comprimido, lo que impulsa el cohete, por reacción, según la 3ª ley de la dinámica de Newton.

Tercera ley del movimiento de Newton: LA ACCIÓN-REACCIÓN.

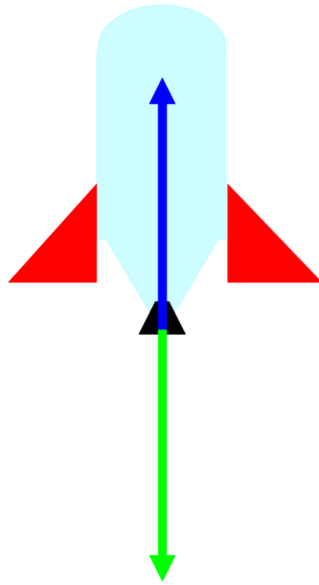
Cuando un cañón dispara un proyectil, el arma retrocede. Disparar el proyectil es la **acción** mientras que la **reacción** es el retroceso efectuado por el cañón. Así mismo, si sueltas un globo inflado, se moverá hacia todas las direcciones expulsando aire. Este aire escapando genera una fuerza que mueve hacia delante el artefacto, en "reacción" al aire que está siendo expulsado hacia atrás, "la acción". La fuerza de reacción es conocida como "propulsión" o "empuje". Por ello, este mecanismo de propulsión se denomina "propulsión a reacción".

La fuerza es una magnitud física de carácter vectorial, es decir, no es suficiente decir "cuanto vale" (el módulo), si no que hay que informar donde se aplica y hacia donde se dirige (Vector = módulo + punto de apoyo + dirección + sentido). La fuerza de acción y reacción tienen el mismo valor, es decir, el mismo módulo pero sus vectores son opuestos, tienen la misma dirección y el mismo punto de apoyo, pero distinto sentido (matemáticamente se expresan una con signo positivo y otra con negativo).

Un cohete es propulsado verticalmente en reacción al gas que está siendo expulsado del interior de su estructura, concretamente de su motor. A este gas lanzado a altísima presión se le denomina propelente, y es generado (generalmente) al quemarse el combustible (sólido o líquido) en la cámara de combustión. El gas sólo puede escapar por un orificio, la tobera, y al igual que el aire expulsado por el globo origina la fuerza de acción, produciéndose al mismo tiempo la fuerza opuesta de reacción, y ésta última el empuje que hace que el cohete se desplace en el sentido de avance.

En los cohetes convencionales, el oxígeno líquido almacenado en su pertinente depósito, permite al cohete quemar su carga de combustible y generar gas de alta velocidad aún en un ambiente sin aire. Esta es la razón por la cual un cohete funciona en el espacio exterior, es decir, en el vacío.

En un cohete de agua-aire presurizado o a presión, el propelente es el agua lanzada a gran velocidad por el empuje del gas a presión. La masa de agua, acelerada produce la fuerza de acción, a la que se opone la fuerza de reacción, la cual "fuerza" a la estructura del cohete ha acelerarse (moverse) en sentido contrario.



Los gases o el agua expulsada producen la fuerza de **acción**, en contraposición a ésta, o **reacción**, surge la fuerza de empuje que es la que hace que el cohete se mueva.



Ley de la conservación del momento lineal:

Siempre nos gusta poner el mismo ejemplo.: ¿Qué prefieres parar o desviar, utilizando un escudo, una piedra de 1 kgr lanzada a 100 Km/hora o un camión de 6 Tm desplazándose a una velocidad de 5 Km/hora?

Se denomina momento al producto de la masa de un cuerpo por la velocidad a la que se está desplazando. Esta magnitud física es fundamental, ya que nos informa de la fuerza que tenemos que realizar para cambiar la dirección o detener un objeto en movimiento, es una magnitud vectorial.

Cada objeto que se mueve o está en reposo, siempre que no haya alguna fuerza actuando sobre él, conserva su momento lineal, el producto anterior es siempre constante, es lo que conocemos como "la ley de conservación del momentum". Pero vayamos a los cohetes.

Supongamos que un cohete tiene una masa $M + m$, siendo M la masa de la estructura y m la del combustible.

Un cohete en tierra, antes del lanzamiento, tiene un momentum igual a 0, ya que está en reposo con velocidad 0 (Velocidad del cohete es igual a 0, $V_c=0$):

$$\text{Momentum cohete} = (M+m)V_c = 0$$

Cuando el cohete genera el gas y lo expulsa hacia atrás, cierta cantidad de m sale del cohete a una determinada velocidad V_m . Es decir, se genera un momentum del gas.

$m (-V_m) = \text{Momentum gas}$. ($-V_m$ significa que el gas se mueve en sentido contrario al avance del cohete, decir en dirección de la fuerza de acción)

Para que el sistema siga obedeciendo al principio de conservación del momentum, el cohete con su masa y el resto de combustible tiene que adquirir velocidad. En el origen de esta velocidad, está el origen del empuje o fuerza de reacción.

$$\text{Momentum gas} = \text{Momentum cohete}$$

$$m (-V_m) = (M + m \text{ "restante"}) V_c$$

En los cohetes de agua la masa m viene, en su mayor parte, de la masa de agua eyectada. De esta forma la V_c dependerá de la esa cantidad y de la velocidad que podamos transmitirle al agua V_a , que dependerá del gradiente de presión, es decir, cuanto más presión metamos en el interior de la botella, más velocidad de eyección del agua, y por tanto más empuje. Pero esto es cierto hasta determinados valores de volumen de agua y presión del aire. Como tenemos un deposito con un volumen limitado tendremos que encontrar el equilibrio entre el volumen de agua y el de aire a presión para que sean máximos, y de esta forma llegar a la mayor eficacia. Con pruebas empíricas se demuestra que la proporción ideal es de 1/3 de agua y 2/3 aire presión, del volumen total de la botella o depósito.

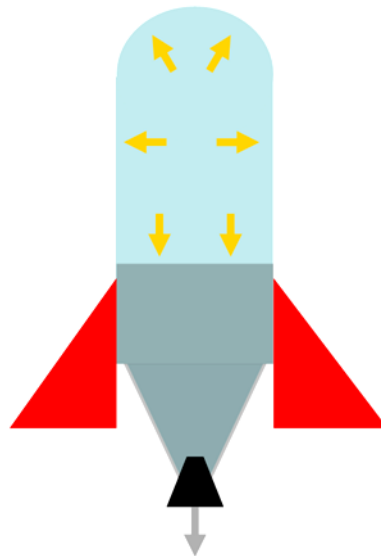
Ley de Pascal:

Todos aquellos fluidos no compresibles (los líquidos) son capaces de transmitir la presión (fuerza / superficie) a la que están sometidos, a cada unidad de superficie del recipiente que los contiene, por igual.

Esta ley es la que hace que una pequeña fuerza ejercida sobre la palanca de un "gato hidráulico" (en que utilizamos para elevar un vehículo), haga que algo muy pesado se mueva.

En nuestros cohetes, el aire es el elemento que se puede comprimir de la misma forma que “inflamos” un neumático (algo que se puede comprimir, varía su volumen cuando es sometido a presión, imaginarnos lo que pasa en la compresión del aire en un cilindro de un motor diesel). Este aire cumpliendo la ley de Pascal, transmite la presión a las paredes de la botella (aquí entra el conocimiento de la resistencia del material y diseño de la botella) y al agua almacenada. El agua al ser líquido no se comprime, no varía su volumen aún sometida a presión.

Ahora sólo falta liberar el agua para que surja “la magia de la reacción”.



La imagen superior representa la presión ejercida por el aire presurizado, contra las paredes de la botella y contra la superficie superior de la carga de agua.

Mecánica de fluidos:

La dinámica de fluidos estudia los fluidos en movimiento y es una de las ramas más complejas de la mecánica. Aunque cada gota de fluido cumple con las leyes del movimiento de Newton las ecuaciones que describen el movimiento del fluido pueden ser extremadamente complejas. En muchos casos prácticos, el comportamiento del fluido se puede representar por modelos ideales sencillos que permiten un análisis detallado.

Para el cálculo del rendimiento de la tobera es necesario la aplicación de las leyes de esta mecánica.

Simplificando e idealizando sobre manera podemos afirmar que cuanto más pequeña sea la sección de la tobera, mayor velocidad se le imprimirá al agua y durante más tiempo, por tanto el empuje, en el tiempo, será mayor y mayor será la fuerza de empuje.

El caudal se define como la velocidad del fluido por la sección que debe atravesar, suponiendo que el caudal debido a una presión constante es así mismo constante, al disminuir el radio de la tobera (su sección), para mantener el caudal constante, la velocidad de salida del fluido debe aumentar. Es el fenómeno que observamos cuando ponemos el dedo en la salida de una manguera.



$$\text{CAUDAL} = \text{constante} = \text{SECCIÓN 1} \times \text{velocidad1} = \text{sección 2} \times \text{VELOCIDAD 2}$$

Una tobera es un dispositivo que convierte la energía térmica y de presión de un fluido en energía cinética. Un fluido sufre un aumento de velocidad a medida que la sección de la tobera va disminuyendo, por lo que sufre también una disminución de presión y temperatura al conservarse la energía.

Ley de la conservación de la energía:

La energía ni se crea ni se destruye sólo se transforma en diferentes energías. Es uno de los principios fundamentales de la termodinámica, otra rama de la física encargada de estudiar las transformaciones y aprovechamientos de los diferentes tipos de energías.

Los cohetes convencionales obtienen energía para generar el empuje, al quemar combustible, es decir, de la energía química almacenada en los enlaces químicos del mismo.

Los cohetes de agua-aire comprimido, la obtienen de la energía potencial elástica almacenada en el aire que nosotros introducimos en la botella gracias a la bomba de inflado. Por tanto, la energía química del alimento que hemos tomado con anterioridad, nuestro cuerpo lo transforma en energía mecánica en los músculos, los cuales accionan la bomba, que almacena la energía en el aire presurizado, dicho de otra forma, el bocadillo que nos hemos comido es el combustible del cohete que hemos lanzado. Entre una transformación de una forma de energía a otra siempre hay una pérdida en forma de calor.

Otros principios de ingeniería

La ingeniería es un arte, un arte que tiene como fin solventar necesidades teniendo como ingredientes lo que la naturaleza nos ofrece, tanto en materiales como en las leyes que la gobiernan.

Ya hemos visto que la resistencia mecánica de la botella es crucial para el buen fin de nuestro proyecto, así como una tobera bien diseñada será mucho más eficiente. Dicho sea a estas alturas, la tobera debe generar fuerzas totalmente paralelas al eje vertical del cohete (en el sentido del avance), y no debe producir turbulencias en el fluido, si no flujos laminares, de otra forma será imposible el control direccional del conjunto, para ello es preciso conseguir un conjunto totalmente homogéneo.

Ahora es necesario algún que otro principio de ingeniería aeronáutica. Observemos una veleta, ¿cuál es el motivo de que la flecha se dirija hacia el viento?, muy sencillo, la parte trasera de la misma tiene una forma menos aerodinámica que la flecha y ofrece mayor resistencia al viento. La “veleta” de nuestro cohete son los alerones y siempre deberán quedar en la parte trasera de la estructura cuando ésta esté en movimiento.

El centro de masas de un objeto es aquel punto donde “parece” concentrarse toda la masa del mismo, podríamos decir que si colgásemos el objeto con un hilo en ese punto, el objeto siempre estará en equilibrio.

Para el diseño del cohete hay que tener en cuenta el efecto veleta de los alerones, que su primer fin es el de estabilizar el vuelo, y también el centro de masas de nuestra estructura volante. Para que nuestro cohete vuele y sea estable la relación entre la acción de “la veleta” y el centro de masas debe caer más allá de la mitad superior de la futura lanzadera, de esta forma los alerones siempre quedarán detrás y el cohete no girará.

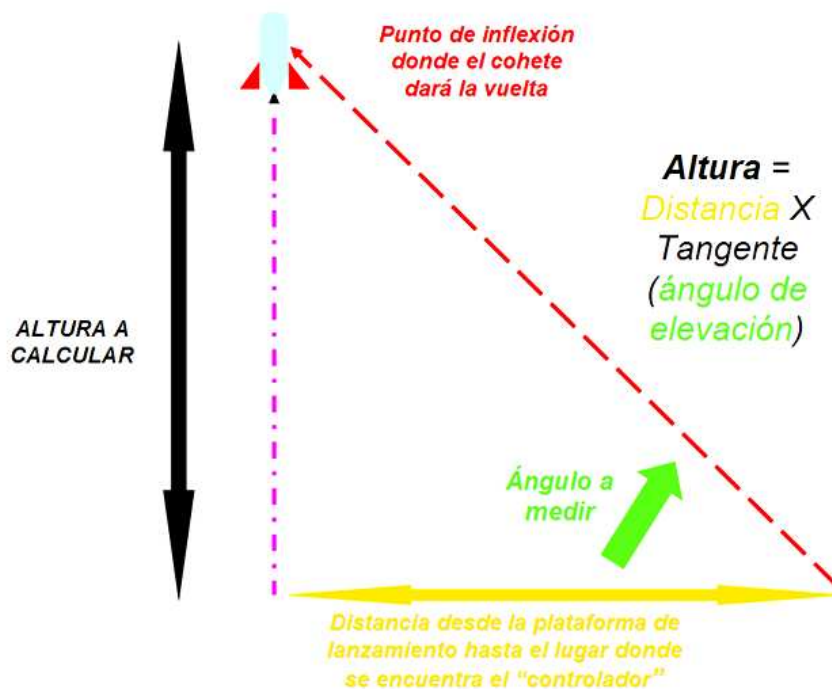


Así mismo, es labor de la ingeniería diseñar y coordinar las diferentes estructuras que están en juego. En nuestro caso es necesario una plataforma de lanzamiento, y también se puede incorporar un sistema de frenado en la caída como es un paracaídas, y en otros casos podemos acoplar varias lanzaderas como una sola o una lanzadera compuesta de múltiples etapas.

ALGUNA EXPERIENCIA....

Calculando la altura y velocidad de arranque:

Podemos sorprender a los asistentes calculando la **altura** que ha alcanzado nuestro cohete sin utilizar ninguna escalera, ni ninguna cinta métrica. ¿Cómo es posible? La respuesta puede dar temor, pero una de las finalidades de esta actividad es quitar esa sensación en la opinión pública cuando hablamos de la matemática. Concretamente, nuestra herramienta va a ser la geometría analítica por medio de la trigonometría plana.



Podemos calcular la **velocidad** de salida utilizando las ecuaciones galileanas de caída libre de cuerpos.

Los cuerpos que caen libremente, sin tener en cuenta las fricciones con el aire, lo hacen atendiendo a:

$$\text{Velocidad} = \text{Aceleración} \times \text{tiempo}$$

Siendo la aceleración la de la gravedad terrestre, la cual hace aumentar la velocidad de un cuerpo que cae en su campo, una velocidad de 9,8 metros/segundo cada segundo. De esta forma:

Velocidad de salida (en metros / segundo) = **9,8 m/sxs** (aceleración de la gravedad terrestre) X **(tiempo invertido en el vuelo / 2)** (en segundos).

Para pasarlo a la magnitud más comprensible para el público general, multiplicaremos el resultado de la ecuación anterior por 3,6, y entonces la velocidad serán KILÓMETROS / HORA.

Acabados

No hay que olvidarnos que muchas cosas entran por la vista, y son juzgadas por esa primera mirada. El diseñar un objeto que sea agradable y bonito son puntos a favor. Su resolución pone en funcionamiento la creatividad humana.

Organización del evento

El lanzamiento de un cohete de agua-aire presurizado no es algo exento de peligro, los cohetes pueden alcanzar velocidades iniciales de hasta 200 Km/hora, con lo que ello supone.

La altura que alcanzan supera en ocasiones los 100 metros, y debemos imaginarnos que su caída libre, aún siendo objetos ligeros, puede ocasionar daños a personas, animales y objetos.

Para minimizar estas posibilidades catastróficas, un lanzamiento debe estar bien organizado, de igual manera que lo está el de un cohete que pone en órbita un satélite artificial.

Alcanzar un nivel óptimo de organización supone integrar el trabajo de muchas personas, que deben funcionar como una sola, es decir, **trabajar en equipo**. Es esencial la participación de:

- *Director de vuelo.*- Debe designarse un director, el cual será el máximo responsable y debe tener conocimientos sobre todos los sectores a controlar.
- *Ingeniero de repostaje.*- Será el encargado de introducir la cantidad justa de agua en la botella, según criterio del director de vuelo. Tendrá a su disposición un recipiente con el líquido elemento, un medidor para determinar la cantidad asignada y un embudo para facilitar la carga del agua en la botella.
- *Ingeniero de plataforma de lanzamiento.*- Estará encargado de colocar la tobera en la botella y comprobar su estanqueidad. Podrá el cohete en la plataforma comprobando que los mecanismos de sujeción de la tobera estén en orden. A criterio del director, dirigirá la plataforma para determinar la trayectoria del cohete.
- *Ingeniero para la carga del aire a presión.*- Será el encargado de introducir el aire a presión en el interior de la botella, según los parámetros que de el director de vuelo. Tendrá que comprobar en todo momento que el sistema tenga una estanqueidad exquisita.

- *Ingenieros de Seguridad.*- Su labor es velar por la seguridad del lanzamiento, sobre todo de advertir la caída del cohete a todo aquel que no se percate. También serán los encargados de recuperar el material volante una vez que haya caído a tierra.
- *Ingenieros de telemetría.*- Uno será el encargado de controlar la cuenta atrás y de cuantificar la duración del vuelo, desde el despegue al aterrizaje, sus datos son esenciales para determinar la velocidad de salida de la lanzadera. Otro controlará el vuelo con un goniómetro. Debe cuantificar el ángulo de elevación máximo del cohete. Seguidamente realizará los cálculos para determinar la altura alcanzada.



El cohete es su plataforma de lanzamiento. El peso de la estructura del cohete debe ser MÍNIMA, y su aerodinámica MÁXIMA.

En resumen, un cohete de agua expulsada por aire a presión es un gran crisol donde se conyuga todas las etapas de un proyecto de ingeniería, y a demás de forma divertida.

X M^a Paz y Ángel