

“El dominio del espacio por el hombre es la mayor aventura  
y la más inspiradora empresa.” Wernher Von Braun

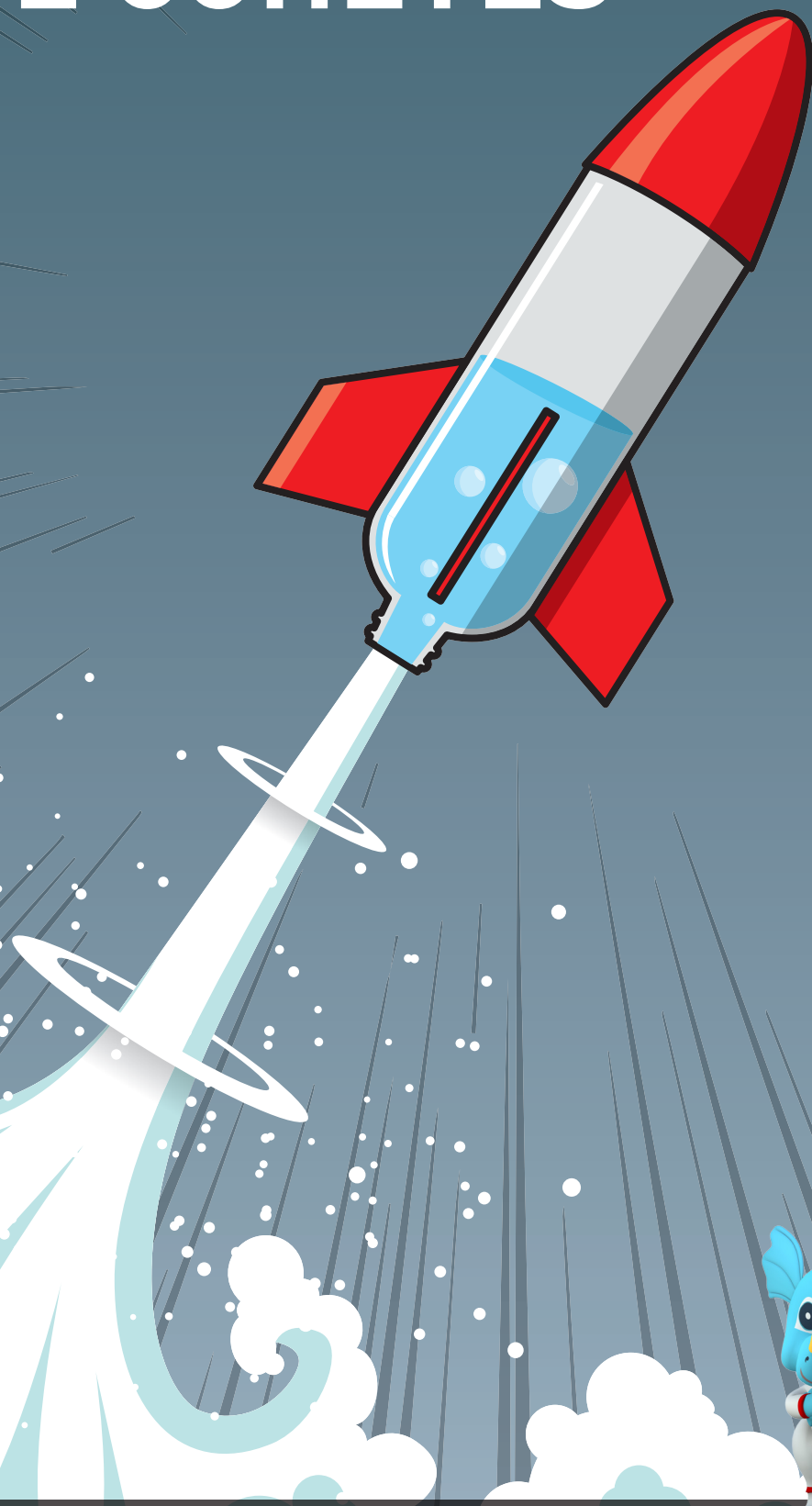
# LANZAMIENTOS DE COHETES

ESPACIO

0.42

HUESCA

CENTRO  
ASTRONÓMICO  
ARAGONÉS



Espacio 0.42

PLANETARIO - OBSERVATORIO - SIMULADOR - TALLERES - CURSOS - Y MUCHO MÁS

# Cohetes de agua y aire a presión

Los cohetes de agua son fáciles de realizar, para su fabricación se utilizan materiales que se encuentran en la vida diaria. Es una actividad perfecta para estimular la creatividad de los niños, ya que los pueden crear con sus propias manos, además este tipo de cohetes pueden alcanzar alturas increíbles.

La ciencia y los fundamentos que hay detrás de los cohetes de agua son relativamente sencillos de entender por un niño. Además los cohetes de agua tienen mucho en común con los cohetes reales, permitiendo que los niños experimenten las mismas emociones que los ingenieros que los fabrican.

Numerosas áreas tecnológicas están implicadas en el desarrollo de los cohetes reales:

- **Ingeniería de Mecánica y Materiales estructurales:** Para desarrollar el fuselaje del cohete como un cuerpo estructural.
- **Propulsión e ingeniería de combustión:** Para desarrollar el motor que produce el empuje.
- **Aerodinámica:** Para evaluar los efectos de las fuerzas aerodinámicas.
- **Análisis de vuelo:** Para calcular el rendimiento de vuelo del cohete y evaluar de esta manera el peso que debe tener la carga que lleva (por ejemplo un satélite) para insertarlo en su órbita de destino.

Se requiere una cantidad enorme de energía para que un cohete pueda escapar de la gravedad de la Tierra y llegar al espacio. Por lo tanto, el combustible representa la mayor parte del peso del cohete. Esto supone muchos retos para los ingenieros aeroespaciales, deben fortalecer y aligerar los materiales estructurales, y mejorar el rendimiento de los motores constantemente.

Los mismos conceptos se aplican a los cohetes de agua. La estructura, propulsión y aerodinámica son factores vitales que afectan al rendimiento de vuelo. Es extremadamente peligroso aplicar demasiada presión sobre el cohete de agua en un intento de lograr un récord de altura. Desde el punto de vista de la seguridad, es fundamental entender las limitaciones de botellas PET en términos de resistencia estructural y resistencia a la presión.

A continuación, vamos a explicar los tipos de fuerzas que genera un cohete durante el vuelo. Citaremos:

- La Ley de Acción-Reacción / Tercera Ley de Newton (el principio de la propulsión a reacción)
- La ley de conservación del momento.

Esta guía gratuita y de distribución libre pretende ayudar al educador a preparar la actividad de lanzamientos de cohetes de agua y aire a presión. En el centro estaremos encantados de ayudarte y orientarte si deseas fabricar tu propio cohete de agua y aire a presión.

Realizando una búsqueda por internet encontraras infinidad de recursos:

JAXA Space Education Center: <http://edu.jaxa.jp/>

Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Cohete\\_de\\_agua](https://es.wikipedia.org/wiki/Cohete_de_agua)

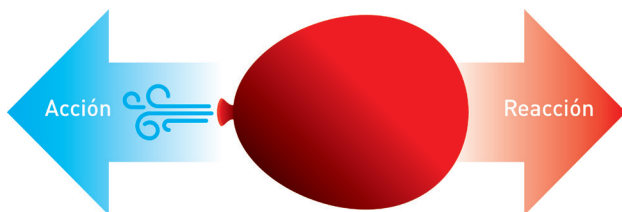
NASA: <http://exploration.grc.nasa.gov/education/rocket/rktbot.html>

Simulador: <http://cjh.polyplex.org/rockets/simulation/>

## Ley de Acción-Reacción / 3ª ley de Newton ■

Si inflas un globo y sin atarlo lo sueltas, el aire comprimido que está en su interior saldrá por la boquilla (acción) generando una fuerza que hará que el globo se mueva hacia adelante (reacción).

Esta fuerza de reacción es conocida como “propulsión” o “empuje”.



Del mismo modo, un cohete se empuja hacia el cielo mediante reacción a gas. Los cohetes están cargados con combustible, que puede ser sólido o líquido. Una cantidad increíble de empuje vertical se genera por la combustión del combustible y el chorro de gas resultante que sale hacia atrás. El gas presurizado en la cámara de combustión se eyecta por las toberas (acción), proporcionando el empuje vertical (reacción). Además de combustible, los cohetes se cargan también con oxígeno. El oxígeno permite que el cohete pueda quemar el combustible y generar gases a alta velocidad incluso en entornos desprovistos de aire, por ejemplo bajo el agua o en el espacio exterior.

Piensa en un cañón disparando un proyectil, al hacerlo el cañón retrocede. El disparo del proyectil es la acción, mientras que la reacción es el retroceso del cañón. Si imaginamos que el cañón es un cohete, la expulsión constante de proyectiles hacia atrás permitiría que el cañón se moviera hacia adelante de manera sostenida.

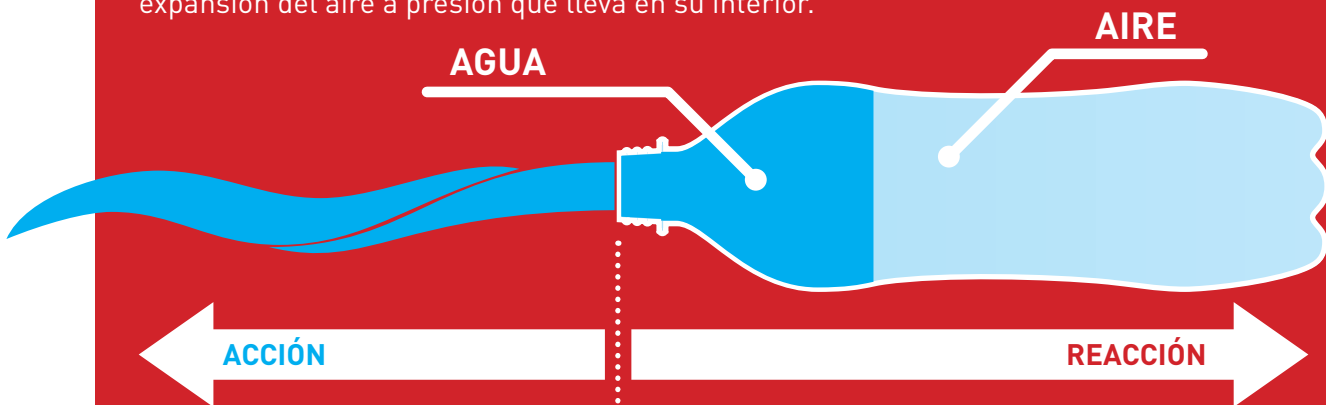
Llamamos a este mecanismo de propulsión “**propulsión a reacción.**”



El principio por el que se mueven un cohete y un globo es básicamente el mismo. Se mueven hacia adelante gracias a la expulsión de gas a presión hacia atrás.

### Acción - Reacción

Un cohete de agua también vuela gracias a la propulsión a reacción. Vuela aprovechando la reacción que produce la expulsión de agua a chorro por la boca de la botella debido a la expansión del aire a presión que lleva en su interior.



Un cohete de agua vuela mediante un sistema de propulsión a reacción.

# Ley de conservación del momento

La masa multiplicada por la velocidad es igual a "impulso". Se expresa por la ecuación:

$$\text{Impulso} = \text{Masa} \times \text{Velocidad}$$

Todos los objetos presentan la tendencia a mantener un impulso constante antes y después de un movimiento. Esto es lo que se conoce como la

## "ley de conservación del momento"

Aquí vamos a citar y aplicar esta ley para explicar la física de los cohetes. En aras de la simplicidad, vamos a suponer que un cohete en reposo tiene una cierta masa:

$$\text{Masa} = M + m$$

donde "M" es la masa del cuerpo del cohete y "m" la masa de combustible. El cohete quema el combustible en un instante y expulsa la masa del gas "m" hacia atrás con una velocidad "Ve." El valor "V" es la velocidad que el cohete ha adquirido por el empuje que genera el chorro de gas al ser expulsado (suponiendo que la resistencia del aire sea 0).

Como la velocidad (momento) del cohete antes de expulsar el combustible es 0, el impulso es naturalmente 0. El impulso "p" del combustible expulsado se expresa como:

$$p = m \times (-V_e)$$

y el impulso "P" del cohete que ha comenzado a moverse a causa de la fuerza de reacción se expresa como

$$P = M \times V$$

Así, el total de los dos momentos es:

$$P + p = MV - mV_e$$

En esta ecuación, el signo menos en  $-mV_e$  significa que la dirección del combustible expulsado es opuesta a la dirección en la que el cohete se mueve.

El momento antes de movimiento = Momento después del movimiento = Impulso total del cohete y el impulso del combustible expulsado. Esto se expresa como:

$$0 = MV - mV_e$$

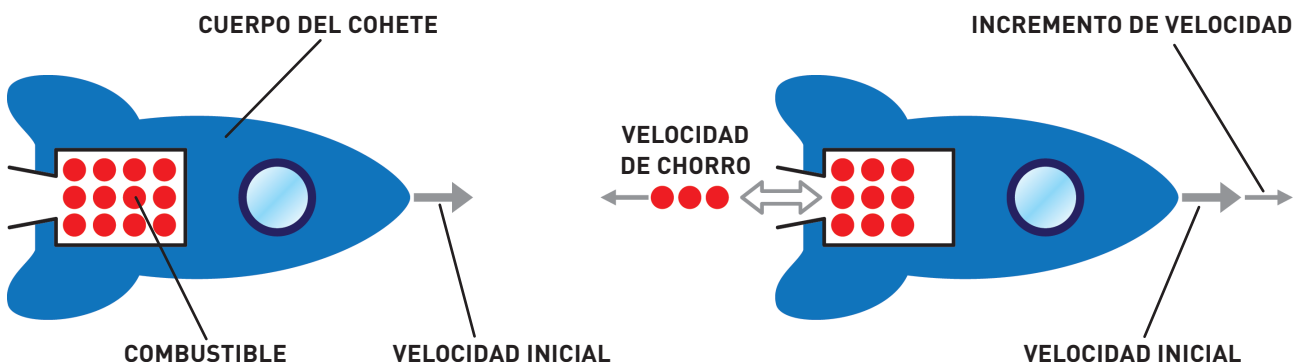
A partir de esta ecuación, se deduce la siguiente ecuación:

$$V = (m/M) V_e \quad *$$

En otras palabras, significa que el cohete se mueve hacia adelante a fin de compensar el impulso del combustible que ha sido expulsado. De esta manera, podemos pensar en el movimiento del cohete de una manera fácil de comprender mediante el empleo del concepto de momento. Ten en cuenta, sin embargo, que en un cohete real, el combustible se quema durante un período prolongado de tiempo y no en un instante. Por lo tanto, la velocidad del cohete es igual a la suma sucesiva de la ecuación anterior (\*).

Por ejemplo, la velocidad requerida para que un satélite artificial entre en órbita alrededor de la Tierra es de aproximadamente 7.9km/s, es decir 28.500 km/h, casi a una velocidad de Mach 23.

A continuación veremos que hay que hacer para que un cohete pueda alcanzar una velocidad tan increíble.



Para acelerar el cohete como en la ecuación mencionada anteriormente (\*), hay que tener en cuenta **tres factores**:

### Aumentar la velocidad del gas que es expulsado (V)

Una manera eficaz de aumentar la velocidad del gas que es expulsado es reducir su peso molecular. Suponiendo que la presión dentro de la cámara de combustión es constante, cuanto menor sea el peso molecular del gas mayor es la aceleración, esto permite a la cámara de combustión expulsar el gas a velocidades más altas. A este respecto, los motores de los cohetes emplean como combustible una mezcla de oxígeno e hidrógeno líquido. Este combustible es conocido por tener un rendimiento superior ya que el gas resultante de la combustión tiene un peso molecular inferior. Los pesos moleculares de los gases de combustión que se derivan del combustible alcohólico líquido y del combustible sólido son mayores. Como resultado, la velocidad del chorro expulsado es más baja.

También se puede incrementar la velocidad de expulsión de los gases aumentando la presión durante la combustión. Sin embargo, la excesiva presión puede provocar daños en la cámara de combustión y en las toberas. Los materiales utilizados en la construcción de la cámara de combustión y las toberas tiene un límite. Por otra parte, la estructura del cohete (incluyendo el motor) debe ser lo más ligera posible, ya que un cuerpo más pesado implica utilizar mucho más combustible. Hacer la cámara de combustión más pesada y más fuerte no es aconsejable.

Muchos motores cohete utilizan tubobombas para trasbasar las enormes cantidades de combustible hasta la cámara de combustión. Además algunos de los propelentes se utilizan para refrigerar la tobera que está a altas temperaturas.

Un dispositivo en forma de campana, o “boquilla”, está unido al punto de salida de la cámara de combustión. La forma de la tobera contribuye a acelerar el gas. Dentro de la cámara, el paso se hace cada vez más estre-

cho hacia el punto de salida, lo que acelera el gas de combustión a la velocidad del sonido. A medida que pasa a través de la tobera, el gas se expande gradualmente y acelera aún más, llegando a alcanzar velocidades supersónicas. La función de las toberas es acelerar la velocidad de los gases expulsados.

### Aumentar la masa del combustible expulsado (m)

Aumentar la masa del combustible expulsado (m) da como resultado un mayor empuje, pero también cargar el cohete con una gran cantidad de combustible. Una mayor cantidad de combustible requiere inevitablemente un depósito mucho mayor. Lo que hace necesario que la estructura del cohete y otros componentes relacionados también deban de ser ampliados. Dicho de otro modo, aumentar la cantidad de masa expulsada (m) implica aumentar la masa del cohete (M).

Pero como durante la primera etapa de vuelo se requiere una mayor cantidad de empuje, algunas agencias espaciales emplean un refuerzo de combustible sólido, como por ejemplo el cohete H-IIA de Japón, los transbordadores espaciales de los EE.UU y los futuros cohetes ARIAN 6 de la Agencia Espacial Europea.

### Reducir la masa del fuselaje del cohete (M)

Para reducir la masa de la estructura de un cohete (M) los ingenieros recurren a materiales ligeros pero estructuralmente fuertes. Una solución ingeniosa para reducir la masa de un cohete es utilizar etapas múltiples ya que cada etapa puede ser desechada una vez que su combustible se ha agotado. De esta manera se puede ir reduciendo el peso del cohete y aumentar así su velocidad.

En los últimos años, gracias a la tecnología y el desarrollo de nuevos de materiales, la masa del fuselaje de los cohetes (depósito de combustible, motor, etc.) se ha reducido aproximadamente un 20% (incluyendo también el combustible).

# Rendimiento del cohete de agua

Las medidas a tener en cuenta para mejorar el rendimiento y el empuje de un cohete de agua son básicamente las mismas que las aplicadas en los cohetes reales. En el caso de un cohete de agua, su capacidad de alcanzar grandes distancias depende de haber adquirido una velocidad lo suficientemente rápida en el momento en el que su combustible (agua y aire a presión) se haya agotado. Podemos aumentar la velocidad de un cohete de agua de tres maneras:

## Aumentar la velocidad del chorro de agua

La forma más directa para aumentar la velocidad del chorro de agua es aumentar la presión dentro de la botella. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado: una presión excesiva puede dar lugar a que la botella de PET se rompa o estalle. Por lo tanto, es aconsejable conocer la presión que pueden soportar. Este tipo de botellas se deforman a partir de los 10 bares y explotan a unos 14. Por favor, confirma siempre de antemano que la botella no tiene defectos. El uso de un líquido más ligero que el agua también puede ayudar a aumentar la velocidad del chorro de salida. Sin embargo,

### **NO USES NUNCA LÍQUIDOS INFLAMABLES,**

como el alcohol, ya que son muy peligrosos.

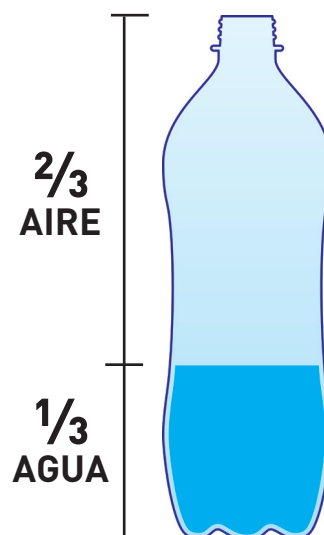


Un factor que influye en la velocidad de salida del chorro de agua es el tamaño de la boca de la botella. Cuanto más grande sea, menor será la velocidad

de eyección ya que la presión interna se reducirá a un ritmo mucho más rápido. Por otra parte, cuanto menor sea la abertura, más tiempo tardará en acelerar, ya que tardará más tiempo en expulsar el agua. Tiene que haber un tamaño óptimo de apertura.

## Incrementar la cantidad de agua que es expulsada

Cuanto mayor sea la cantidad de agua expulsada, más tiempo estará el cohete acelerando. Sin embargo, demasiada agua significa un volumen proporcionalmente menor de aire. No es posible obtener una velocidad de inyección lo suficientemente potente para acelerar un cohete muy cargado de agua. Si nos vamos al extremo opuesto (una carga insuficiente de agua) tampoco se obtendrá la potencia de inyección deseada, recuerda que el empuje es generado por el agua al ser expulsada.



Hay que buscar una proporción ideal entre agua y aire, esta es aproximadamente un tercio del volumen de la botella de agua y el resto aire.

## Disminuir la masa del cohete

Si se disminuye la masa del cohete se puede obtener un mayor rendimiento... pero nuestra recomendación es que

### **NUNCA REDUZCAS EL PESO DE LA BOTELLA LIJÁNDOLA**

o cortando alguna de sus partes ya que se corre el riesgo de que esta estalle. Tampoco elimines accesorios fundamentales, recuerda que los alerones o un pequeño peso en la parte superior son fundamentales para lograr un vuelo estable. De hecho, el cohete no puede volar en línea recta sin alerones ni un pequeño peso en la parte superior que lo estabilice. Un escaso peso es tan malo como cargarlo demasiado.

## Minimizar la resistencia al aire

También es muy importante reducir al mínimo la resistencia al aire durante el vuelo. Por lo tanto, es aconsejable hacer el exterior del cohete tan delgado y liso como sea posible, minimizar partes que sobresalgan de él y eliminar accesorios innecesarios.

## Diversas formas de propulsar un cohete

Los cohetes obtienen el empuje gracias al chorro que sale hacia atrás a altas velocidades. A lo largo de los años se han propuesto varios sistemas de propulsión. La clave para obtener una propulsión de alto rendimiento es convertir de manera eficiente la energía química almacenada en el cohete en energía térmica. Los cohetes que se propulsan mediante la conversión de energía química en energía cinética se conocen como **“cohetes químicos”**, mientras que aquellos que convierten la energía eléctrica o energía calorífica en energía cinética por métodos distintos de la combustión son llamados **“cohetes no químicos”**.

### Los cohetes químicos

Los cohetes químicos generan la propulsión mediante la reacción de sustancias químicas. El oxígeno es necesario para quemar el combustible, pero en el espacio no está disponible, por ello los cohetes deben llevar también una carga de oxígeno (oxidante), de esta manera pueden funcionar sin problema en ambientes donde el aire es pobre. Esta es la gran diferencia entre los motores de los cohetes y los de los aviones. Los aviones a reacción llevan solo combustible, ya que obtienen el oxígeno necesario para quemar el combustible del aire de la atmósfera terrestre.

Dentro de los cohetes químicos encontramos tres categorías:

**Cohetes de combustible sólido:** Utilizan propulsores sólidos y oxidante granular.

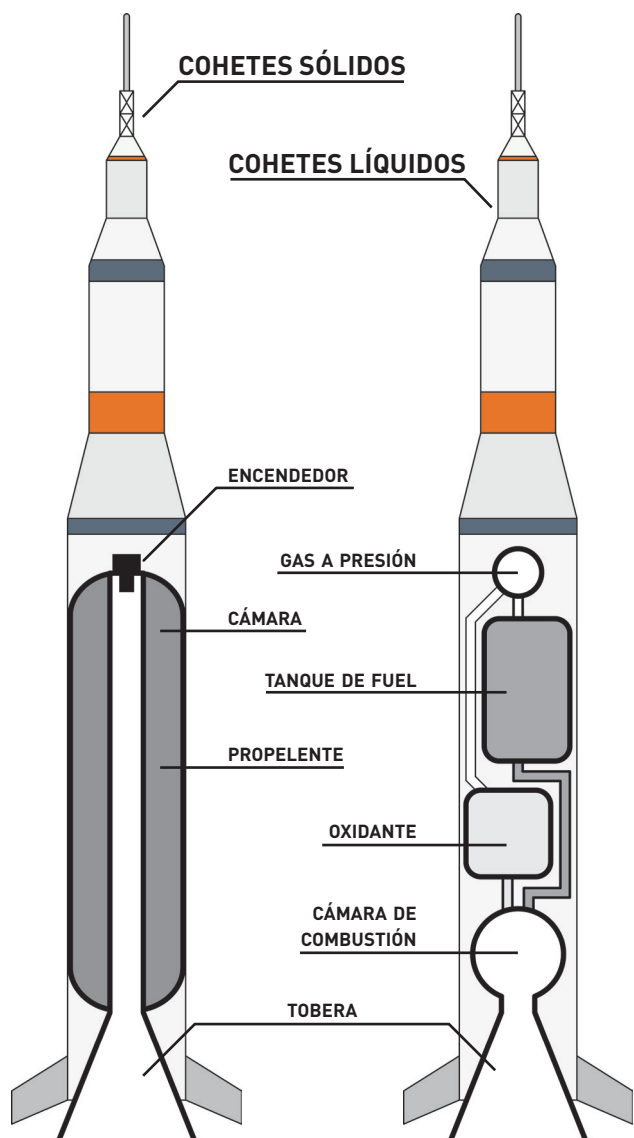
**Cohetes de combustible líquido:** utilizan combustibles líquidos y oxidante líquido. Se encuentran almacenados en tanques separados y se mezclan en la cámara de combustión donde se queman.

**Cohetes híbridos:** utilizan tanto combustibles sólidos como líquidos. El oxidante líquido se pulveriza sobre el combustible sólido y luego se quema.

### Los cohetes no químicos

En lugar de utilizar una reacción química, los cohetes no químicos utilizan energía eléctrica o energía calorífica para acelerar y luego expulsar el propelente. Existen diversos tipos de cohetes no químicos, el más conocido es el cohete de propulsión de iones, en el que un chorro de par-

tículas ionizadas son aceleradas por medio de un campo electro-magnético; también hay cohetes que utilizan energía nuclear, estos expulsan gas a alta temperatura gracias al calentamiento de partículas ligeras (como hidrógeno) en un reactor nuclear. Existen además una serie de nuevas ideas (algunas de momento solo teóricas) para propulsar un cohete, como un sistema en el que el cohete en sí no llevará a una fuente de energía sino que dependiese de un suministro de energía externo que convirtiera en energía cinética. Un ejemplo de ello es un cohete que utilizara un láser disparado desde la tierra para excitar la masa de su combustible. Otro ejemplo es la vela solar - una membrana grande que se despliega en el espacio exterior y emplea la energía solar para mover el cohete, igual que una vela mueve un barco.



## Propulsión de los cohetes de agua

Los cohetes de agua no utilizan ninguna reacción química, sino que obtienen el empuje mediante el uso de aire a presión para expulsar un chorro de agua por la boca de la botella. Como tal, se podría decir que entran en la categoría de los cohetes no químicos. Por otro lado, los cohetes de agua también tienen algo en común con los cohetes químicos, ya que vuelan mediante la generación de una cantidad relativamente grande de empuje en un corto período de tiempo. Para

decirlo de otra manera, los cohetes de agua se someten a un proceso de conversión de energía:

**Energía del Aire Comprimido → Energía Cinética del Aire (Expansión) → Energía Cinética del Agua (Expulsión a Chorro)**

mientras que los cohetes químicos son sometidos a un proceso de:

**Energía Química → Energía Térmica → Energía Cinética**

## Estabilidad del vuelo

Por potente que el empuje pueda ser, los cohetes no alcanzarán mucha altura si la actitud y la dirección de la aceleración no se controla adecuadamente. Si el cohete gira como un fuego artificial tipo borracho, la aceleración hacia adelante será imposible. Los cohetes reales con destino al espacio requieren una precisión extremadamente alta de actitud y control de órbita. La duración del vuelo de un cohete a través de la atmósfera de la Tierra es muy corta. La mayor parte de su tiempo permanecerá en el espacio exterior, donde el impacto de la fuerza aerodinámica es insignificante. Por tanto, el control de actitud es extremadamente importante.

### Centro de gravedad y centro de presiones

La gravedad de la Tierra afecta a todo lo que tiene masa. El centro de gravedad es el centro de simetría de masa, donde se intersecan los planos sagital, frontal y horizontal. En dicho punto, se aplica la resultante de las fuerzas gravitatorias que ejercen su efecto en un cuerpo. Cuando un cohete está sometido a una fuerza externa, como un viento lateral, el cohete gira alrededor de su centro de gravedad. Durante el vuelo, un cohete se ve afectado por las corrientes de aire que lo rodean.

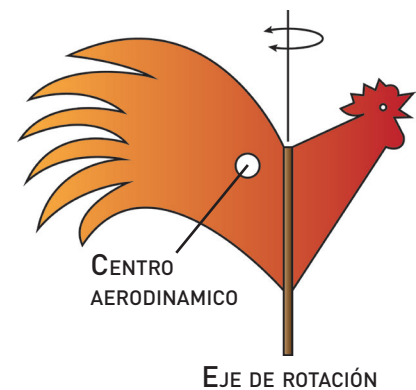
Cuando hablamos del centro de acción de la fuerza aerodinámica nos referimos al centro aerodinámico, en el sentido más estricto, la definición del centro aerodinámico es diferente de la de centro de acción de la fuerza aerodinámica, lo

llamamos centro de presiones en aras de la simplicidad. En el caso de cohetes con alerones, el morro, cuerpo del cohete (fuselaje) y los alerones se someten a una fuerza aerodinámica, en ese orden. Dado que el centro de presiones es el centro de acción de la fuerza aerodinámica, cuanto mayores sean los alerones, mayor es la fuerza aerodinámica que les afecta, lo que provoca que el centro aerodinámico se desplace hacia la parte inferior del cohete.

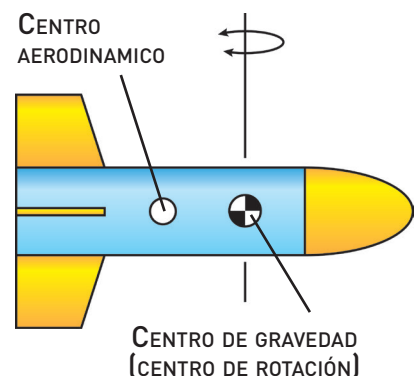
### Estabilidad aerodinámica

Un sistema de estabilización de la actitud basado en la fuerza aerodinámica se denomina estabilidad aerodinámica. También se conoce como "estabilidad de veleta" debido a las semejanzas que tiene con una veleta, que siempre mira a barlovento. El hecho que el

#### ESTABILIDAD DE UNA VELETA



#### ESTABILIDAD AERODINÁMICA DE UN COHETE





cohetes pueda mantener la estabilidad, y como una veleta mire siempre hacia barlovento, depende de la posición que tengan su centro de rotación y su centro de presiones. En una veleta, se puede observar que su mitad trasera (la sección desde el eje de rotación hacia atrás) tiene una mayor área que la mitad delantera. Esta diferencia de áreas implica que la cantidad de fuerza (presión) que el viento aplica en cada sección será distinta, y esto genera un movimiento de rotación alrededor del eje. Cuando el viento golpea la veleta, su mitad posterior está sujeta a una presión mayor que la mitad delantera. Este desequilibrio permite que la veleta gire. Cuando la veleta está alineada con la dirección del viento deja de girar. Esto se conoce como estabilidad de veleta.

La actitud del cohete gira alrededor del centro de gravedad, en otras palabras, el centro de gravedad del cohete es su eje de rotación. En los cohetes sin alerones, por norma general, el centro de acción de la fuerza aerodinámica (centro de presiones) se desplaza por delante del centro de gravedad. Esto hará que cuando el viento actúe sobre él, el morro mire a sotavento, es decir, se dé la vuelta. Los alerones desplazan el centro de presiones por detrás del centro de gravedad. Cuando el viento incide sobre ellos estabilizan el cohete ya que al igual que una veleta tienden a alinearse con la dirección del viento. Esto explica por qué un fuego artificial puede volar en línea recta hacia el cielo. El fuego artificial está unido a la punta de una varilla larga. Si la varilla es

demasiado corta, el fuego artificial no puede conseguir un vuelo estable.

Podemos pensar entonces que cuanto mayor sean los alerones mayor estabilidad tendrá el cohete, y es cierto, pero hay que tener en cuenta que si utilizamos unos alerones muy grandes el peso del cohete también aumentará.

Aumentar el tamaño de los alerones no es la única manera de lograr estabilidad. Añadiendo un pequeño peso en el morro del cohete conseguiremos desplazar el centro de gravedad hacia delante, dejando el centro de presiones por detrás. Observa los cohetes reales, en ellos las cargas pesadas siempre se intentan colocar en la medida de lo posible en la parte delantera, cerca del morro.

También se puede aumentar la estabilidad del cohete poniéndole una guía de lanzamiento. Si el cohete es acelerado lo suficiente, recibe el viento desde barlovento y los alerones pueden desempeñar su función, haciendo que vuele en línea recta. Pero, si aparece un repentino viento lateral antes de alcanzar la velocidad suficiente, su actitud va a cambiar y el cohete tenderá a mirar en la dirección del viento lateral. Aquí es donde pueden ser muy importantes unos carriles guía que permitan mantener al cohete su actitud hasta que alcance una velocidad suficiente.

Fíjate en los cohetes reales, ¿llevan alerones?. Sorprendentemente la gran mayoría no llevan. Esto es debido a que si bien los alerones pueden estabilizar la actitud del cohe-

te, también pueden cambiar la dirección de vuelo debido a un fuerte viento lateral. Además la estabilidad aerodinámica asistida por alerones en el espacio exterior, donde el aire es escaso y las fuerzas aerodinámicas no entran en juego, no funciona. Para cohetes cuya misión principal es desplegar un satélite artificial en órbita con la mayor exactitud posible, los inconvenientes de los alerones pueden significar el fracaso de la misión. Aun así, los grandes cohetes armados con equipo de control de alta precisión pueden ser lanzados a pesar de la inestabilidad aerodinámica. En lugar de alerones, su sistema de control de actitud de a bordo aseguran la estabilidad del cohete.

## Estabilización por rotación

Basado en el movimiento de rotación, es un método para la estabilización de actitud de un cohete sin tener que recurrir a la fuerza aerodinámica. Una proyectil, sometido a una rotación a alta velocidad producida por el estriado del cañón, puede volar hacia su objetivo manteniendo su actitud. De hecho, la estabilización por rotación se emplea a menudo en proyectiles y satélites.

Si adherimos los alerones al cohete en un ángulo menor de  $90^\circ$  dará lugar a una fuerza de rotación generada por la fuerza aerodinámica durante el vuelo, proporcionando al cohete estabilización por rotación. Este tipo de estabilización hace al cohete invulnerable a los vientos laterales, lo que le permite mantener su actitud inicial.

## Cálculo de la altura y velocidad

Para realizar la medición de la altura del cohete utilizaremos trigonometría y para la velocidad haremos **una aproximación deprecando la resistencia del aire**. Tomaremos registro de cada uno de los lanzamientos para hacer comparaciones. Estos registros incluirán:

- Distancia a la base de lanzamiento (desde el punto donde realizaremos la medición)
- Presión del aire dentro de la botella
- Cantidad de agua que contiene la botella
- Tiempo de vuelo (en segundos)
- Angulo formado por la base de lanzamiento y la altura máxima alcanzada por el cohete

Con estos datos procederemos a realizar los cálculos:

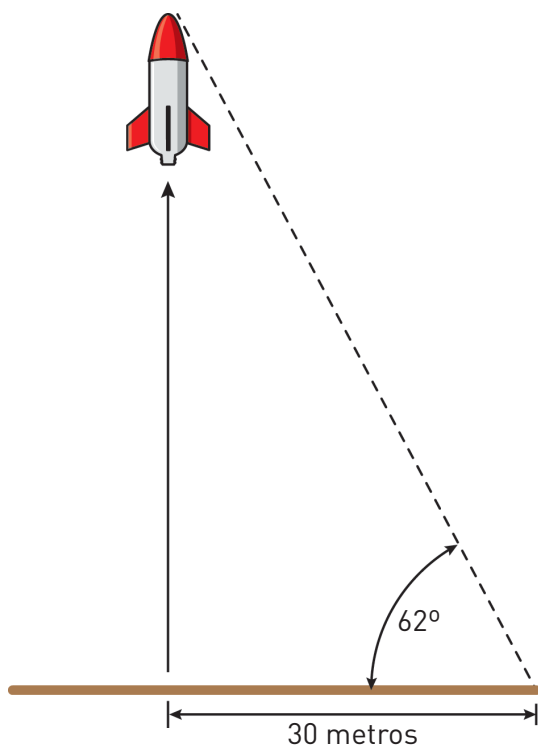
### Medir la altura

Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Altura} = b \cdot \tan(\alpha)$$

Donde b es la distancia a la base

Ejemplo: Imaginemos que nos situamos a una distancia de 30 metros y medimos que el ángulo formado por la base de lanzamiento y la altura máxima alcanzada por el cohete es de  $62^\circ$



$$30 \cdot \tan(62) = 56,42$$

El cohete ha alcanzado una altura de 56,42 m.

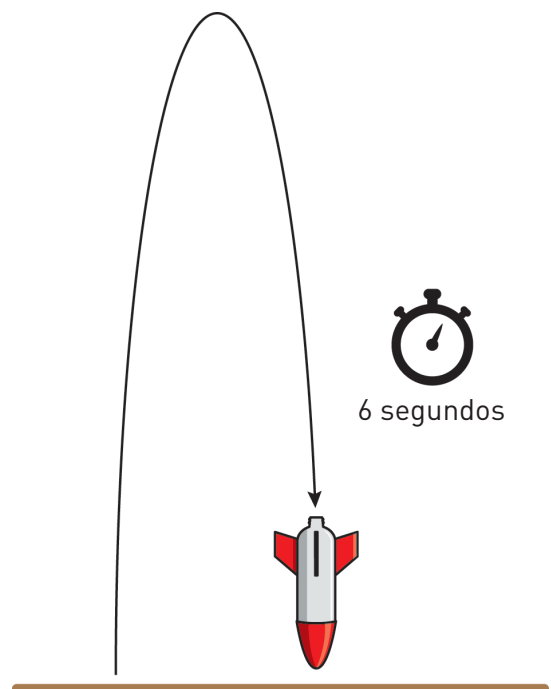
### Medir la velocidad

Utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad} = (t \cdot g) / 2 \cdot 3,6$$

Donde t es el total del tiempo de vuelo y g la constante gravitatoria  $9,8 \text{ m/s}^2$

Ejemplo: Imaginemos que el cohete ha volado durante 6 segundos



$$(6 \cdot 9,8) / 2 \cdot 3,6 = 105,84$$

El cohete alcanzó una velocidad de 105,84 km/h