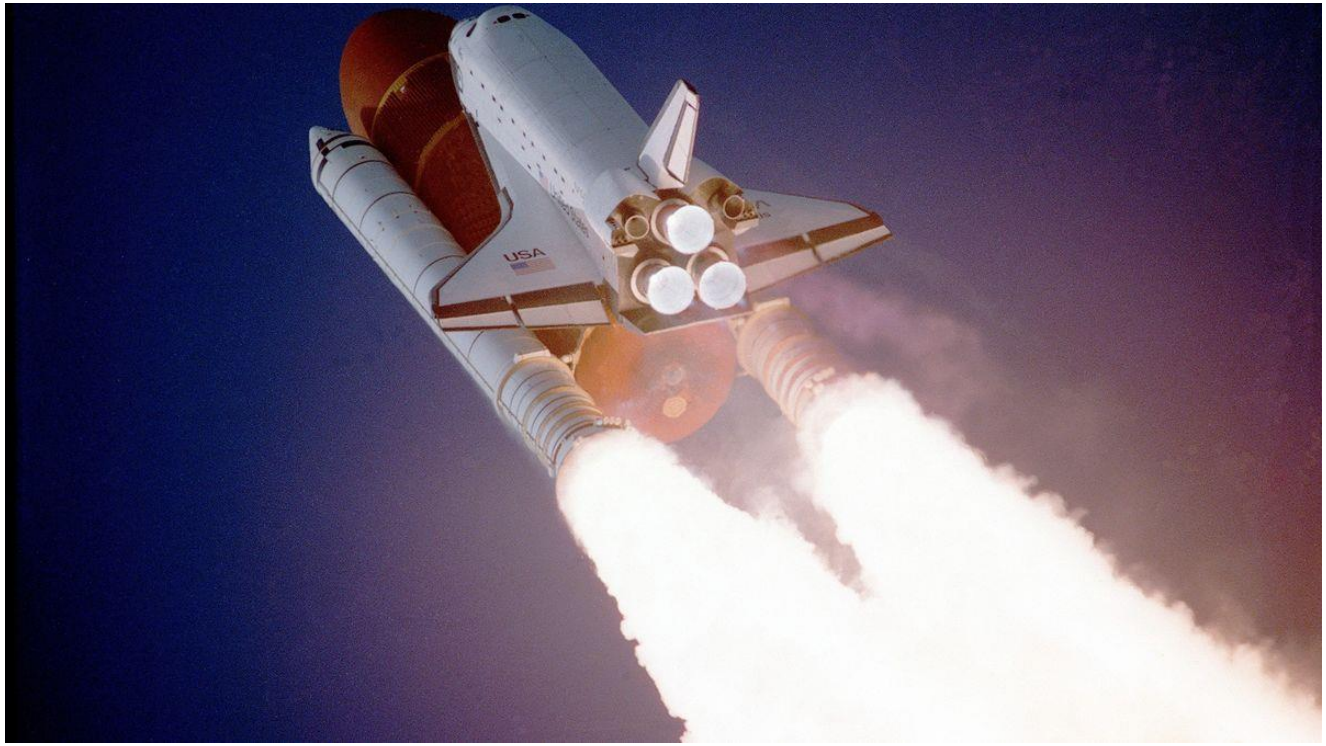


PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Los motores cohete, al ser motores a reacción, obtienen su empuje como reacción a la expulsión de fluido a altas velocidades.
Este fluido generalmente suele estar formado por los gases de combustión producidos en la cámara a altas presiones, aunque puede ser un fluido de trabajo calentado por cualquier otro proceso.
Para alcanzar elevadas velocidades, este fluido se hace pasar por una tobera en la que la energía térmica del fluido es transformada en energía cinética.



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Un motor cohete produce un empuje que desplaza a un vehículo.

El empuje (F_{thrust}) que produce un motor cohete depende de la velocidad del propulsante expulsado (C=velocidad de escape efectiva) y su caudal (m_{dot} =tasa de flujo másico).

$$\mathbf{F_{thrust}}\ (N) = \mathbf{m_{dot}}\ (Kg/seg)\ .\ \mathbf{C}\ (m/seg)$$

La fuerza de empuje aplicada a un objeto a lo largo del tiempo produce un impulso.

Para cambiar la cantidad de movimiento, podemos aplicar una fuerza grande que actúe sobre un corto tiempo o una fuerza más pequeña que actúa durante un tiempo más largo.

Definimos al impulso total como el resultado de aplicar una fuerza sobre un objeto durante un cierto tiempo.

Si se quiere cambiar la velocidad de un cohete y, por lo tanto, su cantidad de movimiento, habría que aplicarle algún impulso.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Este impulso proviene del empuje que actúa durante un intervalo de tiempo.

Por lo tanto se puede producir el mismo impulso para un cohete aplicando un pequeño empuje durante mucho tiempo o un gran empuje durante un corto tiempo.

$$F.T = F.T$$

Aunque el impulso total es útil para decirnos el efecto total del empuje, no nos da mucha información sobre la eficiencia del motor cohete.

Para comparar el rendimiento de diferentes tipos de motores cohete, se utiliza el término **IMPULSO ESPECÍFICO** (I_{sp}) que determina el costo, en términos de la masa de propelente necesario, para producir un empuje dado en un cohete.

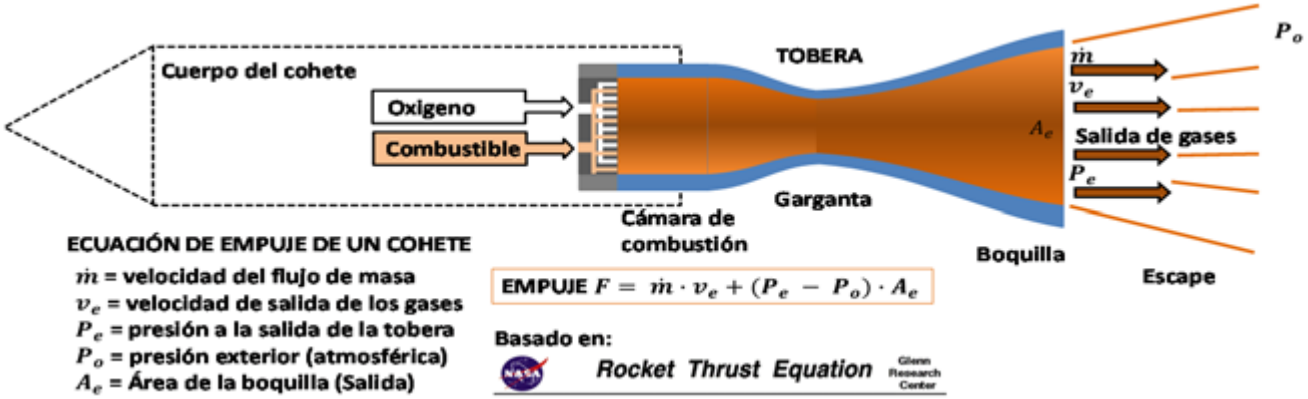
El **IMPULSO ESPECÍFICO** representa la eficiencia del cohete; es la relación entre el impulso obtenido con respecto a la masa de propelente utlizada.

$$I_{sp}\ (\text{seg}) = \frac{F_{thrust}\ (\text{N})}{m_{dot}\ (\text{Kg/seg})\ g_o\ (\text{m/seg}^2)}$$

Cuanto mayor sea el **IMPULSO ESPECÍFICO**, más eficiente será el sistema.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



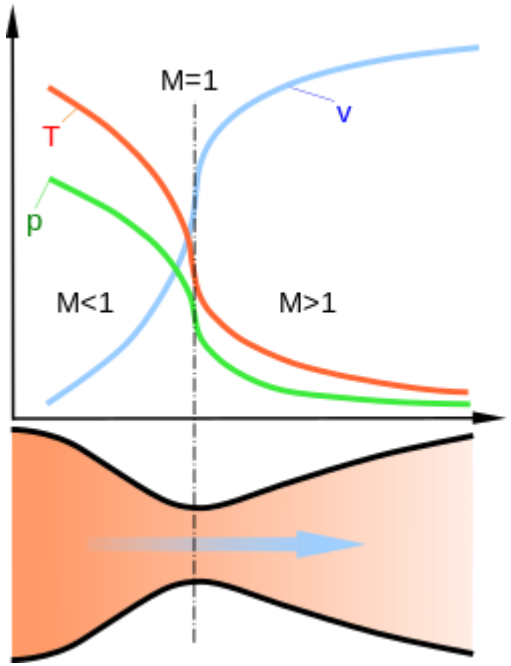


ECUACIÓN DE EMPUJE DE UN COHETE

$\dot{m}$ = velocidad del flujo de masa
v_e = velocidad de salida de los gases
P_e = presión a la salida de la tobera
P_o = presión exterior (atmosférica)
A_e = Área de la boquilla (Salida)

EMPUJE $F = \dot{m} \cdot v_e + (P_e - P_o) \cdot A_e$

Basado en: *Rocket Thrust Equation* (Glenn Research Center)

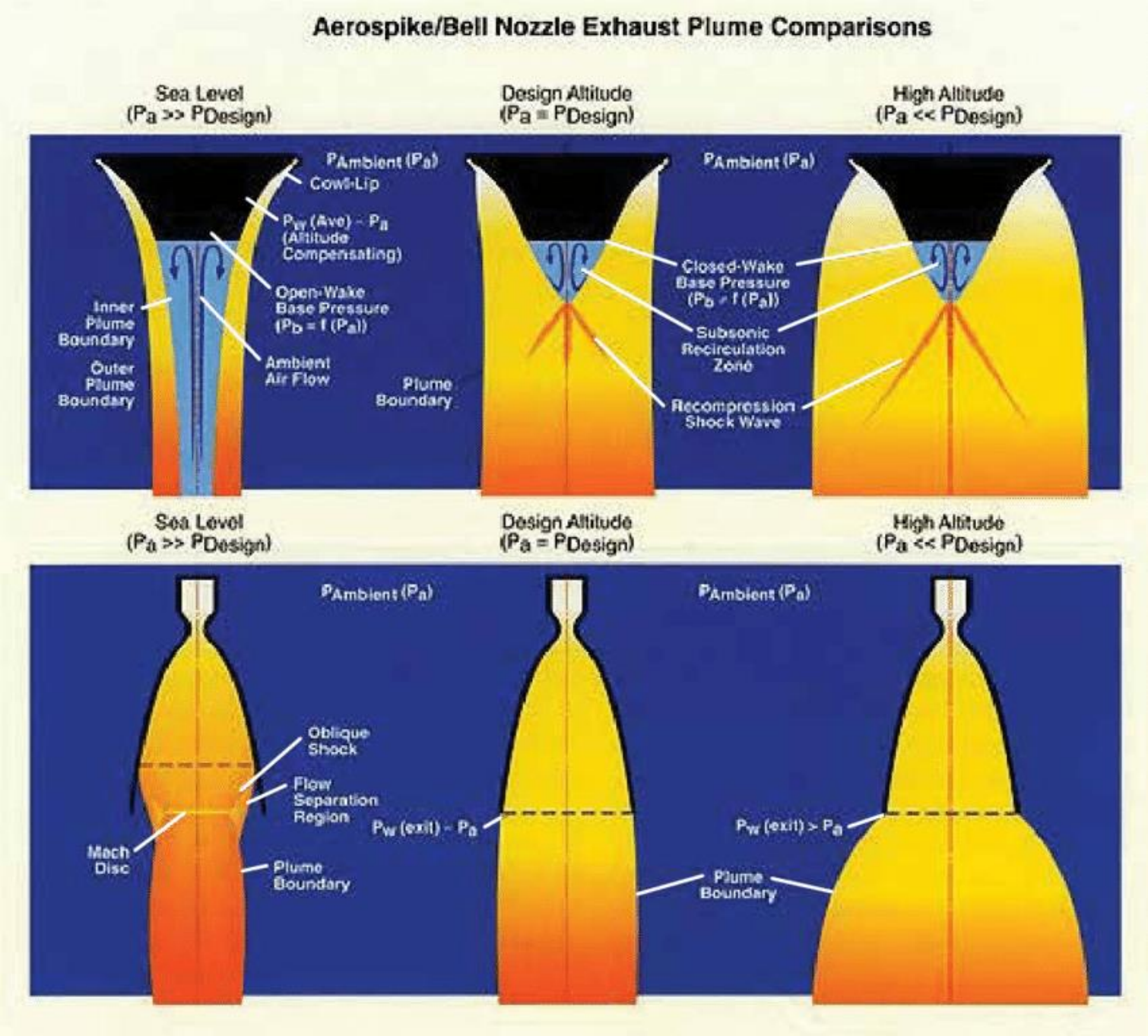


Cuando el gas resultante de la combustión entra en la tobera del cohete se desplaza a velocidades subsónicas. A medida que la tobera se estrecha el gas es forzado a acelerar hasta que alcanza la garganta de la tobera, donde la sección transversal es mínima y la velocidad lineal iguala la del sonido. A partir de ahí la sección transversal aumenta, el gas se expande y la velocidad lineal, supersónica, se hace progresivamente mayor.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL











PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Los sistemas de propulsión se clasifican de acuerdo al tipo de fuente de energía y según el mecanismo por el cual aceleran el fluido de trabajo.

Motor Termodinámico Químico:

Obtiene su empuje de una reacción de propulsores químicos, normalmente un combustible y un oxidante, alcanzando muy altas temperaturas en el gas resultante.

Los gases producidos se expanden en una tobera, donde se aceleran hasta alcanzar grandes velocidades.

Dado que las temperaturas que se pueden alcanzar en el fluido están en algunos casos muy por encima del punto de fusión de los materiales del sistema propulsivo, es necesario refrigerar o aislar las superficies expuestas a los gases calientes.

Debido a que las sustancias a partir de las cuales se forman los fluidos propulsores pueden presentarse en diferentes formas, podemos clasificar este tipo de motores según cuales sean las fases en que se presentan dichos componentes.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor sólido:

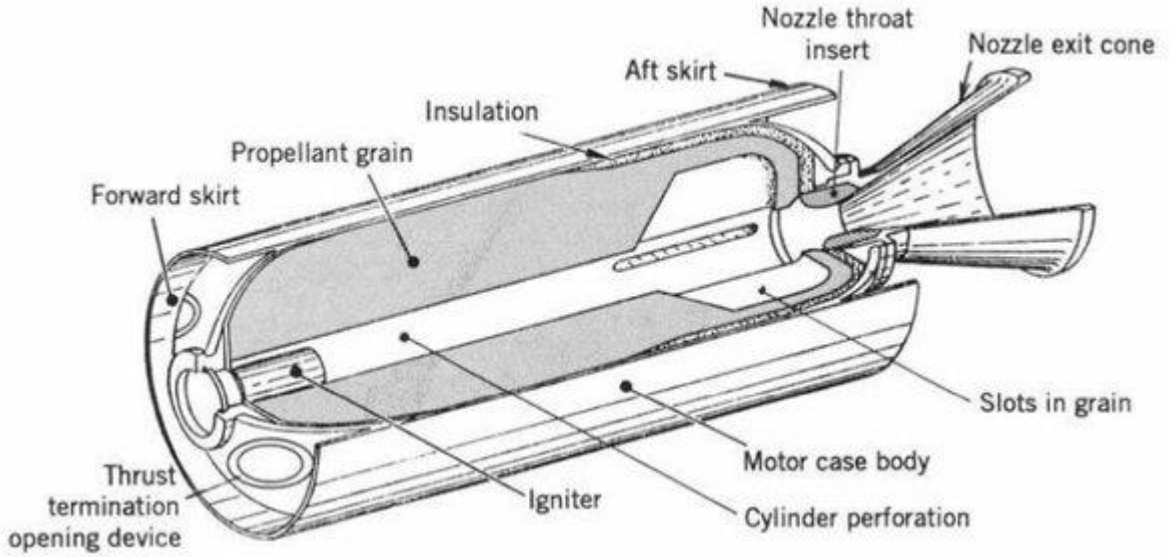
La carga de propulsor sólido se denomina grano y contiene todos los componentes para realizar una combustión completa.

El propulsor, o mezcla propulsora, se encuentra desde un principio en la cámara de combustión.

Una vez encendido, se quema suavemente a un ritmo determinado por el área de superficie expuesta.

El inicio de la combustión se produce en una perforación cilíndrica que se realiza previamente en el sólido, de modo que se tiene una gran superficie de combustión. La cavidad inicial va aumentando a medida que se consume el propulsor.

No necesitan sistemas de alimentación y una vez encendido es prácticamente imposible su apagado hasta que se haya consumido todo el grano.



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

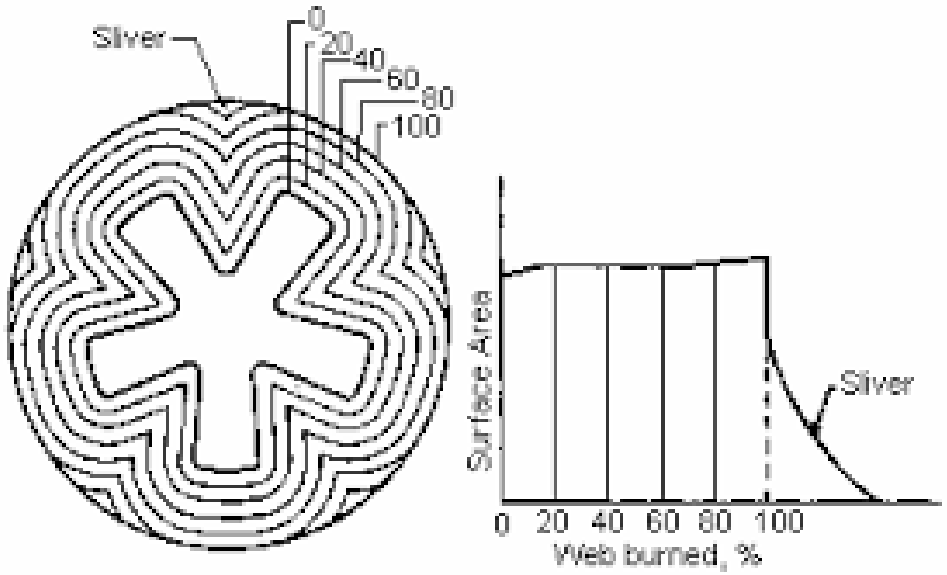
Propulsor sólido:

El empuje (y presión de cámara) que el motor genera es proporcional al área en combustión en cualquier instante particular del tiempo. A esto se lo conoce como Área en Combustión Instantánea.

La superficie en combustión en cualquier punto sigue la dirección normal (perpendicular) a la superficie en ese punto, siendo el resultado una relación entre la superficie en combustión y la distancia quemada que depende casi exclusivamente de la forma inicial del grano.

El grano con forma de estrella provee una combustión casi neutral, porque el área de superficie se mantiene prácticamente constante a lo largo de la combustión.

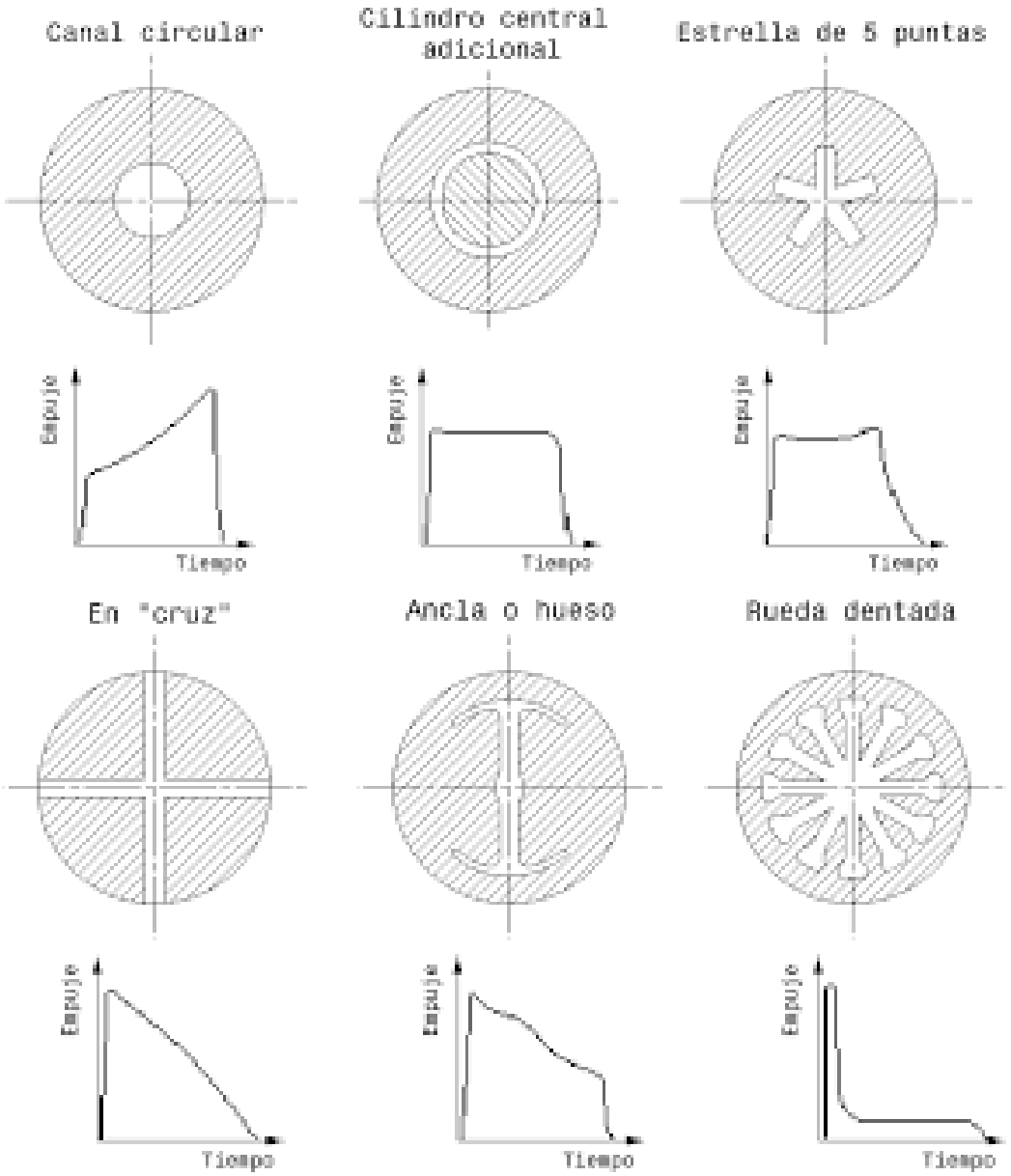
Generalmente es deseada una combustión neutral porque provee una mayor eficiencia en la creación del impulso total, al operar más eficientemente la tobera con una presión de cámara constante.



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

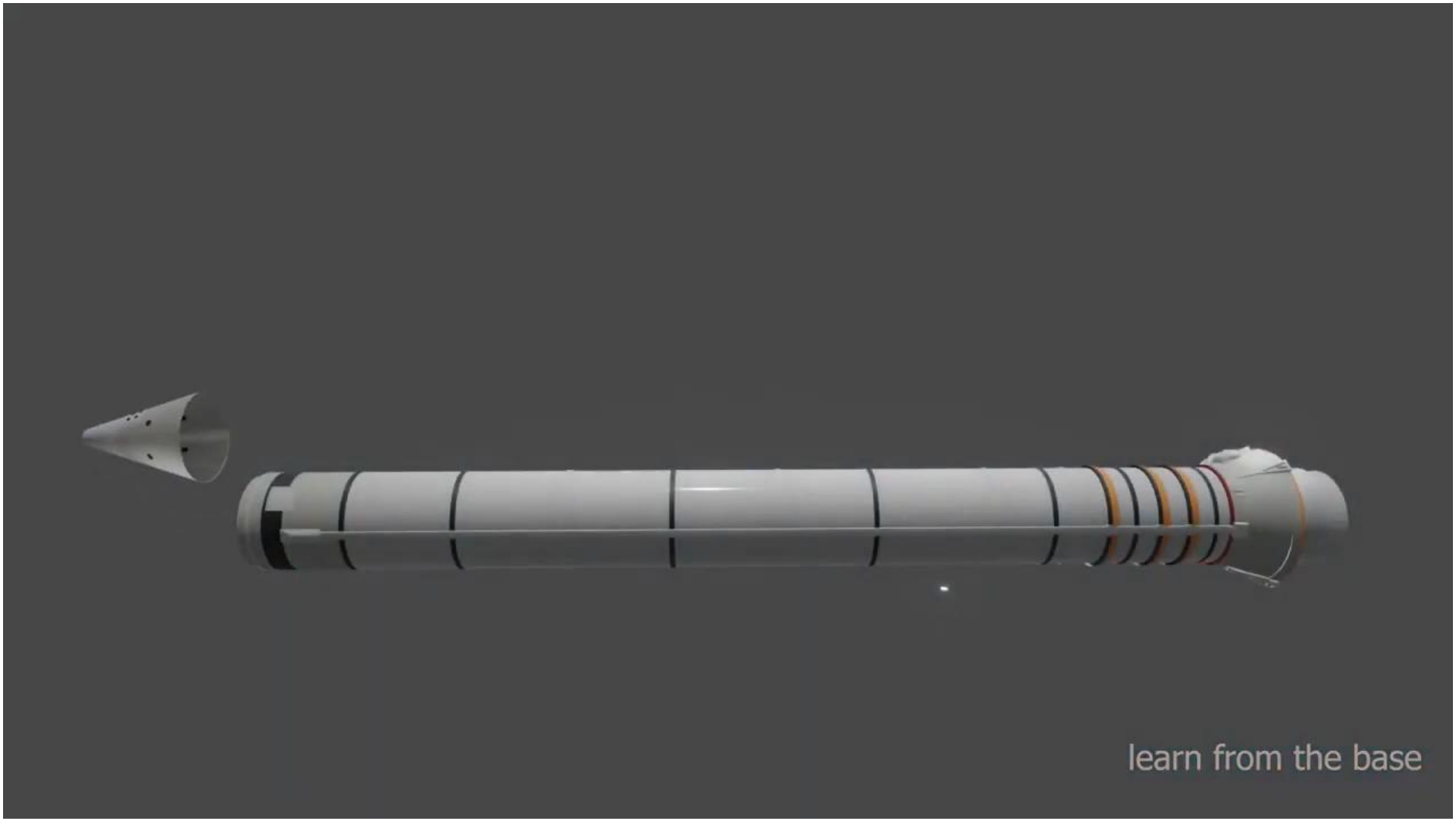
Propulsor sólido:



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor sólido:



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor Líquido:

Utiliza sustancias propulsoras en estado líquido que se inyectan a la cámara de combustión a elevada presión.

Si se usan dos propulsores, combustible y oxidante, el sistema se denomina **BIPROPULSADO**; si sólo se usa uno **MONOPROPULSADO**.

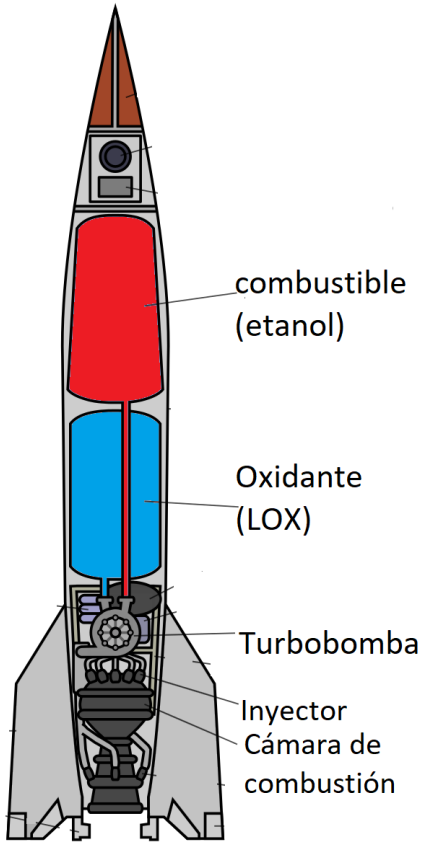
En el sistema **BIPROPULSADO** se utliza el Hidrógeno Líquido como combustible, y el Oxígeno Líquido como oxidante. Al mezclarse en la cámara de combustión y encenderse generan presión y temperatura.

Para evitar el sistema de encendido existen componentes que reaccionan al contacto y son los propulsores **HIPERGÓLICOS**, como la hidrazina (N_2H_4) más tetróxido de nitrógeno (N_2O_4). Otra característica importante en la selección de un propulsor es su capacidad de almacenamiento.

Aunque la combinación de hidrógeno líquido y oxígeno líquido ofrecen un alto rendimiento requieren sobreenfriamiento a cientos de grados centígrados bajo cero.

Debido a su baja temperatura de almacenamiento, son denominados propulsores **CRIOGÉNICOS**.

Desafortunadamente, es difícil mantener estas temperaturas extremadamente bajas durante largos períodos (días o meses).



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



Motor Termodinámico Químico:

Propulsor Líquido:

Como su nombre lo indica, los **MONOPROPULSADOS** usan solo un propulsor.

Estos propulsores son relativamente inestables y se descomponen fácilmente por contacto con un catalizador adecuado.

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es un ejemplo de monopropelente.

Es relativamente seguro de manejar a temperatura ambiente pero, cuando pasa por un catalizador apropiado (como la plata), se descompone fácilmente en vapor (H_2O) y oxígeno, liberando calor significativo. Las reacciones típicas superan los 630 ° C. El monopropulsor más utilizado en la actualidad es la hidracina (N_2H_4). Se descompone fácilmente cuando se expone a un catalizador adecuado, como el iridio.

La principal desventaja es su alta toxicidad. La mayor ventaja de los sistemas monopropulsores sobre los bipropulsores es su sencillez.

Es utilizado para los sistemas de control de actitud.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor Líquido:

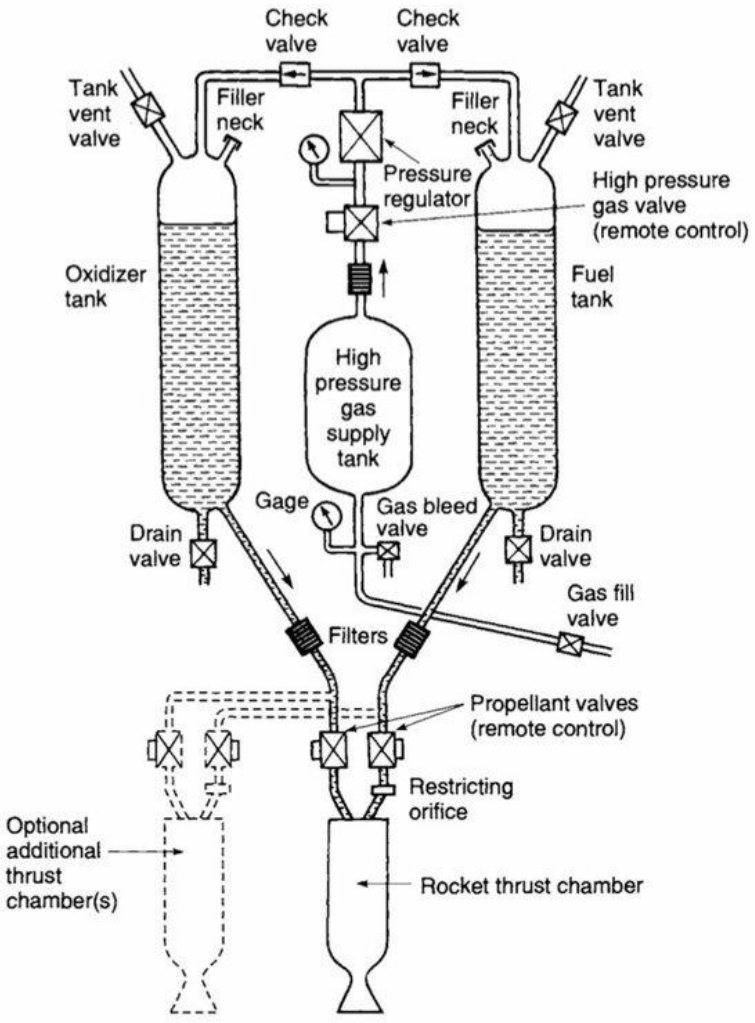
El sistema bipropulsado alimentado a presión se basa en un propulsor gaseoso almacenado bajo presión o un tanque separado conectado al tanque principal y se llena con un gas inerte presurizado, como nitrógeno o helio, para presurizar y expulsar el propulsor líquido fuera del tanque de almacenamiento.

Para reducir el volumen, la presión de almacenamiento del gas presurizador suele ser muy superior a la presión necesaria en la cámara de combustión por lo que se la debe disminuir mediante un regulador de presión. (Ej.: 200 BAR se reduce a 20 BAR).

El principal inconveniente de los sistemas alimentados a presión es que la cantidad de gas de presurización necesario se relaciona directamente con la cantidad de propelente líquido en el tanque (o tanques).

Para vehículos de lanzamiento muy grandes, como en el transbordador espacial, el sistema debe entregar enormes cantidades de propelente a la cámara de combustión cada segundo, para lo cual se requieren tanques de gas de alta presión más grandes, lo que hace que todo el vehículo de lanzamiento sea más voluminoso y pesado.

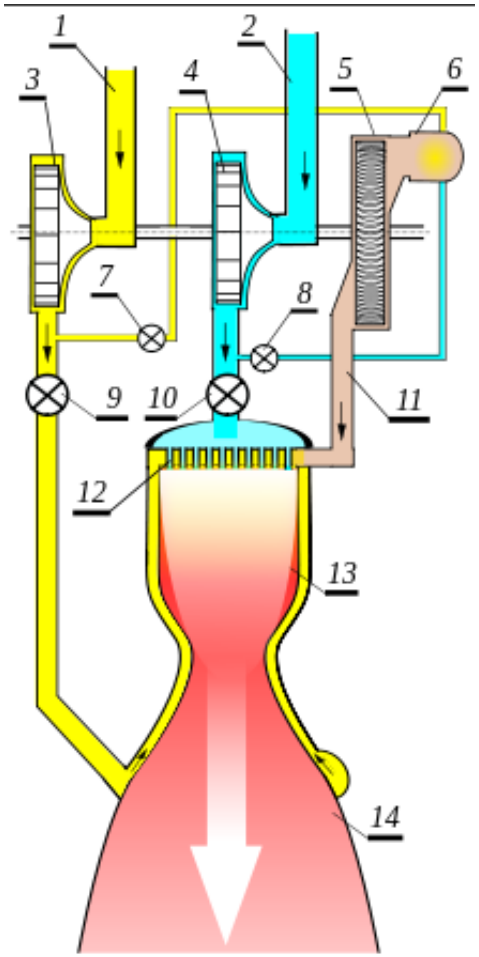
En su lugar, la mayoría de los vehículos de lanzamiento utilizan motores alimentados por bomba.



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor Líquido:



Esquema de un propulsor de combustible líquido de dos componentes
1 - Toma del depósito de combustible
2 - Toma del depósito de oxidante
3 - Bomba de combustible
4 - Bomba de oxidante
5 - Turbina
6 - Generador de gas
7 - Válvula del generador de gas (combustible)
8 - Válvula del generador de gas (oxidante)
9 - Válvula principal de combustible
10 - Válvula principal del oxidante
11 - Escape de la turbina
12 - Inyectores
13 - Cámara de combustión
14 - Tobera



Los sistemas bipropulsados de suministro alimentados por bomba se basan en bombas centrífugas para tomar líquido a baja presión y enviarlo hacia la cámara de combustión a alta presión.

Las bombas imparten energía cinética al flujo de propelente, aumentando su presión.

Las bombas son accionadas por una turbina que quema una cantidad relativamente pequeña de H_2 y O_2 para producir energía mecánica.

Esta energía toma los propulsores líquidos normalmente almacenados en unos pocos bares y aumenta la presión de alimentación a más de 480 bar (7000 p.s.i.) a un caudal de 105 litros/s, girando a más de 30.000 r.p.m.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

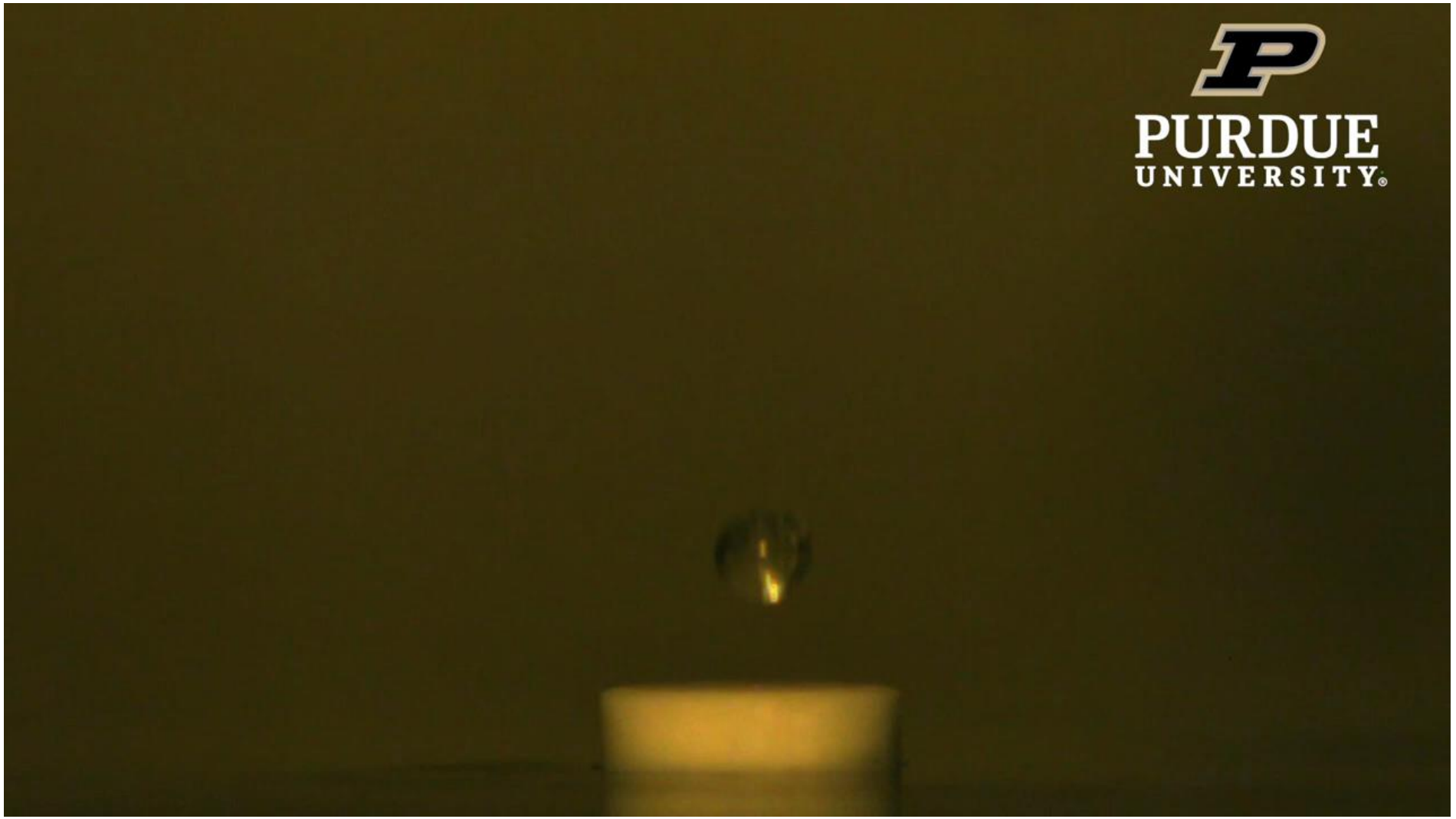
Propulsor Líquido:



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor Líquido: HIPERGÓLICOS



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor híbrido:

Los motores de propulsión de cohete llamados híbridos, son aquellos en los que uno de los componentes de la mezcla propulsora está almacenado en fase líquida, mientras que el otro se encuentra en fase sólida.

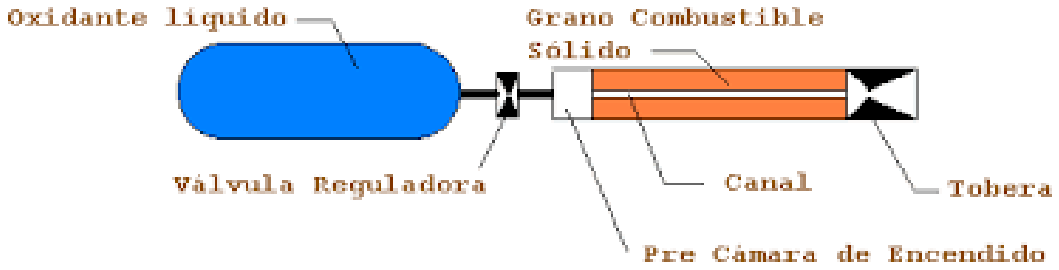
Normalmente, en este tipo de sistemas, se utiliza un oxidante líquido y un combustible sólido, siendo este último inerte, no pudiéndose iniciarse accidentalmente la combustión debido a descargas electroestáticas, choques o vibraciones durante la manipulación.

El sistema no es explosivo, ya que en ningún momento se da una mezcla de combustible y oxidante que no sea durante la combustión.

El motor puede ser fácilmente regulado mediante el paso del líquido de oxidante que se deja entrar en la cámara de combustión.

Encendidos y apagados son controlados dado que oxidante y combustible entran en ignición de manera espontánea cuando están en contacto sin fuente de ignición, esto se produce después de un primer encendido forzado y siempre que el sistema no se haya enfriado en exceso.

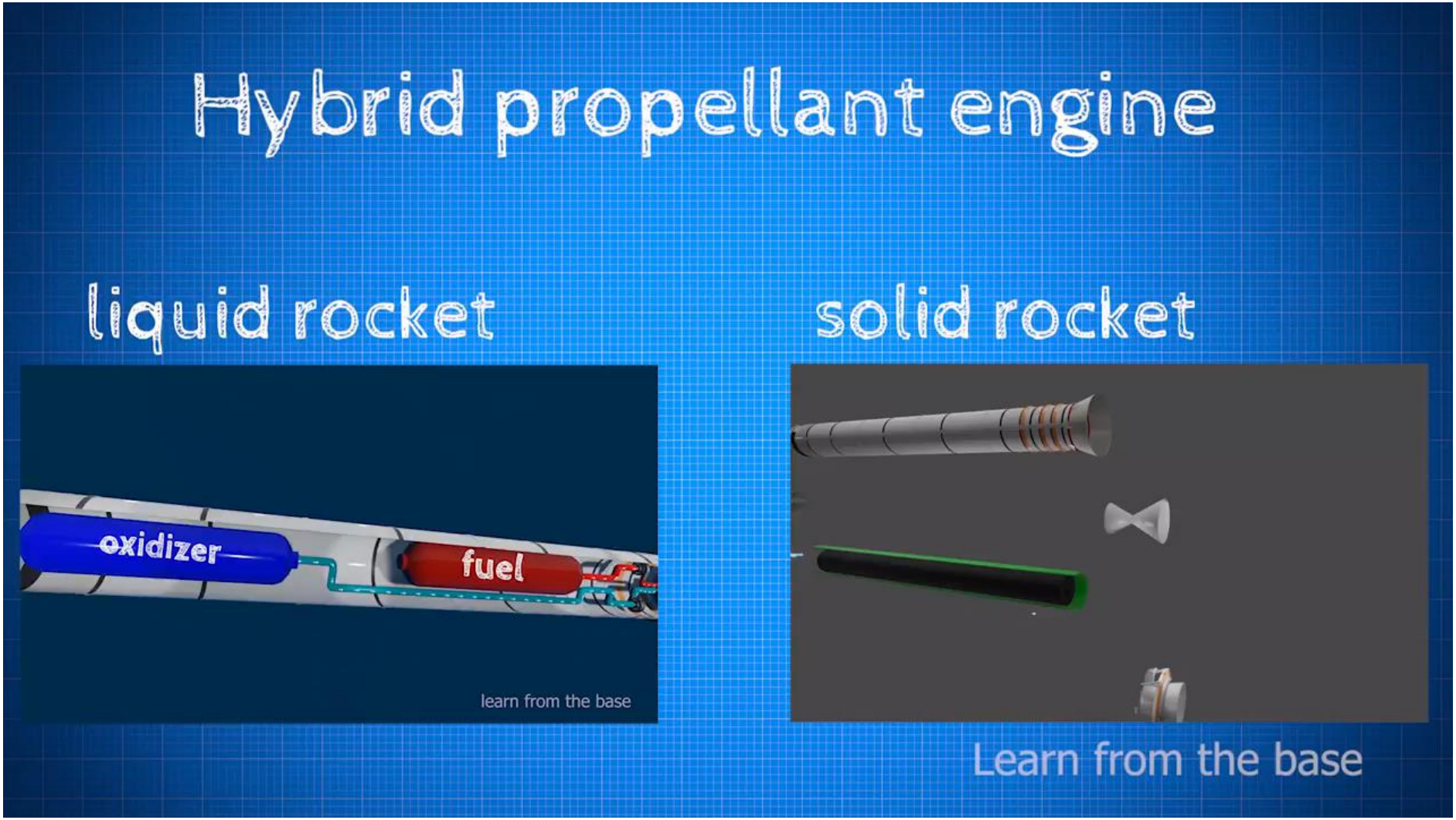
MOTOR COHETE HIBRIDO



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termodinámico Químico:

Propulsor híbrido:



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

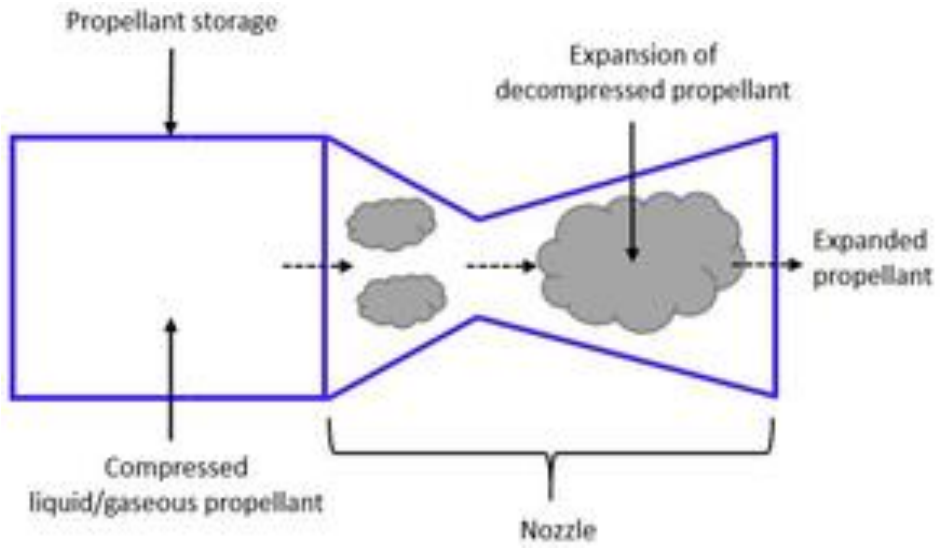
Motor Termodinámico:

Propulsor gaseoso:

Un propulsor de gas frío (o un sistema de propulsión de gas frío) es un tipo de motor cohete que utiliza la expansión de un gas presurizado (normalmente inerte tal como aire, nitrógeno o helio,) para generar empuje.

A diferencia de los motores de cohetes tradicionales, un propulsor de gas frío no realiza ninguna combustión y, por lo tanto, tiene un empuje y una eficiencia más bajos en comparación con los motores monopropulsados o bipropulsados convencionales.

Su diseño consta solo de un tanque de almacenamiento del fluido propulsante, una válvula reguladora, una tobera de escape, siendo el sistema de propulsión más barato, sencillo y fiable disponible para las maniobras y el control de actitud.





PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termoeléctricos

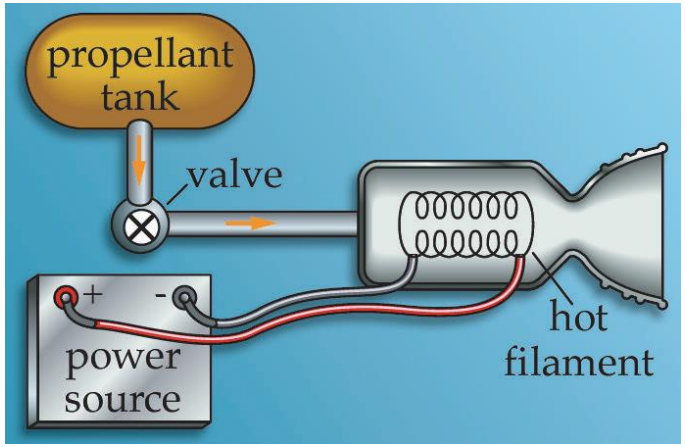
Utilizan la energía eléctrica para calentar una resistencia simple, o creando una descarga de arco.

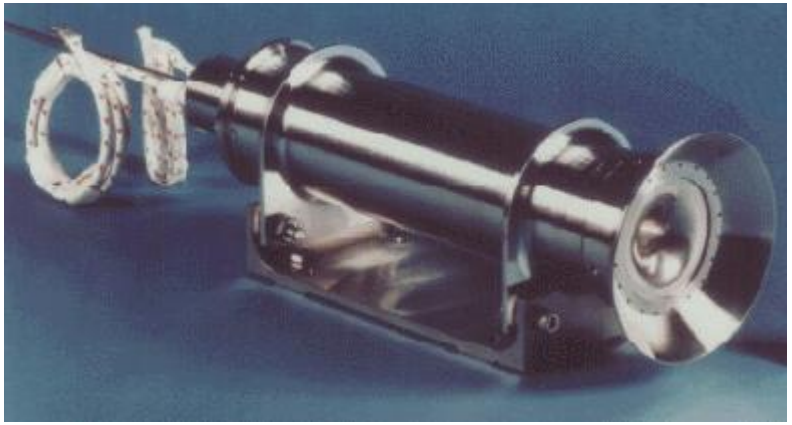
En ambos casos se produce calor que es transferido al propulsor para encenderlo.

Uno de los ejemplos más simples de un cohete termoeléctrico es un **RESISTOJET**.

La corriente eléctrica fluye a través de un elemento de calentamiento de metal dentro de la cámara de combustión. La resistencia (o fricción eléctrica) en el metal hace que se caliente. A medida que el propulsor fluye alrededor del elemento calefactor, el calor se transfiere a él por convección, aumentando su temperatura antes de que se expanda a través de una boquilla.

El concepto del **RESISTOJET** puede aumentar fuertemente el impulso específico de un cohete convencional de gas frío, convirtiéndolo, en efecto, en un cohete de gas caliente. Los **RESISTOJETS** también mejoran el rendimiento de los cohetes monopropulsores convencionales de hidracina.





PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

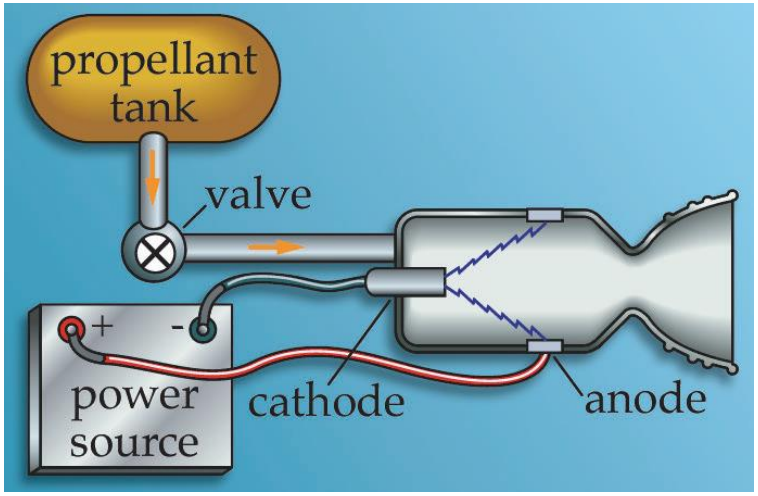
Motor Termoeléctricos

Otro método para convertir la energía eléctrica en energía térmica es mediante el uso de una chispa o un arco eléctrico.

Para formar un arco, creamos un espacio en un circuito eléctrico y cuando el potencial eléctrico entre los dos puntos aumenta lo suficiente, se forma un arco.

En un cohete **ARCJET** pasa el propulsor a través de un arco sostenido, aumentando su temperatura.

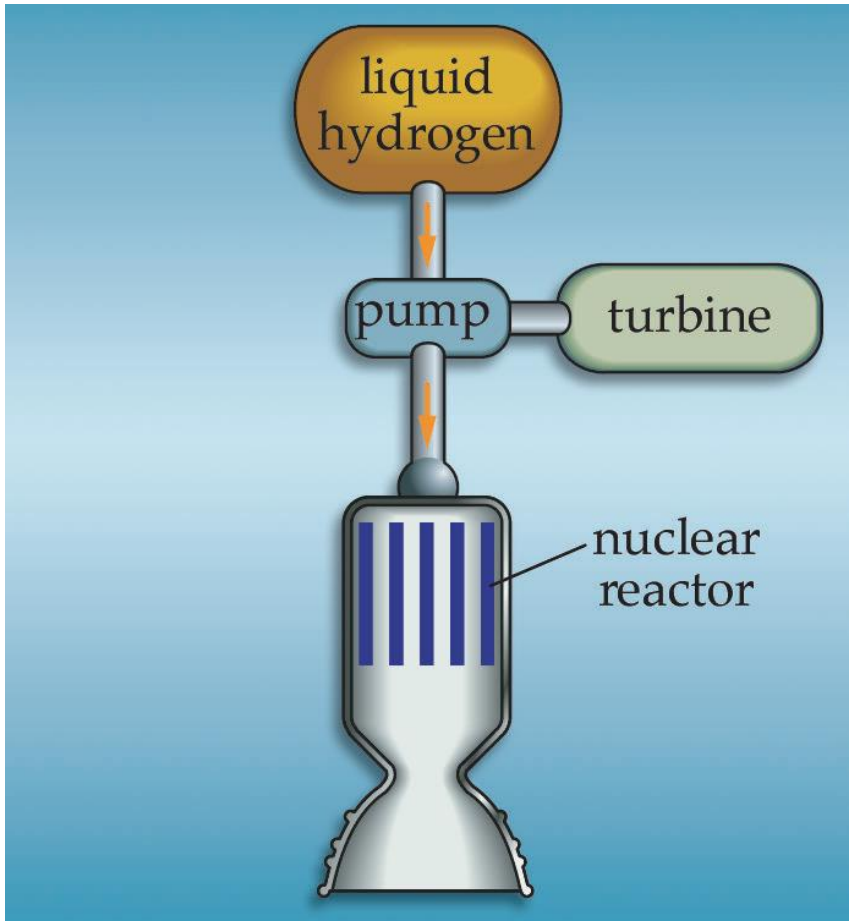
Los **ARCJETS** pueden usar casi cualquier propulsor. Las versiones actuales usan hidracina, hidrógeno líquido o amoníaco.





La nave espacial ARGOS, probó un poderoso motor **ARCJET** de 26-kW y amoníaco (NH_3), estableciendo un récord para el sistema de propulsión eléctrica más potente jamás probado en órbita, con un empuje de 2N.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



Motor Termonuclear

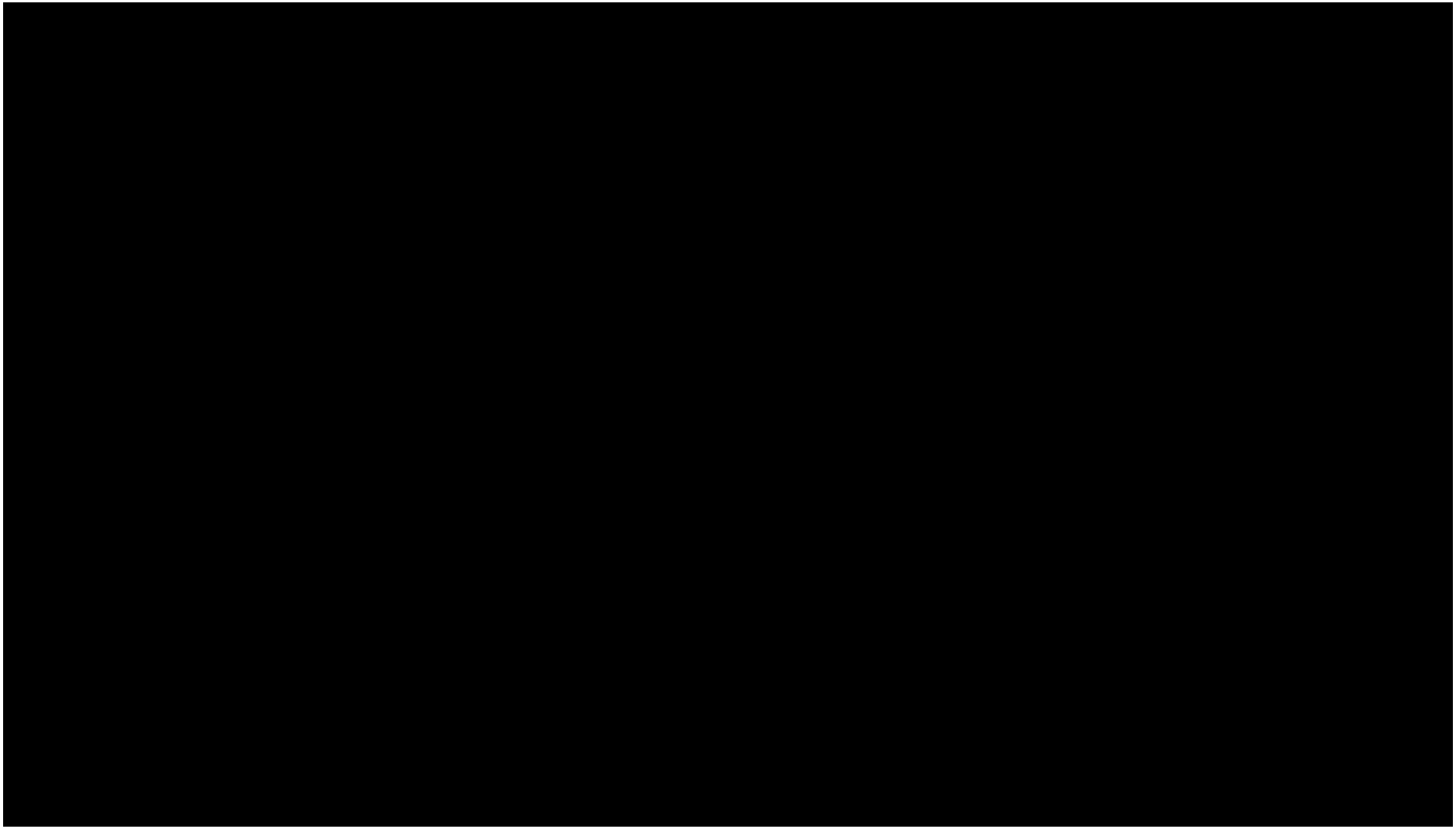
Otra fuente de calor potencialmente útil en el espacio es la energía nuclear, producida por los reactores nucleares que aprovechan el calor liberado por la fisión del uranio.

Un motor cohete **TERMONUCLEAR** utiliza un propulsante como el hidrógeno líquido, para hacerlo fluir alrededor del reactor nuclear, absorbiendo energía térmica.

La expansión termodinámica a través de una tobera produce un alto empuje (hasta 10^6 N). Debido a su empuje relativamente alto y mejores eficiencias, la energía nuclear térmica ofrece una clara ventaja sobre los sistemas químicos.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Motor Termonuclear



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Propulsores de iones

Un propulsor de iones (también llamado propulsor electrostático) utiliza un campo eléctrico para acelerar un propelente ionizado.

Para operar, el propulsor primero ioniza un propelente quitando la capa externa de electrones, produciendo iones positivos entonces acelera estos iones aplicando un fuerte campo eléctrico.

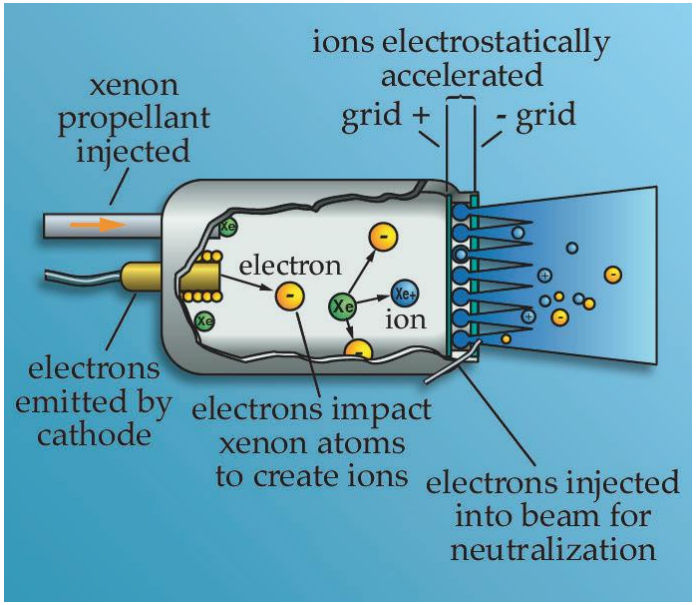
Si el motor expulsa los iones positivos sin neutralizarlos, la nave espacial eventualmente acumulan una carga negativa debido a los electrones sobrantes.

Para evitar esto se utiliza una fuente de electrones para inyectarlos en la salida generando una carga neutra.

El propelente utilizado es xenón que es un gas inerte seguro que se almacena como un gas denso (1,1052 kg/l) bajo una presión moderada de 58,4 bar a temperatura ambiente.

Los propulsores de iones ofrecen una opción de propulsión eléctricamente eficiente con muy alto impulso específico (tan alto como 10.000 s).

Alrededor del 90% de la energía se utiliza para acelerar el propulsor.



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

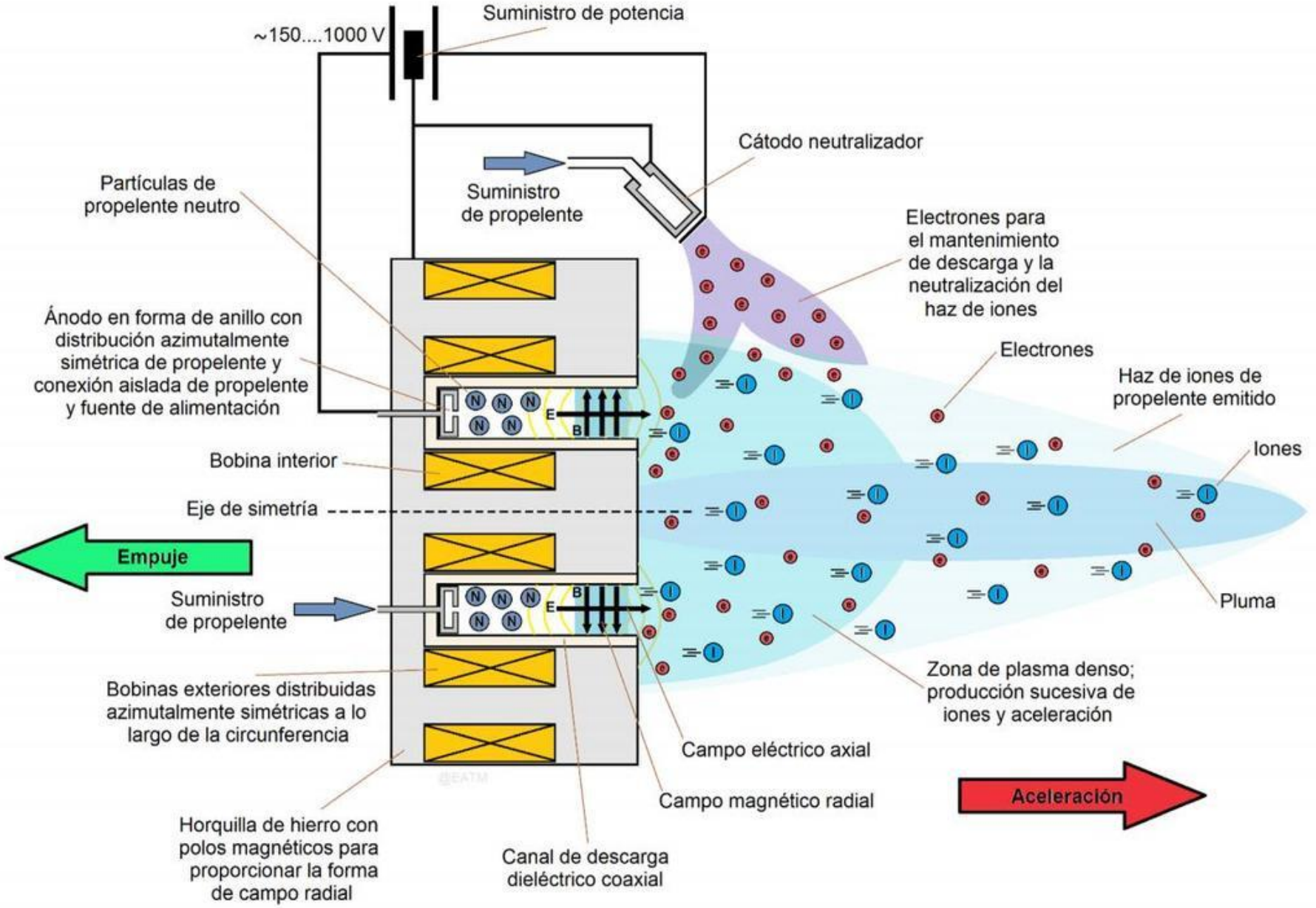
Propulsores de iones



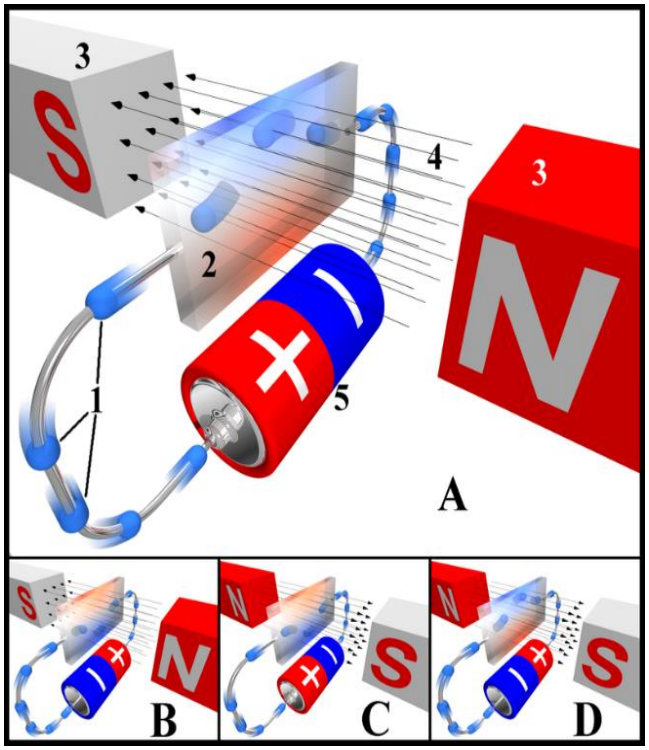
PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

El tipo de propulsor de plasma más utilizado es el **PROPULSOR DE EFECTO HALL** (**HET**).
El propelente, habitualmente gas xenón, se alimenta a través del ánodo, que tiene numerosos orificios pequeños para actuar como distribuidor de gas.
A medida que los átomos de xenón neutros se difunden en el canal del propulsor, se ionizan por colisiones con electrones de alta energía circulantes.
Los iones de xenón son entonces acelerados por el campo eléctrico entre el ánodo y el cátodo.
Para voltajes de descarga de 300 V, los iones alcanzan velocidades de alrededor de 15 km/s.
Al salir, los iones atraen una cantidad igual de electrones con ellos, creando una pluma de plasma sin carga neta.
El campo magnético radial está diseñado para ser lo suficientemente fuerte como para desviar sustancialmente los electrones de baja masa, pero no los iones de alta masa.
La mayoría de los electrones quedan atrapados orbitando en la región de alto campo magnético radial cerca del plano de salida del propulsor.
Esta rotación orbital de los electrones es una corriente Hall circulante, y es de ahí que el propulsor Hall recibe su nombre.
Debido a que la mayoría de los electrones quedan atrapados en la corriente de Hall, tienen un tiempo de residencia prolongado dentro del propulsor y pueden ionizar casi todo el propulsor de xenón.

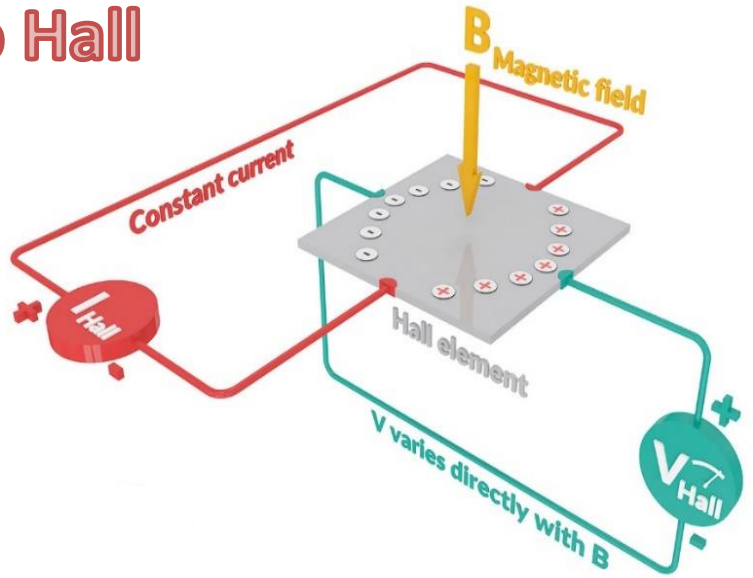
PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



Efecto Hall



Cuando por un material conductor o semiconductor circula una corriente eléctrica, y estando este mismo material en el seno de un campo magnético, se comprueba que aparece una fuerza magnética en los portadores de carga que los reagrupa dentro del material; esto es, los portadores de carga se desvían y agrupan a un lado del material conductor o semiconductor, apareciendo así una variación de potencial en el conductor, lo cual origina un campo eléctrico perpendicular al campo magnético y al propio campo eléctrico generado por la fuente de tensión.

Este campo eléctrico es el denominado campo Hall, y ligada a él aparece la tensión Hall, que se puede medir mediante un voltímetro.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL

Un segundo tipo de propulsor de plasma se denomina **PROPULSOR DE PLASMA PULSADO** (**PPT**).

La mayoría de los PPT usan un material sólido (normalmente PTFE, más comúnmente conocido como teflón) como propulsor.

La primera etapa en la operación de PPT involucra un arco de electricidad que pasa a través del combustible, provocando la ablación y sublimación del combustible.

El calor generado por este arco hace que el gas resultante se convierta en plasma, creando así una nube de gas cargada.

Debido a la fuerza de la ablación, el plasma es impulsado a baja velocidad entre dos placas cargadas (un ánodo y un cátodo).

Dado que el plasma está cargado, el combustible completa efectivamente el circuito entre las dos placas, permitiendo que una corriente fluya a través del plasma.

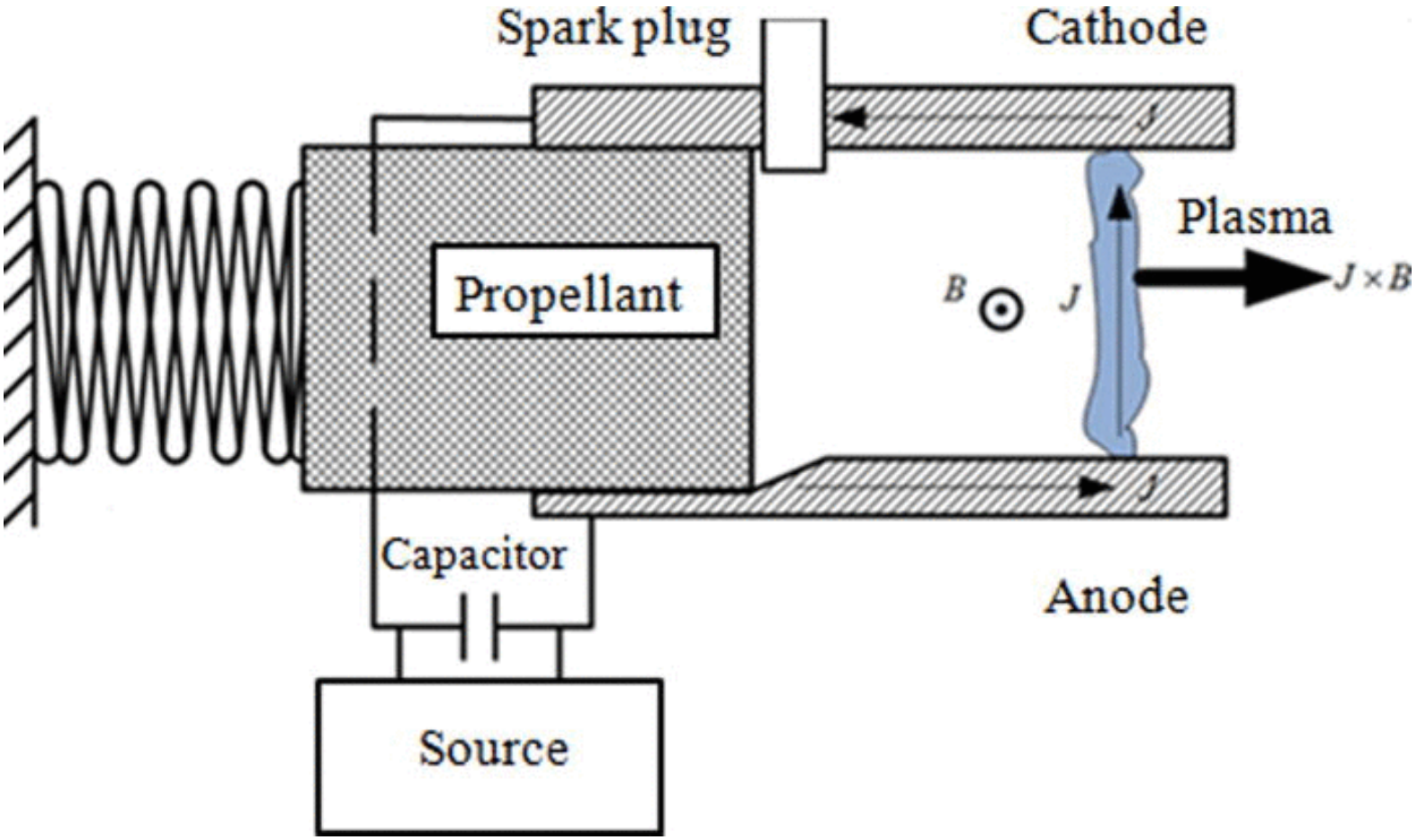
Este flujo de electrones inmerso en campo electromagnético ejerce una fuerza de Lorentz sobre el plasma, acelerándolo fuera del escape del PPT a alta velocidad.

La pulsación se produce debido al tiempo necesario para recargar las placas después de cada ráfaga de combustible y el tiempo entre cada arco.

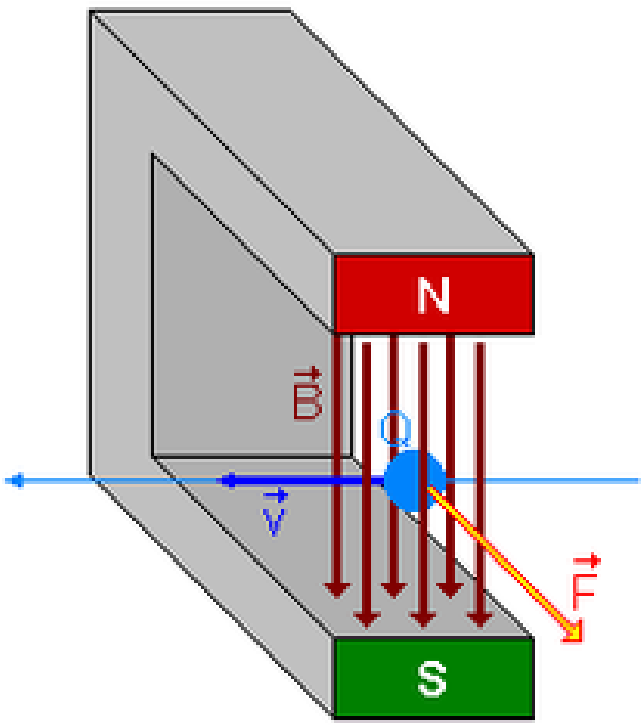
La frecuencia de pulsación es normalmente muy alta, por lo que genera un empuje casi continuo y suave; si bien el empuje es muy bajo, un PPT puede funcionar continuamente durante largos períodos de tiempo, lo que produce una gran velocidad final.

La energía utilizada en cada pulso se almacena en un condensador y al poder variar el tiempo entre cada descarga del capacitor, el empuje y el consumo de energía del PPT se pueden variar, lo que permite un uso versátil del sistema.

PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



Ley de Lorentz , Fuerza de Lorentz



Cuando una carga penetra en un campo magnético (B) , con una velocidad (v) , esta se ve sometida a una fuerza (F)
Donde :

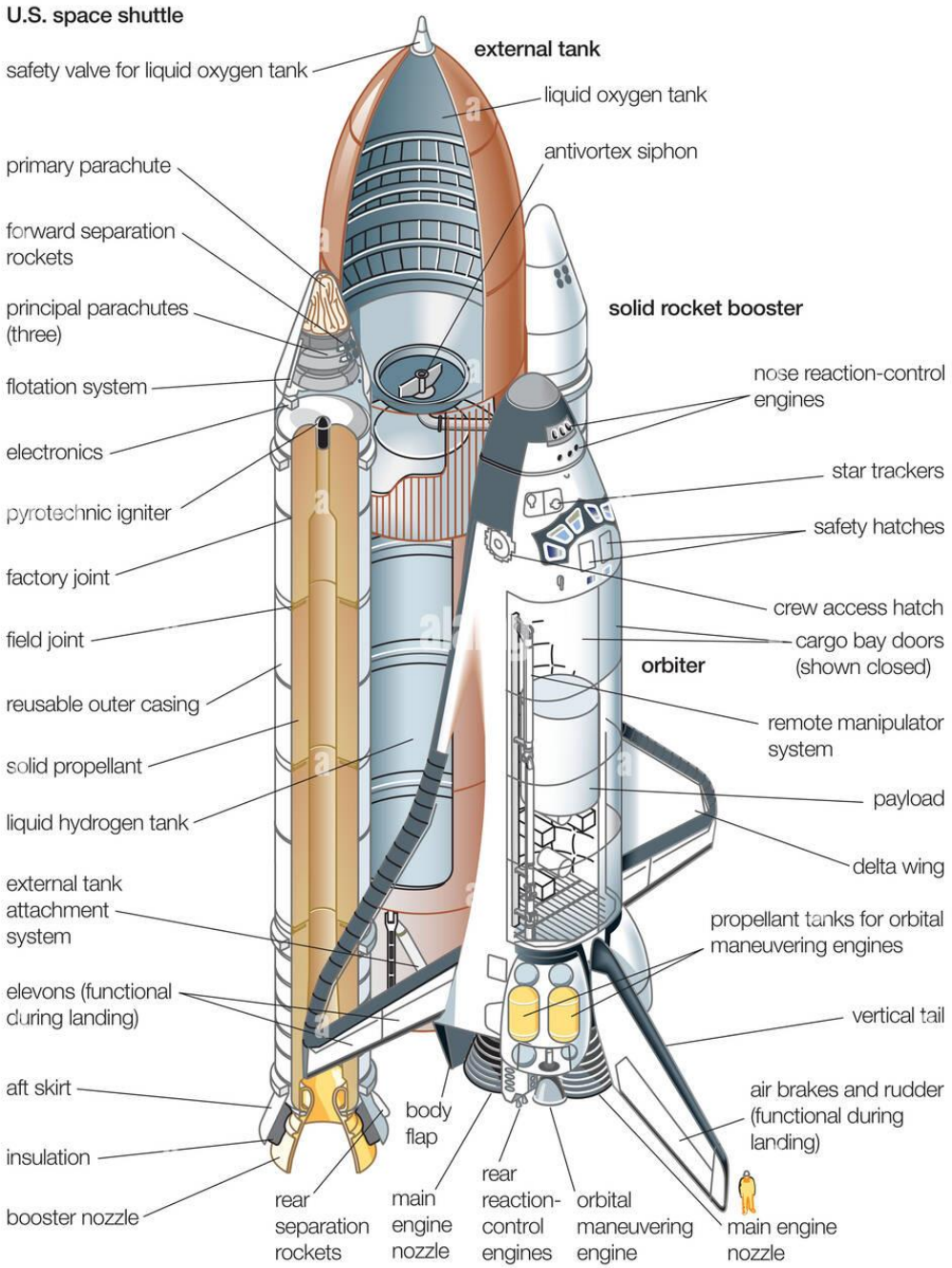
$$\overrightarrow{F} = q \cdot \vec{v} x \vec{B}$$

F es la fuerza en Newton (N)
q la carga de la partícula en Culombios (C)
v la velocidad de la partícula en (m/s)
B el campo magnético es Teslas (T)

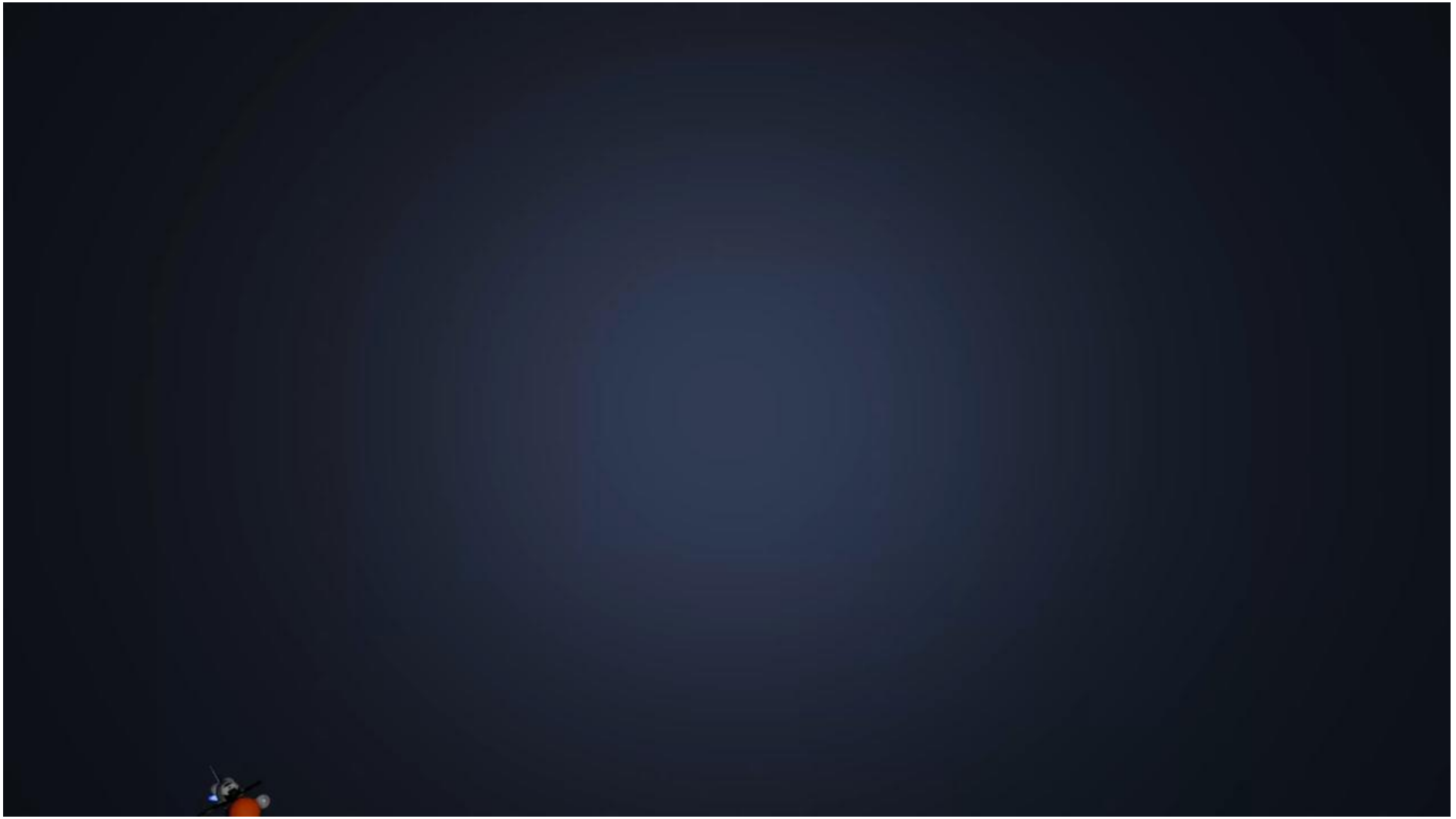
PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL



PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL





PROPULSOR LANZADOR ESPACIAL