

FUNDAMENTOS DE *MOTORES EN* *MODELISMO ESPACIAL*



¿Cómo funciona un motor cohete de modelismo espacial y cohertería deportiva?

El motor cohete es el dispositivo insertado en un cohete de modelismo espacial, para impartir una fuerza de empuje e impulsarlo en el aire. Un motor cohete en cohertería deportiva y modelismo espacial es una versión en miniatura de los motores de propelente sólido utilizados por profesionales. Estos contienen una masa de **propelente**, un elemento de **delay o retardo** y una **carga de eyección**. Estos producen su empuje de acuerdo con la **Segunda Ley del Movimiento de Newton**. En esta guía explicaremos más sobre los motores cohete en el modelismo espacial y la cohertería deportiva, y en qué se diferencian de los cohetes utilizados por la NASA y otras agencias espaciales.

La **figura 1** muestra una vista en corte de un motor cohete típico de **pólvora negra (BP)**. Los componentes principales son: carcasa, tobera, grano de propelente, retardo, carga de eyección y tapón de arcilla. Cada componente tiene una función importante que debe explicarse.

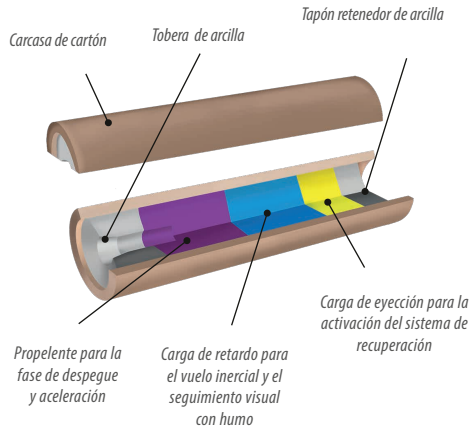


Fig.1 - Vista en corte de un motor cohete típico de pólvora negra

La **carcasa o case** es el componente estructural del motor, es la encargada de mantener todos los componentes juntos. En los motores cohete de modelismo espacial, esta carcasa puede estar hecha de papel o cartón de alta resistencia. A medida que los motores aumentan de tamaño, la carcasa debe estar fabricada con materiales más resistentes. Muchos motores, como los **composite**, están hechos de materiales plásticos de alta resistencia y, a medida que los motores se hacen más grandes, se utiliza aluminio e incluso grafito y polímeros epóxicos. Estos materiales tienen mayor resistencia que un tubo de papel o cartón.

La **tobera** cumple dos funciones. En primer lugar, es el dispositivo ubicado en la parte inferior del motor, y que mantiene la presión dentro de la carcasa de este. Sin ella, la presión dentro de la carcasa sería demasiado baja, y los gases no se verían obligados a salir a alta velocidad, por lo tanto, el empuje sería muy bajo. La otra función de la tobera es acelerar el gas que sale del motor. La tobera tiene una forma muy definida que guía los gases, y esto hace que se aceleren a medida que viajan a través de ella. Los gases de combustión solo se pueden acelerar hasta cierto punto, por lo que el diseño de la tobera debe asegurar que alcancen su velocidad máxima cuando abandonen el motor.

El grano de **propelente** es la sustancia química que se quema dentro del motor. Al arder, genera un gran volumen de gases a muy altas temperaturas. Cuando está confinado dentro de la carcasa, la presión del gas comienza a aumentar dentro de ella, por eso la carcasa también es conocida como **cámara de combustión**. Cuando los gases salen a altas velocidades por la tobera, produce empuje. Mientras haya propelente para quemar, y mientras la presión de la cámara se mantenga lo suficientemente alta dentro de la carcasa, el motor producirá empuje. Si la presión de la cámara cae por debajo de cierto nivel, como cuando el propelente se consume por completo, el empuje producido por el motor se detendrá. La **figura 2** muestra un perfil típico de vuelo de un cohete y cómo este depende de lo que está pasando dentro del motor.

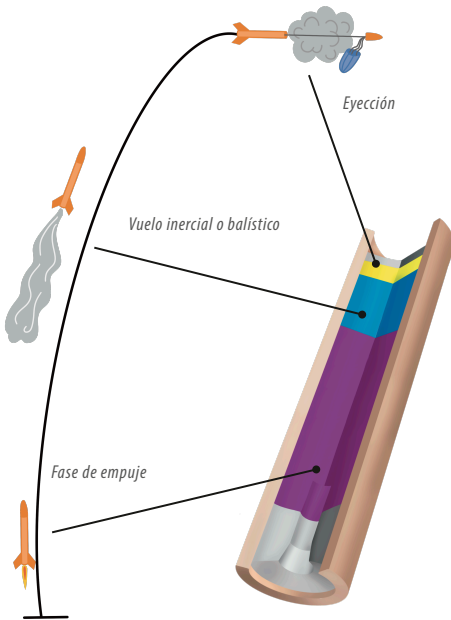


Fig.2 - Fases típicas del vuelo de un cohete en modelismo espacial

El **retardo o delay** (a veces también llamado elemento de retardo) es otra sustancia química que se quema dentro del motor. La diferencia entre el retardo y el propelente es que el retardo se quema más lentamente, generando menos gases y una temperatura más baja. Debido a estas dos condiciones, la presión dentro del motor no es suficiente para que el gas alcance una presión crítica para generar empuje. El objetivo principal del retardo es permitir que el cohete siga ascendiendo durante un período de tiempo predeterminado antes de expulsar el paracaídas por la parte superior. Si el motor no tuviera este elemento de retardo, el cohete no viajaría muy alto en el aire, y estaría viajando a alta velocidad cuando se expulsa el paracaídas. Esto desgarraría el paracaídas u otro sistema de recuperación usado, y el cohete aterrizaría a alta velocidad, lo que probablemente lo dañaría.

El beneficio adicional de quemar una sustancia como el retardo dentro del motor es que produce humo. Este humo facilita el seguimiento visual del cohete mientras se eleva en el aire. En los cohetes pequeños, si no hubiera humo, se perderían fácilmente.

El segundo propósito del elemento de retardo es actuar como un tabique delantero en el motor para retener los gases generados por el propelente. Si la presión no estuviera contenida por el elemento de retardo, el motor no produciría ningún empuje.

La **carga de eyección** se utiliza para expulsar el paracaídas del cohete. Se enciende con la última cantidad de *delay* quemado, y está diseñado para quemarse muy rápidamente, de modo

que cuando se enciende, la presión dentro del motor aumenta súbitamente, y mucho más rápido que cuando el propelente estaba ardiendo.

El **tapón de arcilla** está diseñado para mantener la carga de eyección en su lugar, pero no para mantener la presión en el motor. Por lo tanto, el tapón de arcilla se desprende fácilmente debido al aumento de presión dentro del motor. Una vez que ese tapón se desprende, los gases dentro del motor se expanden hacia su extremo superior, ya que es más fácil ir en esta dirección que a través de la tobera, que es más pequeña. Luego, los gases de combustión ingresan al cuerpo del cohete (fuselaje), y lo presurizan hasta que expulsan así el cono de la nariz y el paracaídas.

Los motores cohete usados en el modelismo espacial y en la cohetaría deportiva se diferencian de los cohetes sólidos de la NASA en solo un par de aspectos. Primero, dado que los cohetes de la NASA no necesitan cargas de eyección, tampoco necesitan elementos de retardo ni tapones de arcilla. Básicamente, tienen solo tres componentes: la tobera, el grano de propelente y la carcasa o *case*. Otra diferencia está en los materiales de los que están fabricados. Como el costo no es tan "importante", utilizan formulaciones de propelentes de alta tecnología y carcasas y toberas súper resistentes.

La cantidad de empuje creado está controlada por la cantidad de gas y, por lo tanto, la presión que se genera dentro de la carcasa. En general, cuanto más rápido se consuma el propelente, más empuje se creará.

Esto se puede controlar de dos maneras. En primer lugar, la composición química del propelente se puede utilizar para controlar la velocidad con la que se quema. En segundo lugar, el propelente arde solo en la superficie expuesta del material, por lo que si hay más área expuesta, entonces se pueden generar más gases cuando se quema. A esta configuración normalmente se le conoce como **geometría del grano**.

La **figura 3** muestra dos de las configuraciones de grano más comunes, y cómo su geometría afecta el empuje del motor.

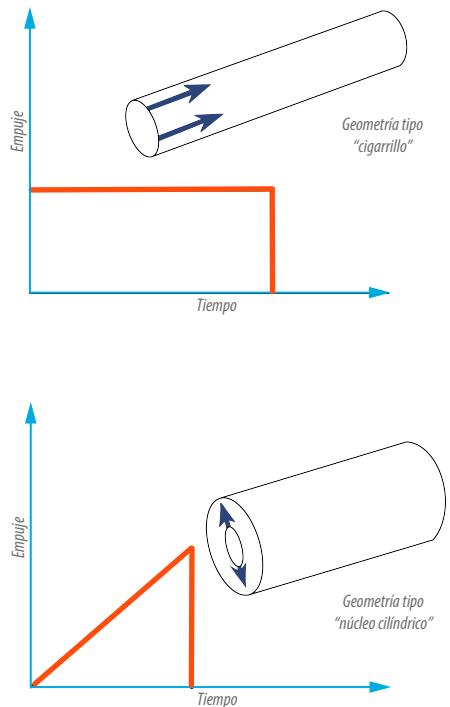


Fig.3 Perfiles de empuje según geometría del motor

La geometría de grano más simple es el grano conocido como tipo "cigarrillo". Como sugiere el nombre, el propelente arde de un lado a otro, como un cigarrillo encendido. La cantidad de gases de combustión producidos será uniforme de principio a fin, por lo que el nivel de empuje permanecerá constante desde el encendido (ignición) hasta el final de la combustión.

La siguiente configuración de grano más común es la conocida como tipo "núcleo cilíndrico". En este grano, se perfora un agujero circular a lo largo del propelente, de modo que el área de combustión expuesta quede en el interior del cilindro que se forma. A medida que se quema el propelente, el área superficial aumenta, por lo que aumenta también la cantidad de gases generados. Esto produce un aumento proporcional en el empuje. Los motores con núcleo cilíndrico generalmente utilizan propelentes que tienen velocidades de combustión bajas, de modo que la gran superficie expuesta produce una gran cantidad de gases, creando suficiente presión para generar así el empuje. También es posible utilizar otras configuraciones para adaptar el nivel de empuje deseado en un motor cohete, o hacer combinaciones de diferentes geometrías en un mismo grano para hacer que el empuje varíe con respecto al tiempo, limitando así la cantidad de tensión a la que está sometido el cohete durante el vuelo. Por ejemplo, en los motores típicos de pólvora negra usados en modelismo espacial, la configuración del grano comienza como un tipo "núcleo cilíndrico", y luego pasa a una geometría tipo "cigarrillo". La razón de esto es producir una gran cantidad de gases (y por ende un gran empuje) en el despegue, para que el cohete acelere rápidamente a una velocidad en la que las aletas se vuelvan efectivas para controlar su dirección, y luego se nivele el empuje para que el cohete no vuele demasiado rápido, evitando así que las fuerzas aerodinámicas desprendan sus aletas. La **figura 4** muestra una curva de empuje vs tiempo típica de los motores cohete de pólvora negra.

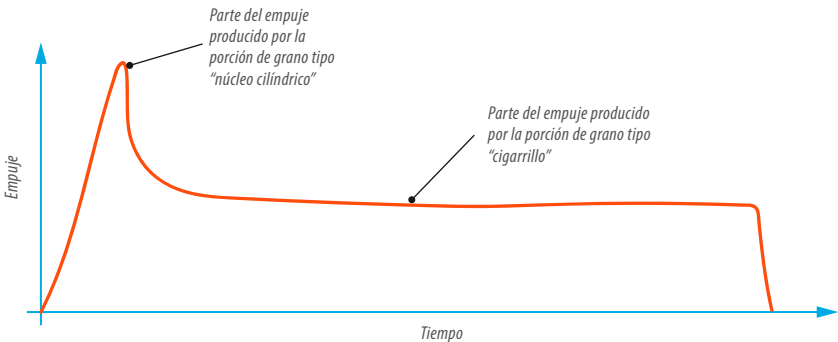


Fig.4 - Curva "Empuje vs tiempo" producida por un motor típico de pólvora negra.

Como ya hemos mencionado, existen dos tipos básicos de propelentes en los motores usados en el modelismo espacial. Estos son la **pólvora negra** y el **composite**. La pólvora negra es muy común en los motores pequeños, principalmente porque su producción en grandes cantidades es muy económica. Reconocerás un motor de pólvora negra por su carcasa de papel o cartón. Los principales ingredientes de este tipo de propelente son el nitrato de potasio, el azufre y el carbón.

La pólvora negra tiene varios inconvenientes, el principal es su bajo nivel de energía por peso de propelente utilizado (esto es un concepto conocido como **Impulso específico**). Otro inconveniente de la pólvora negra es que es sensible a los cambios de temperatura y humedad. Si almacena los motores de sus cohetes donde la temperatura y la humedad cambian constantemente, el propelente puede expandirse y contraerse, esto puede provocar grietas en la geometría del grano, lo que aumentará la superficie expuesta, y el efecto principal es que el motor se desintegra cuando se enciende. Por lo que siempre debemos almacenar los motores donde haya poca o ninguna variación de temperatura o humedad.

Los motores de pólvora negra también son sensibles a los golpes. Si deja caer un motor al suelo, el propelente podría agrietarse, y al igual que en el caso anterior, esto podría provocar que el motor se desintegre al encenderlo. Es por esto que cuanto más grandes son los motores de pólvora negra, más susceptibles son a fallas causadas por su fabricación. Es por eso que no se ven muchos motores de este tipo más grandes que los tipos "D" o "E", pues los más grandes tienen problemas mucho mayores de confiabilidad.

Un motor composite es aquel que utiliza una formulación de propelente curada químicamente para lograr una relación impulso-masa total más alta. Normalmente, la energía por masa de propelente quemado es al menos el doble que la de los motores de pólvora negra. Esto significa que la misma masa de propelente composite tendrá el doble de impulso total que el de un motor de pólvora negra.

Esta es la razón por la que se puede fabricar un motor "E" composite con las mismas dimensiones físicas que un motor "D" de pólvora negra.

Físicamente, los motores composites están empaquetados principalmente en carcasa de plástico. Todos los motores recargables utilizan propelentes composite, que se ensamblan en una carcasa especial de aluminio. Los granos de propelente, que deben sustituirse entre vuelos, están fabricados dentro de un tubo de cartón y se venden por separado de la carcasa especial de aluminio.

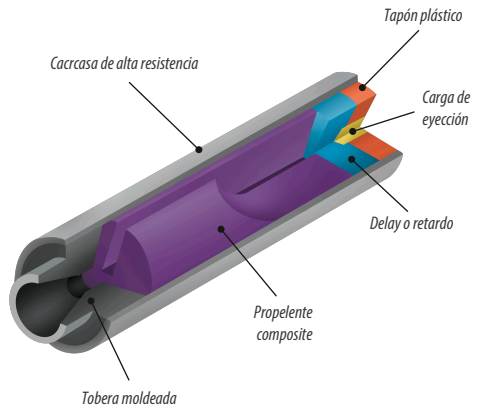


Fig.5 - Vista en corte de un motor cohete típico composite

El principal inconveniente de los motores composite es que su fabricación es más costosa. Esto significa que pagará más por volar un cohete con motores composite, sin embargo, este tipo de motores son mucho más estables que los de pólvora negra y pueden soportar cambios de temperatura y humedad. El propelente composite suele tener una consistencia parecida a la goma, y no es sensible a los golpes si se cae.

Los motores *composite* también suelen encenderse de forma diferente a los motores de pólvora negra. Deben encenderse desde la parte superior del motor, por lo que casi todos tienen un canal o puerto hueco a través del centro del motor que permite insertar el encendedor a través de la tobera para encender la parte superior del motor.

Los diferentes fabricantes varían los productos químicos utilizados para fabricar motores composite. La principal diferencia es el tipo de oxidante utilizado. Algunos prefieren el perclorato de amonio y otros el perclorato de potasio. También hay una variedad de otras diferencias, y todas ellas pueden afectar la forma en que se quema el motor, el color de la llama y el color del humo que producen.

La mayoría de los motores cohete están diseñados para usarse una sola vez. Normalmente, se fabrican con una carcasa de papel o plástico. Se ha diseñado un tipo relativamente nuevo de motor cohete para ser reutilizado y viene con una carcasa de aluminio. Estos motores, llamados motores recargables, son rentables solo para ser usados en cohetes de mayor potencia, aunque también están disponibles en tamaños más pequeños.

Preguntas:

1. Describe para qué sirve cada parte del motor cohete. (Propelente, carcasa, tobera, retardo, carga de eyección, tapón de arcilla)
2. Si un cohete no tuviera tobera, ¿produciría algún empuje útil? Explicar.
3. ¿Por qué los cohetes sonda, utilizados para investigaciones a grandes altitudes, no tienen elementos de retardo?
4. ¿Cuáles son las características de un motor cohete de tipo "cigarrillo"? ¿Cuáles son sus ventajas y desventajas?
5. ¿Cuáles son las diferencias entre un motor de cohete de pólvora negra y uno composite?

Código de Seguridad en Modelismo Espacial

ASOCIACIÓN NACIONAL DE COHETERÍA

Versión básica - Rev. Agosto 2012



1. Materiales - Siempre se deben usar materiales livianos y partes no metálicas para la fabricación del fuselaje, la nariz y las aletas del cohete.

2. Motores - So lo se deben usar motores certificados y comercialmente disponibles. Nunca alterar ni modificar de ninguna manera los motores. Además, solo deben ser usados para actividades de modelismo espacial.

3. Sistema de Ignición - Siempre se deben lanzar los cohetes usando un sistema eléctrico con sus respectivos ignitores. El sistema de lanzamiento debe tener un interruptor de seguridad, conectado en serie con el pulsador de lanzamiento, y que permita regresar a la posición "off" después de liberar el cohete.

4. Fallas - Si el cohete no enciende cuando se presiona el botón del sistema eléctrico de lanzamiento, se debe quitar la llave de seguridad o desconectar la batería, y se debe esperar mínimo 60 segundos para acercarse de nuevo al cohete.

5. Seguridad en el lanzamiento

- Hacer un conteo regresivo antes de cada lanzamiento. Asegurarse que todas las personas presentes estén poniendo atención y estén a una distancia mínima de 5 metros del punto de lanzamiento (para motores tipo "D" o menores). Para motores de mayor empuje, las personas deben estar a una distancia mínima de 10 metros.

Si existe incertidumbre sobre la seguridad o estabilidad de un cohete que aún no se ha probado, se debe chequear la estabilidad antes de lanzarlo, y solo se debe volar después de advertirle a los espectadores y que estén a una distancia segura. Cuando se esté realizando una actividad con lanzamientos simultáneos de más de 10 cohetes, los espectadores deben ubicarse a una distancia de 1,5 veces la altura máxima esperada de uno de los cohetes lanzados.

6. Lanzador - Lanzar los cohetes desde una varilla de lanzamiento, torre o riel que tenga un ángulo máximo de 30° con respecto a la vertical, para asegurar así un vuelo recto. La plataforma de lanzamiento debe contar con un plato deflector para prevenir que los gases de escape del motor quemen el suelo. Para prevenir lesiones oculares accidentales, la varilla de lanzamiento debe estar ubicada a la altura de los ojos. Si está por debajo de este nivel, debe ponerse en su parte superior la tapa de seguridad cuando no esté en uso.

7. Tamaño - Los cohetes no deben pesar más de 1500 gramos en el despegue, y no deben contener más de 125 gramos de propelente o producir más de 320 N-s de impulso total.

8. Seguridad en Vuelo - Los cohetes no se deben lanzar apuntando a ningún objetivo, dentro de las nubes o cerca de aviones. Y nunca debe ponerse como carga útil ningún explosivo o sustancia inflamable.

8. Sitio de Lanzamiento - Los cohetes siempre deben lanzarse en exteriores, en áreas abiertas con las dimensiones mínimas que se muestran en la siguiente tabla. Debe haber condiciones climáticas favorables con vientos no mayores a 30 km/h. Asegurarse de que no hay pastizales secos cerca al sitio de lanzamiento, y que el sitio no presenta riesgo de incendios.

Dimensiones del sitio de lanzamiento

Impulso Total (N-s)	Tipo de motor	Dimensiones mínimas (m)
0,00 - 1,25	1/4A, 1/2A	15
1,26 - 2,5	A	30
2,51 - 5	B	60
5,01 - 10	C	120
10,01 - 20	D	150
20,01 - 40	E	300
40,01 - 80	F	300
80,01 - 160	G	300
160,01 - 320	H	450

9. Sistema de recuperación - Los cohetes siempre deben tener un sistema de recuperación (como un paracaídas) que le permita retomar de manera segura y sin sufrir daños para que pueda volar de nuevo. Este sistema debe estar siempre protegido con papel ignífugo o algún material resistente al fuego para su eyección.

10. Seguridad en la recuperación

- Nunca se debe intentar recuperar el cohete cuando caiga en líneas de alta tensión, árboles altos u otros lugares peligrosos.

PARA MAYOR
INFORMACIÓN VISITA:

www.nar.org
www.cipsela.org

Más información:



      @cipselacorp

CIPSELA.ORG 