

CURSO DE COHETERIA

Primera Lección

Introducción :

Desde niños quisimos hacer volar objetos, con una hoja de papel construíamos aviones , o también nuestros hermosos barriletes y ni que hablar de las cañitas voladoras durante las fiestas de navidad y fin de año. Todo esto construido con un amor a la ciencia del vuelo, que ya se vislumbra en ese niño el nacimiento de una disciplina Técnica-Científica en su vida, este es el futuro constructor de los Cohetes, ingenios que surcaran el cielo terrestre y el espacio exterior para muchas finalidades.

Este curso esta dirigido a todos aquellos que se identifiquen con este niño del que hablo .

Ahora tengo que hacer un pedido, por favor que nadie haga ninguna experiencia sin mi consentimiento y mi dirección, pues van a trabajar con combustibles y las precauciones deben ser extremas.

Observación: Menores de edad abstenerse de la práctica, sin la vigilancia y consentimiento explícito de los padres.

1) Sistemas de Propulsión de los Cohetes

El concepto de carburante nos recuerda inmediatamente todo lo referente a los hidrocarburos, que son los constituyentes de las naftas y combustibles, pero ahora debemos darles un concepto mas amplio.

Todos los motores clásicos necesitan del aire atmosférico para funcionar, en cambio el cohete, por su principio mismo, no necesita del aire atmosférico para funcionar, este lleva consigo su propio oxidante. Por lo tanto, un carburante para cohetes se presenta bajo el aspecto de una fuente de energía termoquímica, la cual puede provenir ya sea de la acción de un reductor sobre un oxidante, ya de la descomposición catalítica de un cuerpo. A una fuente de este tipo se la denomina “propergol”.

Cada uno de los constituyentes es un “ergol” ,este es un término francés, que es equivalente a propulsante.

Cuando los dos ergoles son almacenados en depósitos separados, en estado líquido , se esta hablando de un “propergol líquido”, por ejemplo oxígeno líquido e hidrógeno.

También se puede hablar de “monoergol”, cuando los elementos de liberación de energía están contenidos completamente en el interior de una misma molécula, por ejemplo el óxido de etileno y del nitrometano.

Esta distinción la usaremos en los propergoles sólidos, por ejemplo en los bibásicos como los que tienen ácido nítrico y nitrocelulosa, este es un verdadero

monoergol pudiendo cada uno de los constituyentes quemarse sin la ayuda de una fuente de oxígeno exterior. En cambio los propergoles compuestos son una mezcla de un cuerpo oxidante muy pulverizado y este sumergido en una sustancia plástica.

Una de las diferencias entre los propergoles líquidos y sólidos es que los primeros se pueden encender y apagar a voluntad, en cambio los segundos una vez encendidos no se pueden apagar.

En la imagen observamos un corte esquemático de un motor cohete en donde se observa la cámara de combustión y la tobera de Laval, donde P y T son la presión y la temperatura en el interior de la cámara de combustión, en la garganta de la tobera y en el exterior.

Cualquiera que sea la naturaleza de los constituyentes iniciales del propergol, la transformación de la energía química en energía cinética se efectúa siempre siguiendo el mismo proceso. En una primera fase, el propergol se quema a presión constante en una cámara de combustión. Los gases resultantes se expanden dentro de una tobera convergente-divergente (tobera de Laval) el cual suministra el “empuje”. El empuje puede ser considerado como la resultante de todas las fuerzas de presión que operan sobre el cohete, a las cuales se agrega la variación de la “cantidad de movimiento”, esta se define como el producto de la masa por la variación de la velocidad :

$\Delta p = m \cdot (v_f - v_o)$, donde Δp es la variación de la cantidad de movimiento, m la masa, v_f y v_o son la velocidad final y la velocidad inicial respectivamente.

Las fuerzas que actúan tienen dos orígenes diferentes, una la presión atmosférica, que se ejerce sobre la superficie exterior de la envoltura y la otra, la presión de los gases contenidos en la cámara de combustión, que se ejerce sobre la superficie interior de la envoltura. Si el cohete está herméticamente cerrado, la suma de las fuerzas de presión interiores será nula, lo mismo ocurre con la suma de las fuerzas de presión exteriores.

Esta condición no se realiza debido a que el cohete se comunica con el espacio circundante por una tobera, el equilibrio de las fuerzas consideradas no es ya el mismo.

La expresión general del empuje de un cohete es:

$$F = qV_s + A_c (p_s - p_a)$$

donde:

q : es la masa descargada por unidad de tiempo

V_s : velocidad de eyección del gas

A_c : sección de salida de la tobera

p_s : presión de salida

p_a : presión atmosférica

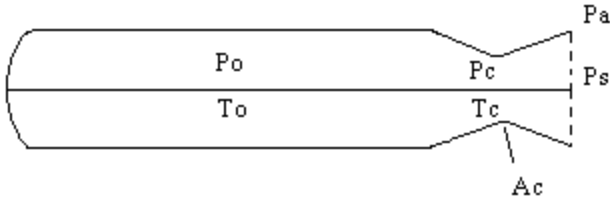
Cuando $p_s = p_a$ se dice que la tobera está “adaptada”; el empuje en este caso es máximo. Así se explica fácilmente por que el rendimiento de un cohete es mejor en el vacío que en la atmósfera.

Entonces la fórmula nos queda:

$$\dot{F} = q \cdot V_s$$

En otras palabras esto significa que el empuje transmitido al cohete por unidad de masa del propelente es igual a la velocidad de eyección del gas :

$$F/q = V_s$$



Ahora vamos a dar una serie de hipótesis sobre la naturaleza de los gases:

La composición de la mezcla no ha variado durante la expansión en la tobera, la mezcla se ha “congelado”, estos obedecen a la siguiente ley:

$$P/\rho = r T \quad \text{donde } r \text{ es la constante específica de los gases y } \rho \text{ su densidad.}$$

Se admite que los calores específicos del gas son invariables con la temperatura y la presión, y que el flujo es permanente e isoentrópico, es decir, adiabático y sin pérdidas:

$$P \rho^{-\gamma} = \text{cte}, \quad \text{de donde se deduce:}$$

$$T_s/T_o = (P_s/P_o)^{(\gamma-1)/\gamma}$$

El subíndice *o* son las condiciones en la cámara de combustión y el índice *s* a las condiciones de salida y γ es la razón de los calores específicos.

Al ser la tobera convergente-divergente, la velocidad del flujo del gas en la garganta, es igual a la velocidad local del sonido, este depende solamente de la temperatura de los gases considerados.

Ahora tenemos todos los elementos para calcular la velocidad de eyección de los gases de combustión.

Esta es:

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M} T_o \left[1 - \left(\frac{P_s}{P_o} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]}$$

Donde :

γ es la razón de los calores específicos

R , la constante universal de los gases perfectos

M , la masa molecular media de los gases eyectados

T_o , temperatura final de la combustión

La ecuación anterior es la llamada de Saint-Venant, y es muy útil para comprender la importancia relativa de los factores que pueden modificar la velocidad de eyección.

Parámetros característicos :

Los parámetros que caracterizan a un combustible dado es:

1. Consumo específico G_s o su inversa, el impulso específico I_s : El consumo específico es la razón del peso del propergol utilizado por unidad de tiempo sobre el empuje. Dicho de otra manera, es el peso de carburante necesario para mantener un empuje de 1 kgf (kilogramo fuerza) durante un segundo. En cambio el impulso específico es el tiempo durante el cual un consumo de carburante de 1kg ejercerá un empuje de 1kgf, por lo tanto se valora en segundos , este valor es muy importante para la comparación de los diferentes sistemas de reacción.

2. Velocidad característica c^* : Es el producto de la presión en la cámara y la sección de la garganta por el flujo de masa de la tobera.

$$c^* = \frac{P_c A_c}{\dot{m}}$$

3. Factor de empuje C_F : Es igual a la relación del empuje sobre el producto de la presión en la cámara por la sección de la garganta.

$$C_F = \frac{P}{A_c P_c}$$

Para estos tres parámetros es necesario conocer las características de los gases de combustión.

Dr. Raúl Roberto Podestá
Coordinador Sección Cohetería Civil
LIADA - Liga Iberoamericana de Astronomía
rpodesta@cpia.org