

## CURSO DE COHETERÍA CIVIL: LECCIÓN NRO 13

### Propergoles Líquidos

#### II) Combustibles:

Durante mucho son los combustibles usados, pero la mejor alternativa parecería ser el hidrógeno a causa de su elevada temperatura de combustión que puede alcanzar:  $4720^{\circ}\text{C}$  con el flúor y  $3240^{\circ}\text{C}$  con el oxígeno. Además con el oxígeno líquido tiene la gran ventaja de dar gases de eyección cuya masa molecular es  $5/2$  veces más liviana que la de las moléculas de gas carbónico que se encuentra en la mayoría de los productos de la combustión de los carburantes clásicos, lo que implica un aumento notable de la velocidad de eyección. Debido a su baja densidad,  $0,07\text{ g/cm}^3$ , tuvo que recurrirse a la implementación de muchas técnicas para su uso, pero afortunadamente se lo pudo emplear en el motor XLR 175 que impulsó el gigante "Centaur".

a) Boranos: Las enormes dificultades encontradas en la utilización de hidrógeno puro como combustible incitaron a los técnicos a buscar elementos que, combinándose con el hidrógeno, fueron capaces de mejorar su baja densidad, pero conservando sus cualidades energéticas. Esta búsqueda llevó a considerar al boro, es un metaloide trivalente, pero presenta una tendencia neta a la tetravalencia por fijación de un átomo dador, que, al completar su octeto de valencia por aporte de dos electrones, le confiere la coordinación 4. La existencia de esa valencia suplementaria inestable se manifiesta en las combinaciones hidrogenadas por la formación de dos series de hidruros o boranos:  $\text{B}_n\text{H}_{n+6}$  y  $\text{B}_n\text{H}_{n+4}$ , los compuestos de la primera serie no tienen interés para nuestro tema, pero tres de la segunda serie si, estos son:  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{B}_5\text{H}_9$ ,  $\text{B}_{10}\text{H}_{14}$ , o sea: diborano, pentaborano y decaborano, respectivamente, forman combustibles de poder calorífico muy elevado, muy convenientes para la propulsión a reacción.

Un inconveniente serio es que la diferencia de temperatura de congelación y la temperatura de ebullición es bastante pequeña para la mayoría de los boranos; ello puede constituir un severo impedimento para el empleo de estos combustibles en las máquinas destinadas a cruzar el espacio en condiciones extremadamente variadas, por lo tanto los derivados alcoholados del pentaborano y del decaborano, son los convenientes para usar, estos tienen un intervalo de temperatura mayor.

b) Hidrocarburos: Estos son los clásicos de los motores de explosión, de combustión interna y de los turborreactores, y también muy apreciados para la propulsión de los cohetes. La destilación fraccionada del petróleo bruto da nacimiento a toda una serie de productos que se escalonan por orden de densidad creciente, desde las naftas más livianas hasta la brea.

Para los cohetes, se ha obtenido un querosene liviano, que tiene muy buenas cualidades físicas y químicas, variando mucho esto con el grado de refinación.

c) Compuestos Orgánicos: La dimetil hidrazina asimétrica y la anilina pertenecen a la clase de aminas que reaccionan espontáneamente con ácido nítrico.

Los alcoholes han perdido su interés desde que han sido sustituidos por los hidrocarburos, cuyo poder calorífico es muy superior. Por ejemplo el alcohol etílico, al quemar en el oxígeno, libera a lo sumo 2080 kcal/kg, mientras que en las mismas condiciones el querosene libera 2350 kcal/kg.

### III) Monoergoles:

Los monoergoles (del griego monos: solo) toman la energía de reacción de un solo cuerpo o de una mezcla de cuerpos que contienen a la vez el combustible y el oxidante. Prácticamente, los monoergoles se dividen en tres grupos diferentes:

- i) El primer grupo comprende los compuestos cuya molécula contienen a la vez el combustible y el carburante necesario para su combustión. Es el caso del óxido de etileno.
- ii) En el segundo grupo se encuentran las sustancias en las cuales la descomposición resulta de un ordenamiento inestable de los átomos en el interior de las moléculas. Ejemplo: Agua Oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).
- iii) El tercer grupo reúne las mezclas de oxidantes y combustibles que no son hipergólicas.

Los monoergoles son productos muy inestables y difícil de almacenar. Tienen mucha tendencia a detonar durante la combustión que no siempre es fácil de controlar, por lo tanto debemos recurrir a productos relativamente estables, pero sus performances son siempre menores.

El agua oxigenada, el nitrometano, el óxido de etileno y el nitrato de isopropilo han sido objetos de realizaciones prácticas.

Nitrometano:  $\text{CH}_3\text{NO}_2$ , es un líquido estable a la temperatura ambiente a la presión normal, tiene una densidad de 1,13.

Para lograr el encendido es necesario introducir una sustancia autoinflamable.

Óxido de Etileno:  $\text{O}(\text{CH}_2\text{CH}_2)$ . Líquido a la presión atmosférica, puede descomponerse para dar origen a una mezcla de gases compuestos principalmente de óxido de carbono, metano, hidrógeno y etileno.

Es muy tóxico.

Nitrato de Isopropilo:  $(\text{CH}_3)_2\text{CHONO}_2$ , presenta algunas analogías con el óxido de etileno. Es estable a temperaturas bajas y también, al igual que el Óxido de Etileno, con el aire da una mezcla explosiva muy peligrosa. Es mucho menos tóxico que el Óxido de Etileno y muy poco corrosivo.

#### IV) Cohetes a propergoles líquidos:

Los diferentes parámetros: Impulso Específico, Poder Calorífico, Empuje, no dependen solamente de las características termodinámicas y químicas del propergol, sino también de la manera como se quema en la cámara de combustión. Esta interdependencia del sistema Propergol – Impulsor nos conduce a considerar brevemente las unidades mecánicas que permitan un correcto funcionamiento de los líquidos.

Los dos líquidos carburantes y combustible, almacenados en recipientes separados, son enviados al generador de empuje por un sistema de alimentación; luego son inyectados en una de las extremidades de la cámara, bajo la forma de una niebla, para ser quemado allí. A partir de estos datos preliminares, se puede definir tres conjuntos de funcionamientos.

Estos son:

- 1) El grupo tanque;
- 2) El sistema de alimentación, que tiene por objeto proporcionar al generador de empuje las cantidades de propergol que le son necesarias a cada instante.
- 3) El generador de empuje, que comprende las siguientes secciones:
  - ❑ El sistema de inyección, cuya función es asegurar no solamente un consumo conveniente del propergol, sino además una relación correcta de la mezcla combustible – comburente, lo mismo que un grado de pulverización óptimo.
  - ❑ Un sistema de encendido que inicie la combustión de la mezcla vaporizada, cuando ésta no es inflamable en forma espontánea.
  - ❑ La cámara de combustión, en la cual se efectúa la conversión de la energía química contenida en el propergol en energía cinética.
  - ❑ La tobera, por donde son descargados los productos de combustión.
  - ❑ Un sistema de refrigeración, realizado generalmente por circulación de líquido a presión (por ejemplo el mismo comburente) que impide a la tobera y a la cámara de combustión alcanzar una temperatura peligrosa para su estructura.

Por lo general, a los tanques se le da forma cilíndrica o cilíndricocónica del cohete, pero en realidad la mejor configuración sería la esférica.

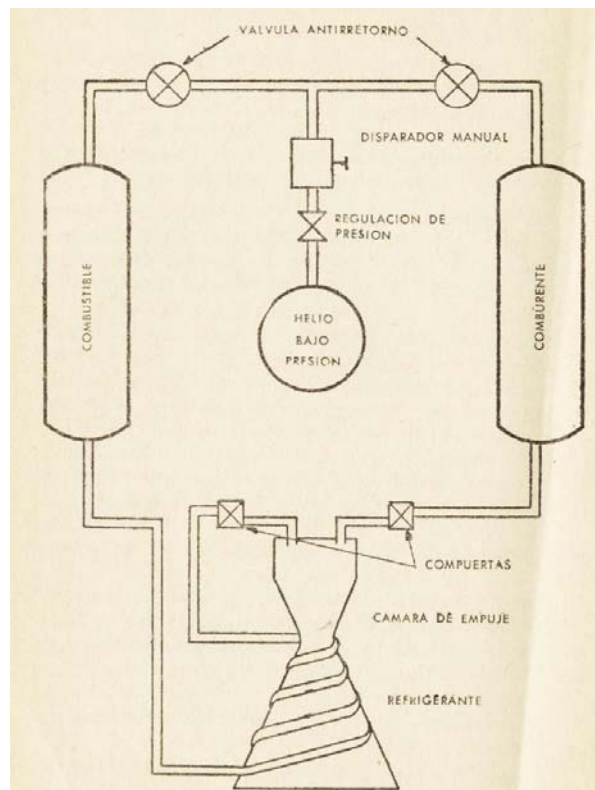
#### **Sistemas de Alimentación**

Existen dos tipos:

- a) El sistema de presión de gas
- b) El sistema de turbo bomba

a) Basado en la fuerza expansiva del gas, este sistema está constituido por un tanque esférico de alta presión que contiene ya sea aire, un gas como el nitrógeno, en el caso que uno de los líquidos reaccionara con el oxígeno o también helio.

En la figura se observa: El tanque donde está el helio bajo una cierta presión  $p$ , una válvula de regulación de presión. También se observa las válvulas antirretorno y los tanques del combustible y el comburente, están las compuertas de acceso a la cámara de combustión, la tobera y la tubería donde pasa el líquido refrigerante envolviendo la tobera.



Interesa reducir lo más posible el volumen del tanque de alta presión, sin descender por debajo de un mínimo compatible con un buen funcionamiento. La diferencia entre la presión que en ese lugar tenemos y la presión de la alimentación debe ser siempre suficientemente grande para no producir inestabilidad de presión en la cámara de combustión.

b) En un sistema de alimentación de turbo bomba, un generador de gas acciona una turbina que, a su vez, impulsa las bombas destinadas a aspirar los líquidos de sus tanques para hacerlos introducir bajo presión a la cámara de combustión. El generador de gas puede funcionar con propergoles sólidos o líquidos, preferentemente los líquidos.

Con estos artículos se ha querido dar una idea del funcionamiento de los motores cohetes a combustibles líquidos, la implementación de estos son muy costosos y requieren una altísima tecnología.

No obstante quiero mencionar que en USA se llegaron a fabricar motores de combustibles líquidos para ser usados por los cohetes civiles.

**Prof. Dr. Raúl Roberto Podestá**

**Presidente LIADA**

**Coordinador de los Cursos LIADA**

[rrpodesta@hotmail.com](mailto:rrpodesta@hotmail.com)