



SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA



**CURSO**  
INTRODUCCIÓN A  
LOS SISTEMAS ESPACIALES

# MÓDULOS

- 1. Introducción.**
- 2. Órbitas y el movimiento de los satélites.**
- 3. Sistemas espaciales (segmento espacial).**
- 4. Lanzadores.**



# MÓDULO 4: LANZADORES

➤ **1. Sitios de lanzamiento.**

**2. Requerimientos de una misión espacial y su repercusión en los sistemas de lanzadores.**

**3. Sistemas de Propulsión Espacial.**

**4. Algunos Lanzadores.**

**5. Ensamble de los lanzadores con la carga útil (nave espacial/tripulación).**

# SITIOS DE LANZAMIENTO



- |                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| 1.- Vandenberg     | 8.- Andoya        | 15.- Jiuquan     |
| 2.- Edwards        | 9.- Plesetsk      | 16.- Xichang     |
| 3.- Wallops Island | 10.- Kapustin Yar | 17.- Taiyuan     |
| 4.- Cape Cañaveral | 11.- Palmachim    | 18.- Svobodny    |
| 5.- Kourou         | 12.- San Marco    | 19.- Kagoshima   |
| 6.- Alcantar       | 13.- Baikonur     | 20.- Tanegashima |
| 7.- Hammaguir      | 14.- Sriharikota  | 21.- Woomera     |



Los sitios de lanzamiento se seleccionan de tal manera que éstos presentan condiciones excepcionales para alcanzar diversos objetivos de puesta en órbita.

**Las principales condiciones para elegir un sitio de lanzamiento son las siguientes:**

- Debe estar situado lo más próximo al ecuador, con el fin de aprovechar la velocidad de rotación máxima de la Tierra durante un lanzamiento hacia el este.
- Debe permitir un mínimo de maniobras orbitales de cambio de plano, esto es, maniobras de las diferentes etapas del lanzador y de la nave misma para alcanzar su plano orbital o de transferencia a fin de reducir el uso de combustible necesario y por consiguiente el costo.
- Por ejemplo, la base de Kourou, situada en la Guayana Francesa, la cual es el punto de lanzamiento elegido para los lanzadores Ariane, al estar tan próxima al Ecuador, permite que para satélites GEO, la inclinación de la órbita elíptica de transferencia sea muy pequeña, de entre  $5^\circ$  y  $7^\circ$ , por lo que la cantidad de masa ahorrada en combustible, para corregir la inclinación de la órbita de transferencia, sea menor que con otros lanzadores, lo que permite mayor vida útil al satélite, o bien dedicar mayor parte del satélite para equipos de comunicación.



# MÓDULO 4: LANZADORES

1. Sitios de lanzamiento.

➤ 2. **Requerimientos de una misión espacial y su repercusión en los sistemas de lanzadores.**

3. Sistemas de Propulsión Espacial.

4. Algunos Lanzadores.

5. Ensamble de los lanzadores con la carga útil (nave espacial/tripulación).



**Dentro de los requerimientos de la misión se debe considerar la sección de los vehículos lanzadores, los cuales se seleccionan partiendo de la definición y tipo de misión de la que se trate.**

**Se debe conocer:**

- 1. ¿Qué tipo de misión es?***
- 2. ¿Cómo se va a realizar la misión?***
- 3. ¿Quién la va a realizar?***
- 4. ¿Cuándo se planea lanzar? (Ventana de tiempo).***
- 5. ¿Con qué se puede lanzar?***
- 6. ¿Desde dónde? (sitio de lanzamiento).***



## ***1.- ¿Qué tipo de misión es?***

Se debe definir el tipo de misión de que se trata, ya sea tripulada o no tripulada, si se trata de una misión de comunicaciones, científica, de percepción remota, militar, etc. De esta manera se conocerá el tipo de órbita al que se desea llegar.

## ***2.- ¿Cómo se va a realizar la misión?***

Para determinar el proceso de lanzamiento, así como de operación de la misión en sí, es necesario definir el proceso de realización de la misión, proceso que involucra la etapa de lanzamiento ya que conforma parte del flujo que se sigue en el desarrollo de ésta. La respuesta se conoce una vez se definen los requisitos de la misión, se concluye el diseño conceptual (*System Design*) y se llega a la etapa del diseño preliminar (*PDR o Preliminary Design Review*).



### ***3.- ¿Quién va a realizar la misión?***

Esta etapa consiste de saber de si la misión sera realizada por órdenes civiles, comerciales, gubernamentales o militares. Dependiendo de quién realice la misión, se selecciona el tipo de lanzador, pues de igual manera existen lanzadores comerciales y gubernamentales/militares que no lanzan cualquier nave de cualquier tipo, de tal manera que existen sistemas lanzadores dedicados por cuestiones de seguridad.

### ***4.- ¿Cuándo se planea lanzar? (ventana de tiempo)***

La ventana de lanzamiento consiste en el periodo de tiempo, acotado entre dos fechas, en el que es posible realizar el lanzamiento de un vehículo espacial, para garantizar que se alcanzará el objetivo de manera satisfactoria.

Previo al lanzamiento, y considerando todas las variables astronómicas, junto con la masa y propulsión del cohete, así como la sonda o vehículo a ser lanzado,



**se calculan con toda precisión la trayectoria de vuelo, y la necesidad de encender o apagar los motores en determinados momentos. Con base en esos cálculos, se determinan las fechas de la ventana de lanzamiento.**

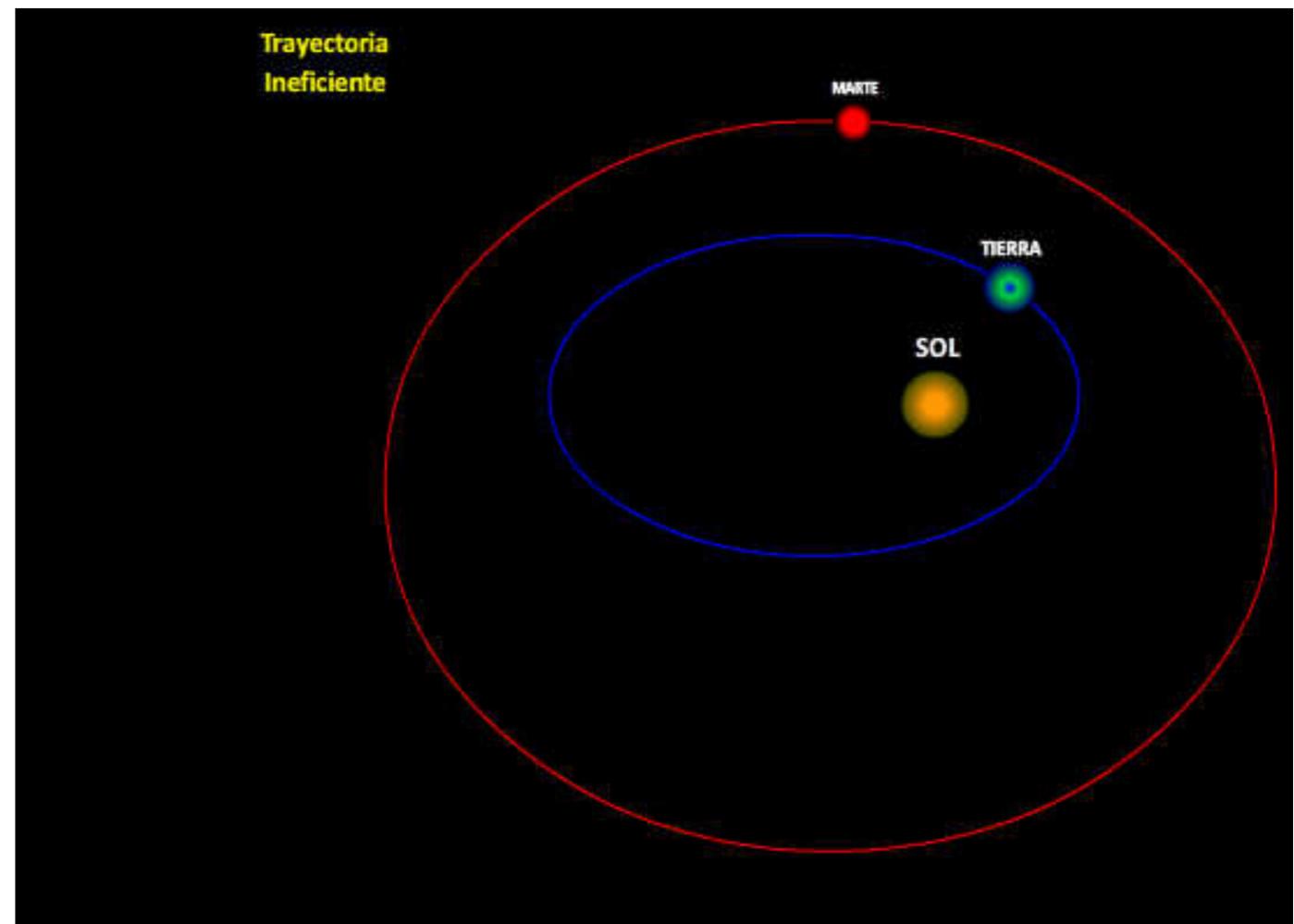
**Entre las variables para el cálculo de la ventana de lanzamiento se encuentran las variables astronómicas, es decir el movimiento del o los cuerpos que tienen influencia gravitacional considerable para la nave, vehículo espacial o proyectil, o que determinan el lugar al que hay que llegar; junto con esto, también se debe determinar los movimientos de la Terra, que es desde donde se realizará el lanzamiento. Otra variable la determina la cantidad de combustible a disposición para cambiar la trayectoria, o para aumentar o disminuir la velocidad.**

**En el caso de que se pierda una ventana de lanzamiento, es decir si el lanzamiento se retrasa por algún motivo hasta sobrepasar el momento final de la ventana, será necesario esperar a la próxima ventana, la cual dependiendo del objetivo, puede ser de hasta varios años después.**



En el caso de que se pierda una ventana de lanzamiento, es decir si el lanzamiento se retrasa por algún motivo hasta sobrepasar el momento final de la ventana, será necesario esperar a la próxima ventana, la cual dependiendo del objetivo, puede ser de hasta varios años después.

Por ejemplo, para enviar una nave espacial a Marte, la ventana está acotada entre las fechas en las que las posiciones relativas de la Tierra y Marte permiten que la trayectoria de vuelo sea suficientemente corta.

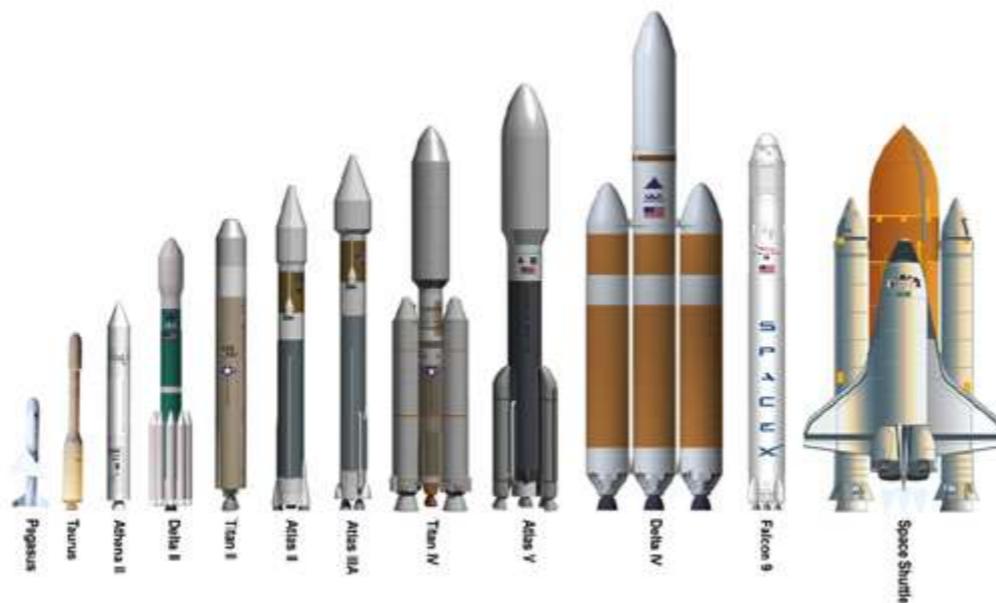


*La trayectoria en verde muestra la planeación para el lanzamiento de una nave desde la Tierra con dirección a dónde se localizará Marte un determinado momento en el futuro.*



## 5 y 6.- ¿Con qué se puede lanzar? ¿Desde dónde?

Al conocer el tipo de misión a realizar y el objetivo al que se desea llegar, es posible elegir de entre los vehículos disponibles para lanzar la nave o tripulación. De entre los candidatos se debe evaluar el costo, ventana de lanzamiento, confiabilidad del vehículo lanzador y cantidad máxima de masa que puede ser puesta en órbita. En consecuencia de elegir el vehículo lanzador se elige por tanto el sitio de lanzamiento.



- |                    |                   |                  |
|--------------------|-------------------|------------------|
| 1.- Vandenberg     | 8.- Andoya        | 16.- Jiuquan     |
| 2.- Edwards        | 10.- Plesetsk     | 17.- Xichang     |
| 3.- Wallops Island | 11.- Kapustin Yar | 18.- Taiyuan     |
| 4.- Cape Cañaveral | 12.- Palmachim    | 19.- Svobodny    |
| 5.- Kourou         | 13.- San Marco    | 20.- Kagoshima   |
| 6.- Alcántar       | 14.- Baikonur     | 21.- Tanegashima |
| 7.- Hammaguir      | 15.- Sriharikota  | 22.- Woomera     |



# MÓDULO 4: LANZADORES

1. Sitios de lanzamiento.
2. Requerimientos de una misión espacial y su repercusión en los sistemas de lanzadores.
- **3. Sistemas de Propulsión Espacial.**
4. Algunos Lanzadores.
5. Ensamble de los lanzadores con la carga útil (nave espacial/tripulación).



La función primaria del subsistema de propulsión es proporcionar impulso a la nave espacial. Empleando un propelente mas una fuente de energía se crean gases de escape de alta velocidad lo que proporciona el empuje necesario para el despegue, puesta en órbita y realización de maniobras de reposicionamiento, control de orientación y proceso de deorbitación al final (en determinados casos llegada la vida útil de la nave).

Se requiere de una fuerza para producir un cambio en la velocidad (*aceleración*) de la nave. Por otra parte, todos los sistemas de propulsión trabajan por intercambio de momento ( $F=ma$ ).

Por ejemplo:  
veleros,  
turbinas jet y  
desde luego los  
motores cohete.





Dentro de los diferentes sistemas de propulsión espacial se encuentran los siguientes:

**Termodinámicos** (convierten energía térmica y la presión de un gas a energía cinética).

- Gas (Freón, helio).
- Químicos (Sólido, líquido, híbrido).
- Nuclear.
- Termoeléctrico.

**Electrodinámico**, electrostático, electromagnético.

- Iones/plasma que son acelerados a altas velocidades.

**Exóticos:**

- Vela Solar
- Cuerda



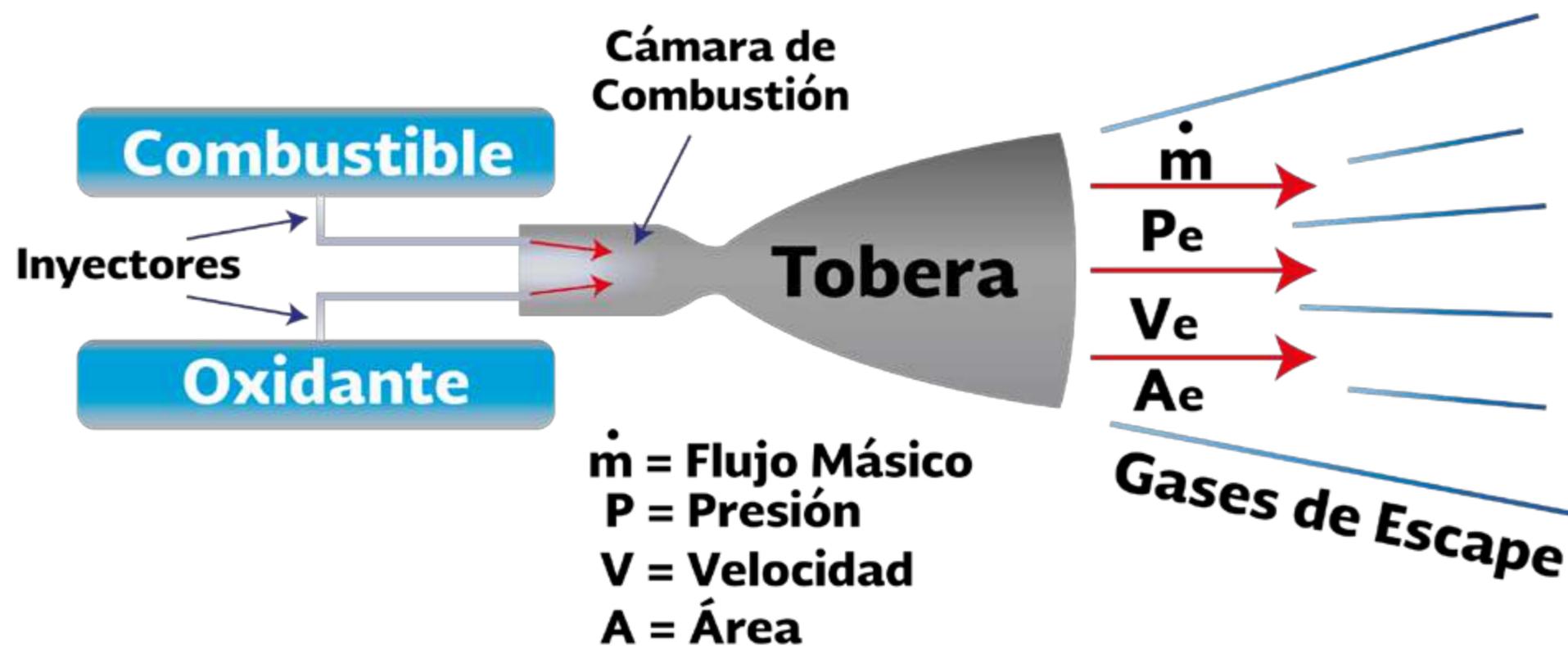
## Motores cohete químicos.

Se tienen de 3 tipos: combustible líquido, combustible sólido y los híbridos.

- **Combustible sólido:** son simples, confiables y proporcionan un gran empuje, sin embargo tienen la desventaja de que no son controlables pues una vez iniciada la reacción, ésta no se detiene hasta que se agota todo el combustible. Entre los materiales utilizados como combustible se encuentran el aluminio y el perclorato de amonio/hule.
- **Combustible líquido:** proporcionan buen empuje a la vez que se tiene control del encendido. Por otra parte son sistemas más complejos y requieren el manejo de dos sustancias, el oxidante y el combustible. Ejemplo de estas sustancias son el hidrogeno, keroseno y la hidracina.
- **Híbrido:** utilizan oxidante líquido y combustible sólido (hule, PE) un ejemplo de un sistema así es el retirado Space Ship o transbordador espacial.

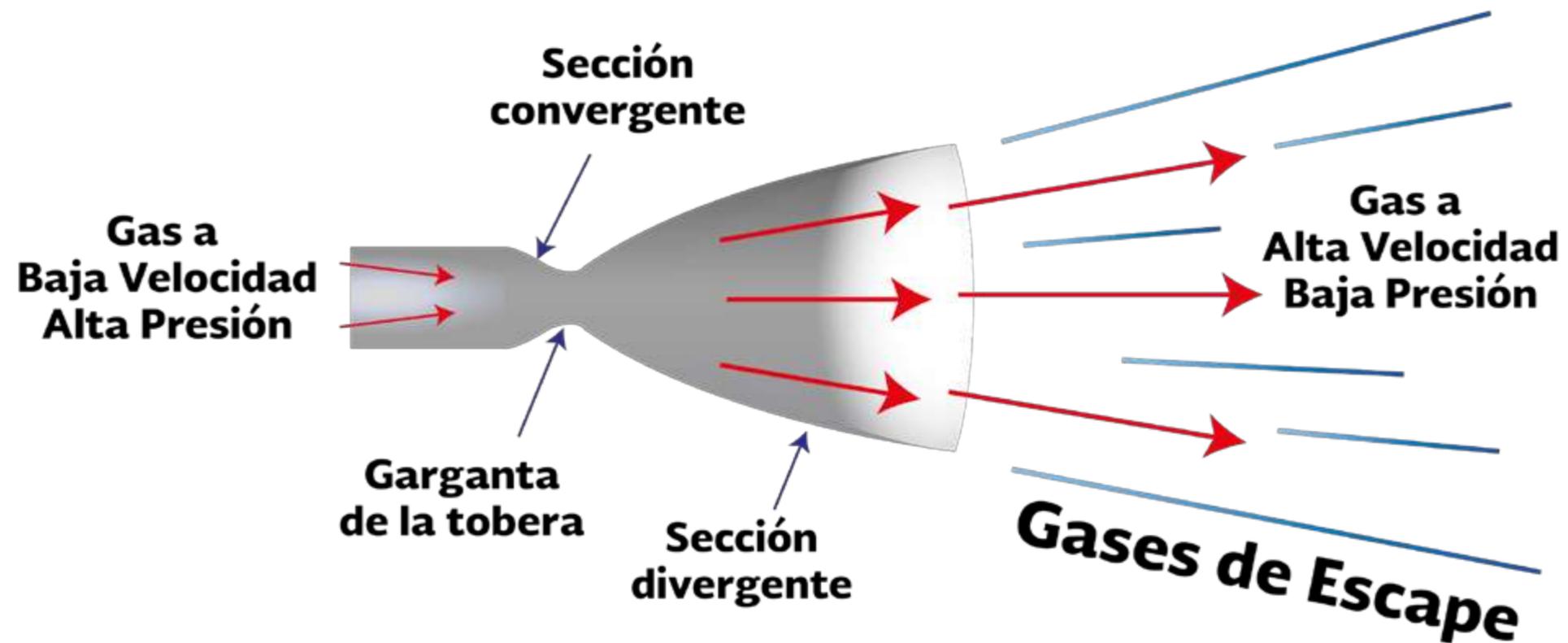


## Diagrama simple de un motor de combustible líquido.





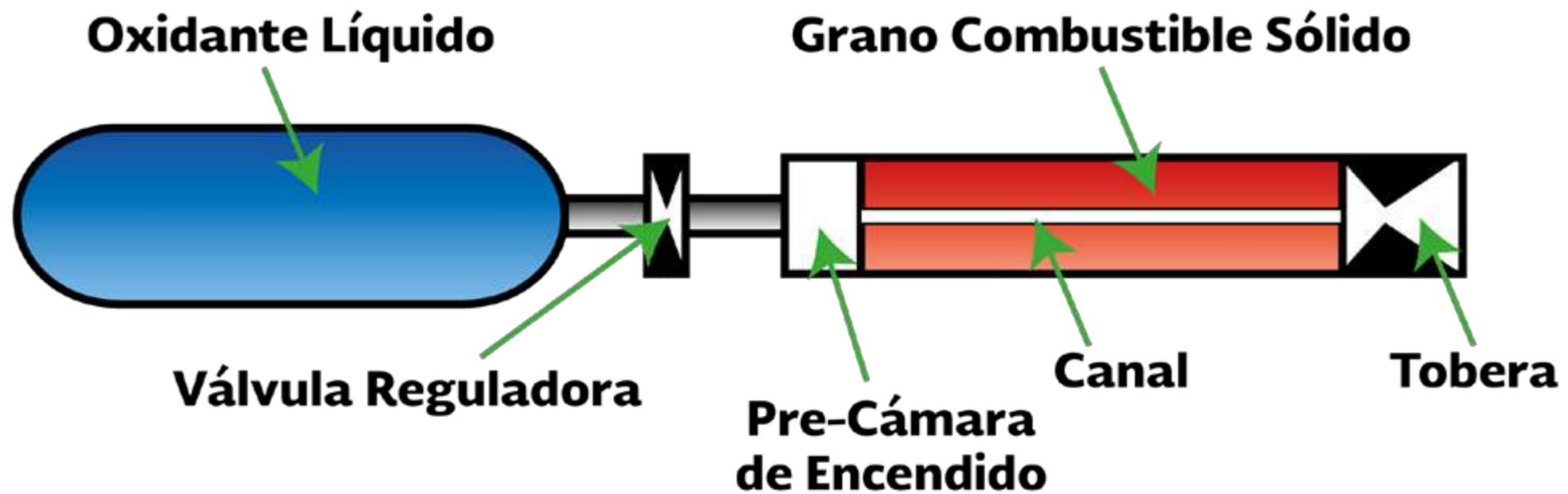
## Conversión de energía termodinámica a energía cinética.





**Sistema de combustible híbrido.**

**MOTOR DE COHETE HÍBRIDO**





La medición de desempeño de un cohete se realiza mediante las ecuaciones de un cohete:

$$F = \dot{m}V_e + (p_e - p_a)A_e$$

$$V_e = C = \frac{F}{\dot{m}} = I_{sp}g = C^*C_f \text{ (Exhaust Velocity)}$$

$$C^* = \frac{P_c A_t}{\dot{m}} \text{ (Characteristic Velocity)}$$

$$C_f = \sqrt{\frac{2K^2}{K-1} \left(\frac{2}{K+1}\right)^{\frac{K-1}{K+1}} \left[ 2 - \left(\frac{p_e}{p_c}\right)^{\frac{K-1}{K}} \right]} + \frac{p_e - p_a}{p_c} \left(\frac{A_e}{A_t}\right) \text{ (Thrust Coefficient)}$$

$$I_{sp} = \frac{F}{\dot{m}g} \text{ (Specific Impulse)}$$

$$\Delta V = C \ln \left( \frac{m_i}{m_f} \right)$$



Donde cada término representa lo siguiente:

**F** es la fuerza de empuje.

**m** es el flujo másico

**$\rho_e V_e A_e$**  corresponden a la densidad del fluido a la salida de la tobera, velocidad de escape a la salida de la tobera y área de salida de la tobera;

**$\rho_a$**  corresponde a la presión ambiente,

**$A_e$**  es el área de salida de la tobera,

**$A_e$**  es el área total de la garganta de la tobera,

**g** es la constante gravitacional, **k** es la relación de calor específico,

**$\rho_c$**  es la presión en la cámara,

**$m_i$**  es la masa al inicio del empuje,

**$m_f$**  es la masa al término del empuje.

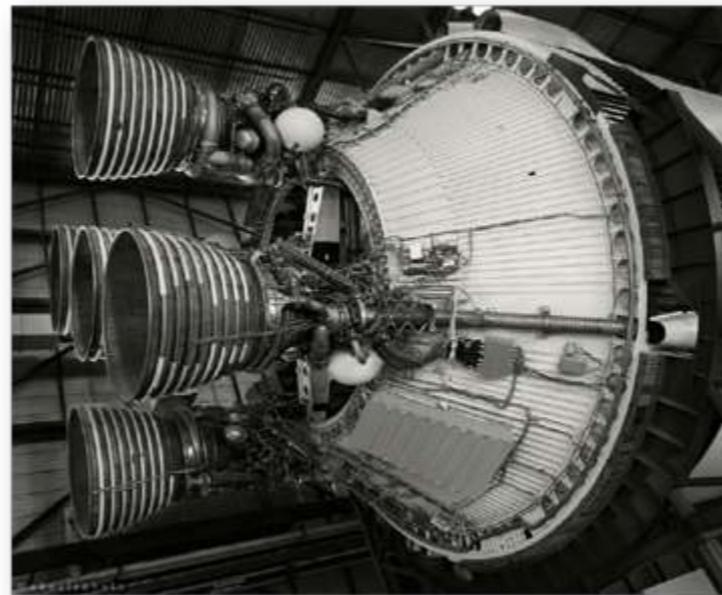


## Ejemplos de motores

### Motor Saturno V



### Motor Saturno V

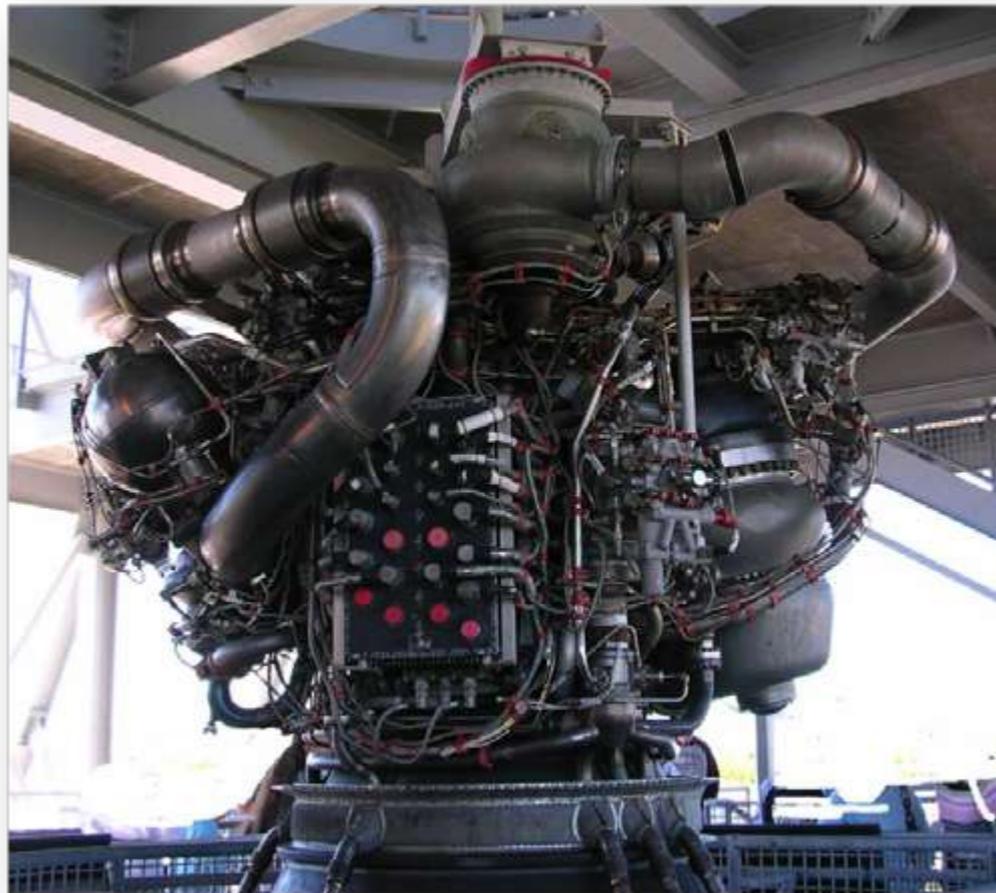


### Ensamble de 4 motores





## Motor del Space Shuttle



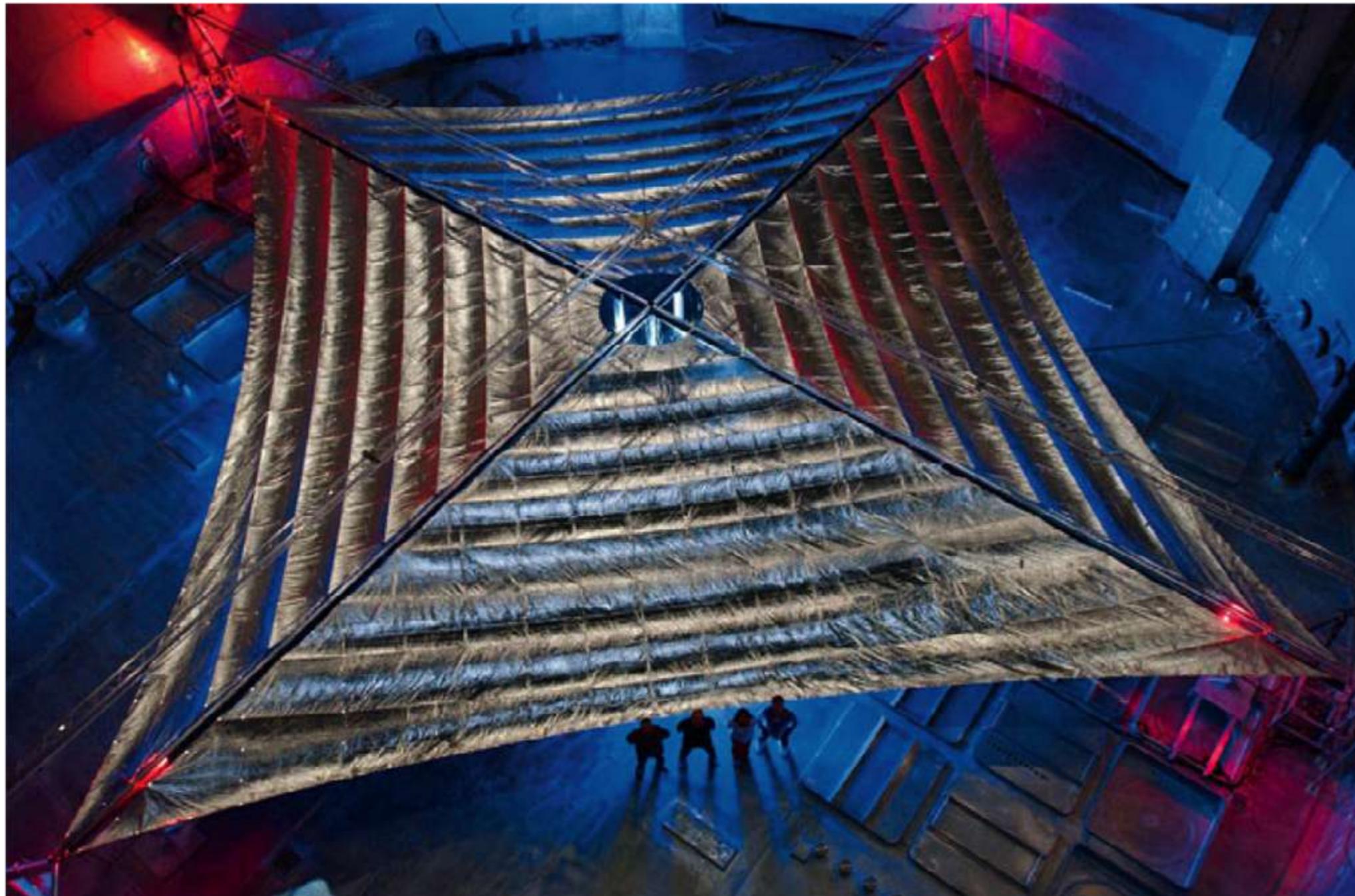


## Sistemas exóticos: velas solares.

Las velas solares captan empujes producidos por fuentes externas a la propia nave, de manera que ésta no necesita transportar consigo ni motor ni combustible, lo que aligera considerablemente la masa de la nave. Es posible alcanzar así mayores velocidades. Se tienen dos tipos de velas solares:

**Velas a partir de fotones o fotónicas.** Consisten en una gran superficie compuesta por una o varias láminas reflectantes muy ligeras, capaces de aprovechar la presión luminosa de la radiación solar para obtener un impulso. Además de los fotones de origen solar, las velas se pueden diseñar para aprovechar cualquier otro tipo de ondas electromagnéticas como las generadas por el hombre, tales como luz láser o microondas.

**Velas de plasma.** Consisten en grandes mallas o redes en las que se genera un campo eléctrico o magnético capaz de interceptar el viento solar (partículas cargadas) para obtener un impulso. En función del campo que generen, estas velas se denominan velas magnéticas o velas eléctricas.



**Imagen de una vela solar en desarrollo.**



# MÓDULO 4: LANZADORES

1. Sitios de lanzamiento.
2. Requerimientos de una misión espacial y su repercusión en los sistemas de lanzadores.
3. Sistemas de Propulsión Espacial.
- 4. Algunos Lanzadores.
5. Ensamble de los lanzadores con la carga útil (nave espacial/tripulación).



**A continuación se enlistan algunos lanzadores comerciales y privados que han existido:**

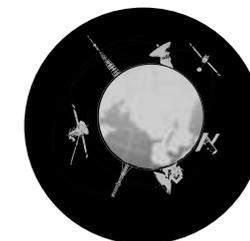
- Soyuz (Rusia).
- Protón (Rusia-EU).
- Vega (ESA).
- Ariane (ESA).
- Sea Launch (consorcio internacional).
- Zenit-2 (Ucrania).
- Z-5 (China).
- Delta IV (NASA-EU).
- Falcon 9 (Space X-EU).
- Saturno V (NASA-EU).
- Space Shuttle (NASA-EU).
- Antares (Orbital Sciences Corp.-EU).



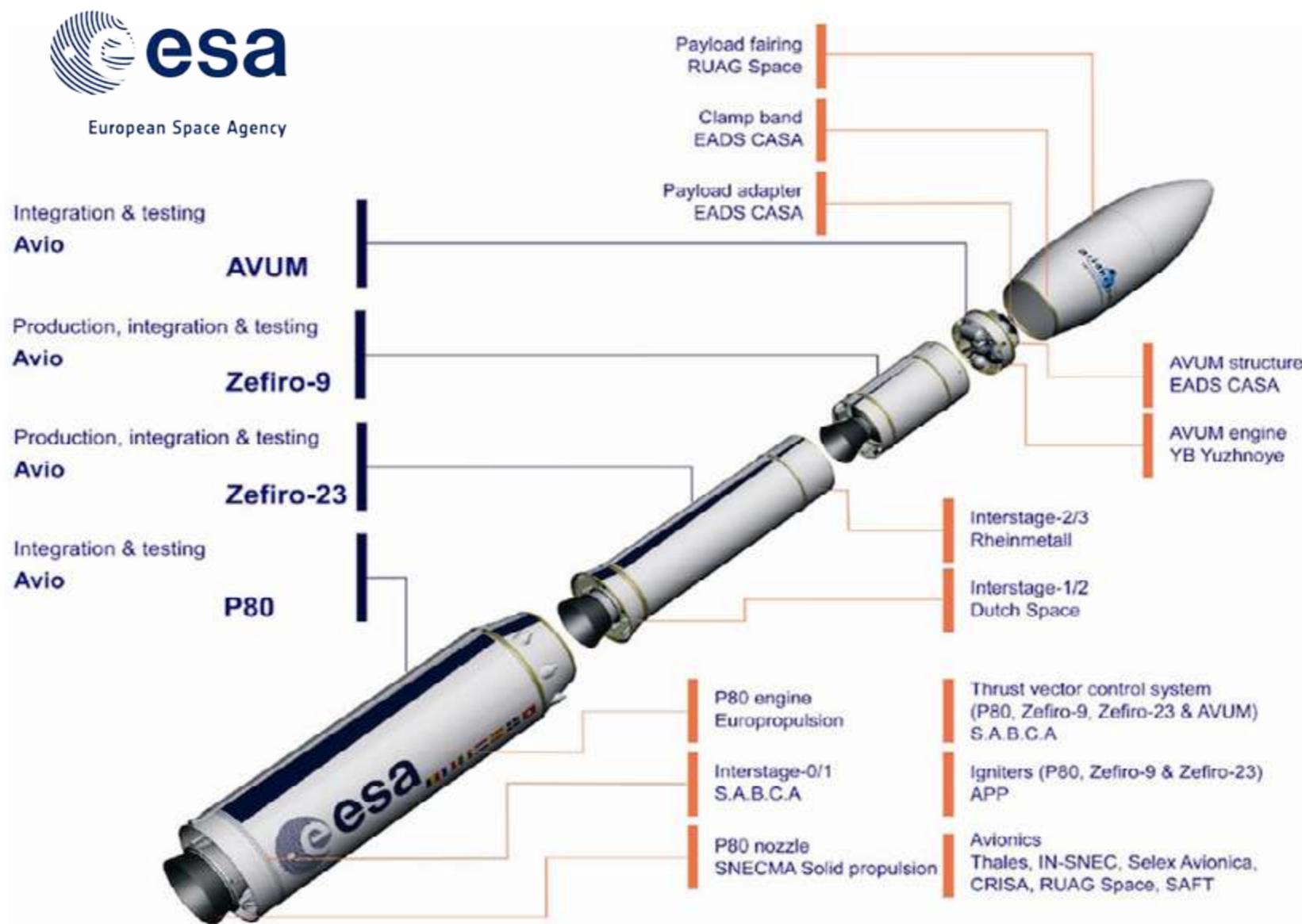


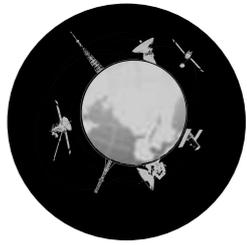
## Cohete Protón (ILS-Rusia).



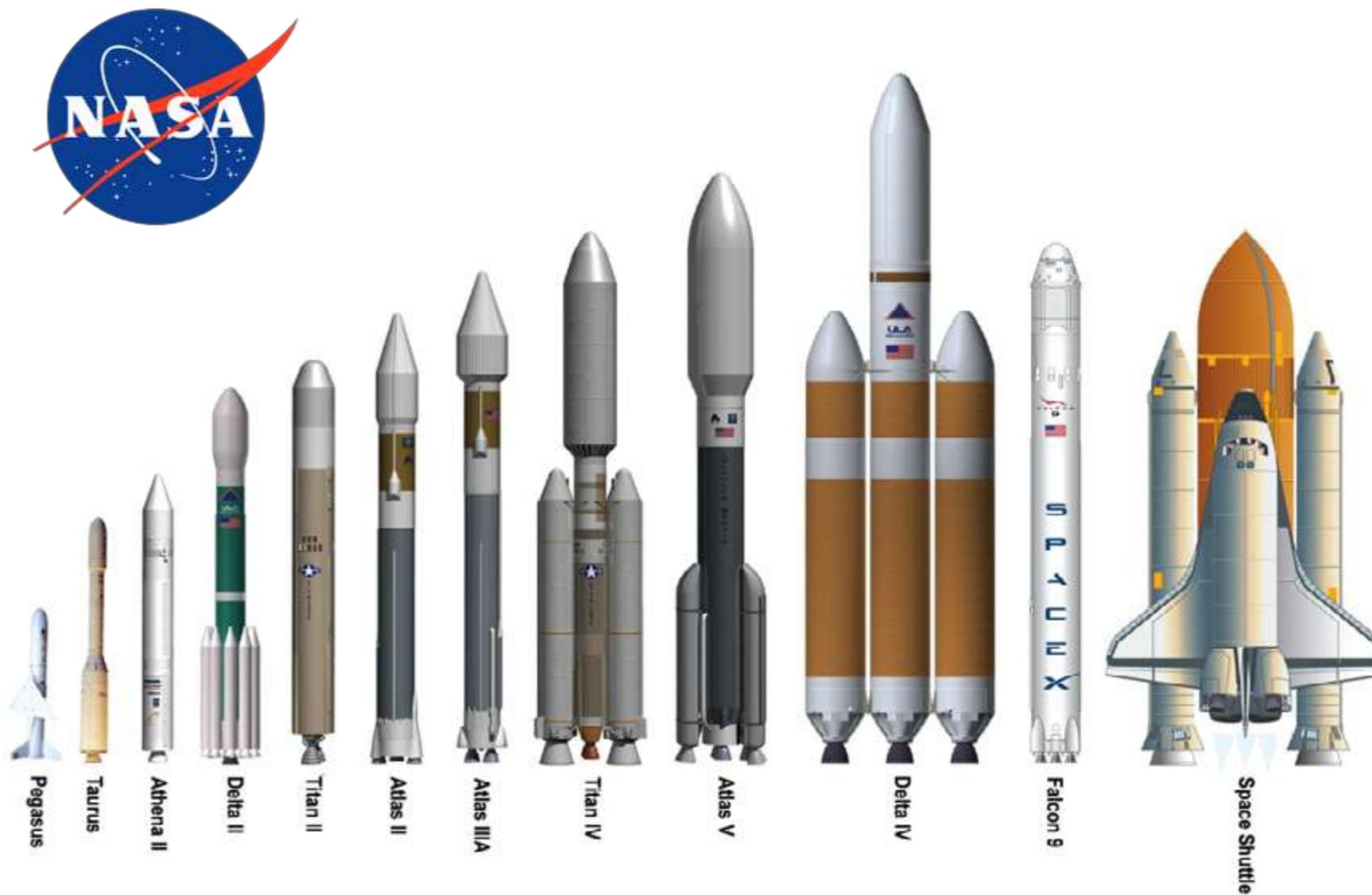


## Cohete Vega (Agencia Espacial Europea)





## Lanzadores (National Aeronautics and Space Administration)





# MÓDULO 4: LANZADORES

1. Sitios de lanzamiento.
2. Requerimientos de una misión espacial y su repercusión en los sistemas de lanzadores.
3. Sistemas de Propulsión Espacial.
4. Algunos Lanzadores.
5. Ensamble de los lanzadores con la carga útil (nave espacial/tripulación).





**El proceso de ensamblado de una nave con el vehículo lanzador consiste de acoplar en la cofia de protección a la carga útil. Esta cofia permite proteger a la carga útil del impacto y fricción contra la atmósfera al momento del despegue debido a las altas velocidades que se alcanzan.**

**Una vez transcurrido el trayecto de mayor fricción, la cofia se separa dejando a la carga útil lista para continuar con su trayectoria.**

**Por otra parte, el ensamblaje con las demás etapas del cohete se lleva a cabo dentro de los edificios destinados para esto, y puede realizarse tanto de forma vertical como horizontal.**

**Es importante señalar que durante el despegue se tiene conexión de los principales subsistemas de la nave a través del sistema de envío de telemetría del vehículo lanzador al centro de mando, de tal manera que en todo momento se conoce el estado y salud de la carga útil.**



**Montaje de motores de combustible sólido en un cohete Delta en vertical**



**Atlas/Centaur en proceso de ensamble**





## Área de pruebas y montaje final de módulos para la Estación Espacial Internacional en Cabo Kennedy



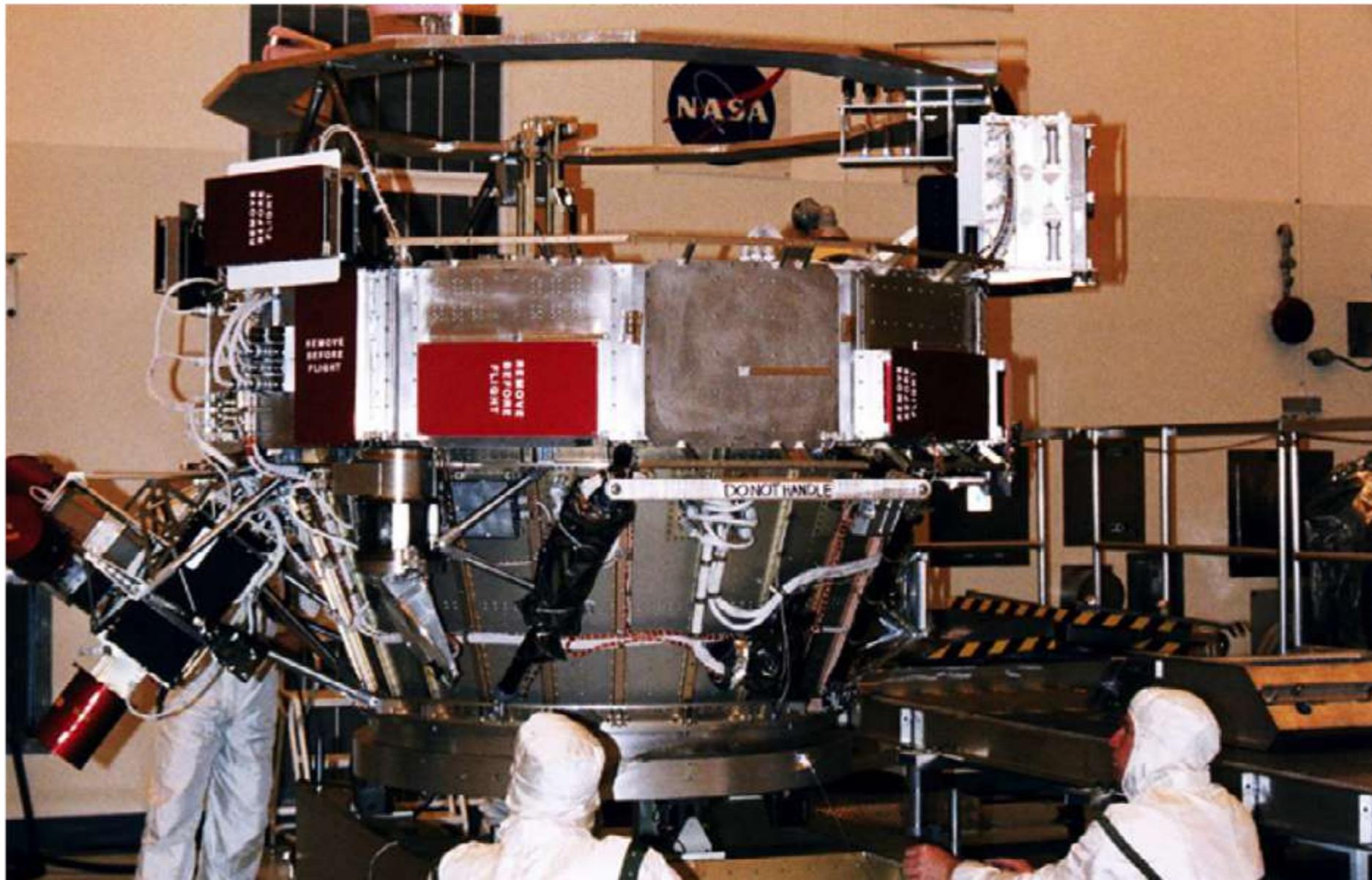


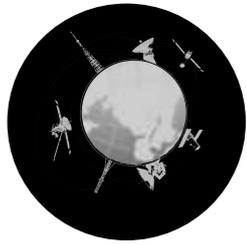
**Paquete de experimentos mexicanos en prueba de vibración  
en el Centro de Ingeniería Espacial de la U. Estatal de Utah.**





## Sonda Cassini/ Huygens (Titán IV)





## Satélite TDRSS

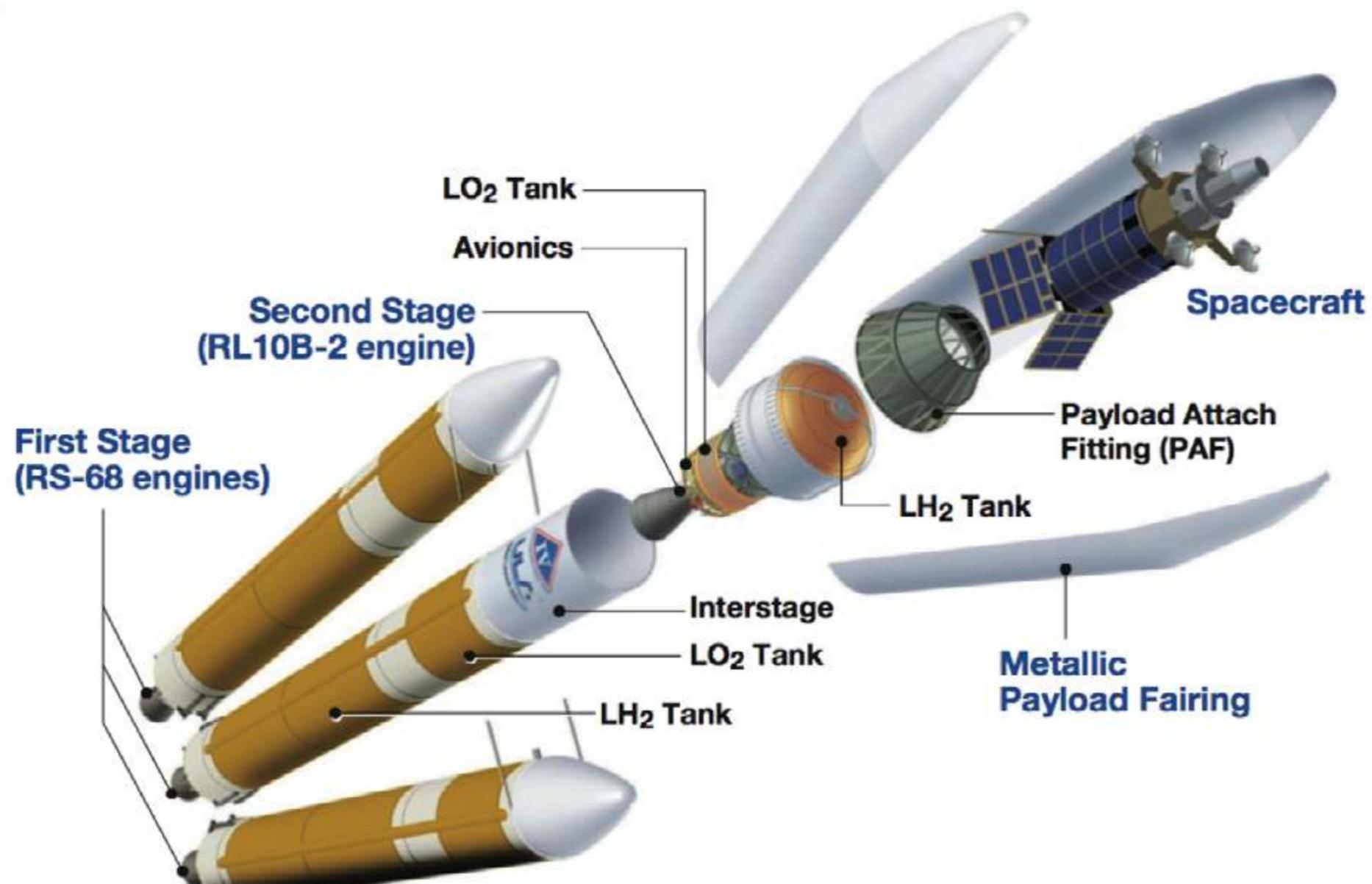


## MSL-Curiosity con sus cofias





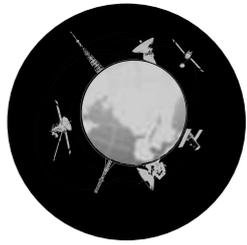
## Lanzador Delta IV y carga útil





## Lanzamiento de un cohete Pegasus XL





**Delta II**



**Titán**



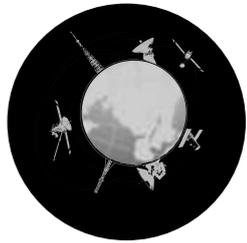
**Soyuz**



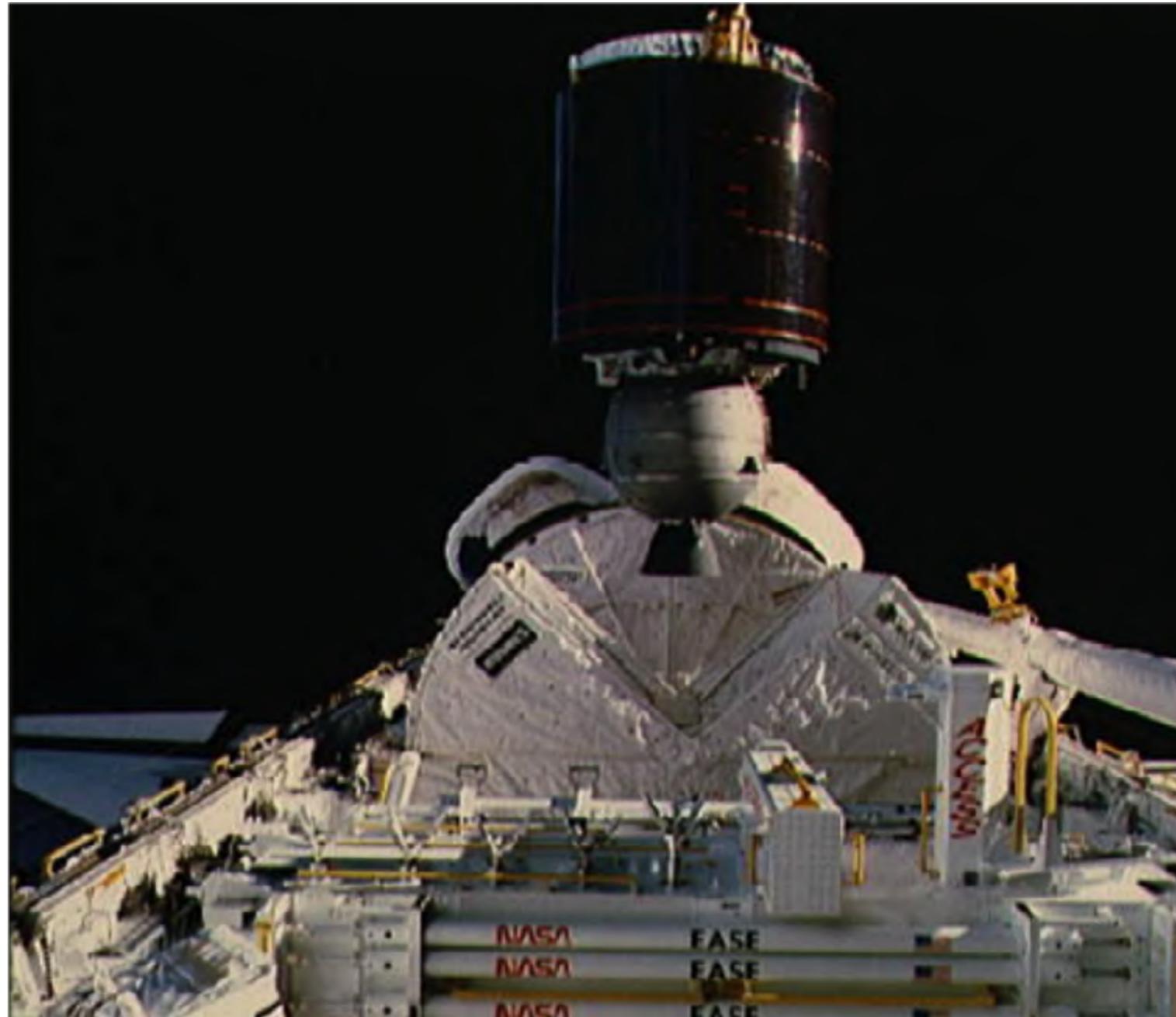


## Lanzamiento del UNAMSAT-b como carga secundaria de un satélite Ruso PARUS por un lanzador Cosmos 3M





## Lanzamiento del Satélite Morelos II (México) desde el Space Shuttle







## Actividad: Simulador de ensamble de Lanzadores





**Space Mission Analysis and Design, third edition. Wiley J. Larson and Jame R. Wertz.**

**Sentinel-3: Mission Requirements Document. ESA.**

**Attitude Determination and Control (ADCS), 16.1684 Space Systems Products Development Spring 2001. Oliver L. De Weck, Department of Aeronautics and Astronautics, Massachusetts Institute of Technology.**

**Spacecrafts Systems Design & Engineering, Introduction to Spacecraft Design Course. José M. Hernández & Gurpartap GP Sandhoo.**

**Orbital Mechanics for Engineering Students, second edition. Howard D. Curtis.**

**Orbital Mechanics, third edition. Vladimir A. Chobotov. AIAA Education Series.**

**Understanding Space an Introduction to Astronautics, second edition. Jerry Jon Sellers.**

**Sitio Web de Satmex: <http://www.satmex.com.mx/>.**

**Sitio web de la ITU: <http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx>.**

**Memoria Documental Construcción de los Centros de Control Satelital Mexsat, Telecomunicaciones de México, noviembre 2012.**



SCT

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

AEM

AGENCIA ESPACIAL  
MEXICANA