

INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS ESPACIALES





Introducción a las estructuras espaciales

Curso de Introducción a la Ingeniería Espacial por Altrya Space en colaboración con la Escuela de Ingeniería Industrial y Aeroespacial de Toledo (UCLM)



DESCARGO DE RESPONSABILIDAD DE USO:

Por favor, lee este descargo de responsabilidad detenidamente antes de utilizar el contenido proporcionado. El siguiente descargo de responsabilidad rige el uso del contenido, que ha sido elaborado únicamente con fines educativos y no está destinado a un uso comercial ni a ningún otro propósito más allá del estudio.

1. **Sin uso comercial:** El contenido proporcionado está estrictamente destinado a fines educativos y no debe utilizarse para ninguna actividad comercial. No está autorizado su venta, distribución ni ninguna otra forma de beneficio monetario.
2. **Solo con fines de estudio:** El contenido está diseñado para facilitar el aprendizaje y la comprensión del tema. Debe utilizarse exclusivamente para el estudio, la investigación o fines educativos personales.
3. **No es un consejo profesional:** El contenido proporcionado no constituye un consejo profesional. No es un sustituto de consultar con expertos o profesionales en el campo relevante. Cualquier decisión o acción tomada basada en el contenido se hace bajo su propio riesgo.
4. **Precisión de la información:** Si bien nos esforzamos por proporcionar información precisa y actualizada, no ofrecemos garantías de ningún tipo, expresas o implícitas, sobre la integridad, precisión, confiabilidad, idoneidad o disponibilidad del contenido. Usted es responsable de verificar la información antes de confiar en ella.
5. **Responsabilidad limitada:** No seremos responsables de ninguna pérdida o daño que surja del uso del contenido. Esto incluye, entre otros, daños directos, indirectos, incidentales, punitivos o consecuentes, incluso si se le ha informado de la posibilidad de dichos daños.
6. **Contenido y enlaces de terceros:** El contenido puede incluir referencias o enlaces a sitios web, recursos o contenido de terceros. No respaldamos, controlamos ni garantizamos la precisión, relevancia, puntualidad o integridad de ningún contenido de terceros. El acceso al contenido de terceros se realiza bajo su propio riesgo.
7. **Propiedad intelectual:** El contenido proporcionado está protegido por las leyes de propiedad intelectual, incluyendo, pero no limitado a, los derechos de autor. No se permite reproducir, distribuir, modificar, mostrar, realizar o transmitir el contenido sin permiso previo por escrito. Todos los derechos están reservados al profesor de la asignatura.
8. **Cambios en el descargo de responsabilidad:** Nos reservamos el derecho de modificar o actualizar este descargo de responsabilidad en cualquier momento sin previo aviso. Es tu responsabilidad revisar periódicamente este descargo de responsabilidad en busca de cambios.

Al utilizar el contenido, reconoces que has leído, entendido y aceptado este descargo de responsabilidad. Si no estás de acuerdo con alguna parte de este descargo de responsabilidad, abstente de utilizar el contenido.

Si tienes alguna pregunta o inquietud acerca de este descargo de responsabilidad, por favor contáctanos.

altryacontact@gmail.com

Índice general

1	Introducción	2
1.1	Misión Espacial	2
1.2	Lanzadores	2
1.2.1	Estructuras del Lanzador	2
1.3	Vehículos espaciales	3
2	Diseño de estructuras	4
2.1	Requisitos de las estructuras espaciales	4
2.1.1	Requisitos estructurales de la misión	4
2.1.1.1	Definiciones de cargas	4
2.1.2	Requisitos estructurales de funcionalidad	4
2.1.3	Requisitos estructurales de diseño	5
2.1.4	Requisitos estructurales de interfaz	5
2.1.5	Requisitos estructurales de verificación	5
2.1.6	Requisitos estructurales de producción / fabricación	5
2.1.7	Requisitos estructurales en servicio	5
2.2	Entregables e intercambio de datos	6
2.3	Materiales estructurales espaciales	6
2.3.1	Polímero reforzado con fibra de carbono	6
2.4	Estructuras tipo sándwich	7
2.4.1	Ventajas	7
2.4.2	Desventajas	8
2.4.3	Configuraciones	8
2.4.3.1	Modos de fallo	8
3	Entorno Mecánico	9
3.1	Entornos de vuelo y cargas dinámicas de la nave espacial	9
3.2	Entorno Estático	10
3.2.1	Pruebas estáticas	10
3.3	Entorno Senoidal	11
3.3.1	Limitaciones del enfoque del uso de cargas senoidales en entorno espacial:	11
3.3.2	Condiciones de contorno diferentes	11
3.3.2.1	Muecas (Notching)	11
3.4	Análisis de Cargas Acopladas (Coupled loads analysis (CLA))	12
3.5	Entorno Vibroacústico	12
3.6	Vibración Aleatoria	13
3.7	Entorno de Impacto	13
3.8	Entorno Microvibratorio	14
3.9	Resumen	14
	Bibliografía	15

Lista de acrónimos

ASTM

American Society for Testing and Materials. 7

ATV

Automated Transfer Vehicle. 10

CAD

Computer Aided Design. 6, 13

CAE

Computer Aided Engineering. 6

CFD

Computer Fluid Dynamics. 13

CFRP

Carbon Fiber Reinforced Polymer. 3, 4, 6

CLA

Coupled Load Analysis. 12

CSG

Centre Spatial Guyanais. 2

ECA

Evolved Cryogenic Model A. 2

ENVISAT

Environmental Satellite. 6

EPC

Étage Principal Cryotechnique. 2

EPS

Étage à Propergols Stockables. 2

ESA

European Space Agency. 2

ESC

Étage Supérieur Cryotechnique. 2

FEM

Finite Element Model. 6, 12, 13

FM

Flight Model. 5

GSE

Ground Support Equipment. 5

GTO

Geosynchronous Transfer Orbit. 2

HW

Hardware. 7, 11

IF

Interface. 2, 5, 12



LEO	Low Earth Orbit. 2
MoS	Margin of Safety. 5, 8
NDI	Non-Destructive Inspections. 5, 8
OTV	Orbital Transfer Vehicle. 4
PFM	Proto Flight Model. 5
PL	Payload. 2-4, 9
QM	Qualification Model. 5
QSL	Quasi-Static Load. 10
RW	Reaction Wheel. 9, 14
S/C	Spacecraft. 3-5, 7, 9-14
SC	Subscriber Communicator. 12
SF	Scatter Factor. 5
SPL	Sound Pressure Level. 13
SRB	Solid Rocket Booster. 2
STR	Star Tracker. 4
SW	Software. 5
VEB	Vehicle Equipment Bay. 2

1 Introducción

1 1

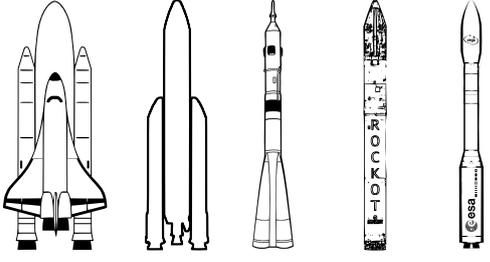
Misión Espacial

En las misiones espaciales existen varios elementos ubicados en los segmentos de tierra y de vuelo. Este documento se centra en las estructuras de los vehículos espaciales y los lanzadores, englobados dentro del segmento de vuelo.

1 2

Lanzadores

Los lanzadores se clasifican generalmente en función de la cantidad de carga de pago o **Payload (PL)** que son capaces de elevar a una determinada órbita, tal y como se muestra en la **Figura 1.2**.



	Space Shuttle	Ariane V	Soyuz STK	Rocket	Vega
Capacidad en órbita alta	3.8 Tm	10 Tm	3.15 Tm	-	-
Capacidad en órbita alta	24 Tm 300 km	<20 Tm 300 km	5 Tm 820 km	1.1 Tm 700 km	12.5 Tm 300-1500 km

Figura 1.2: Clasificación de lanzadores.

1 2 1 Estructuras del Lanzador

En general, las etapas propulsoras principales de un lanzador están diseñadas para trabajar juntas y proporcionar el empuje, la velocidad y la altitud necesarios para llegar al espacio y llevar la carga útil a su destino. Las estructuras de interetapa conectan la etapa superior (carga útil) y la etapa principal (propulsión). Normalmente tienen forma cilíndrica. La **Figura 1.3** muestra cómo, de manera similar a las estructuras de las aeronaves, las estructuras del lanzador tienen refuerzos internos (montantes, cuadernas, nervaduras, etc.) para rigidizar y fortalecer la estructura global. Las estructuras del lanzador deben adaptarse a diferentes interfaces (propulsión, satélite, motores principales...).



Figura 1.3: Refuerzos internos e intercargas IF de propulsión en los lanzadores.

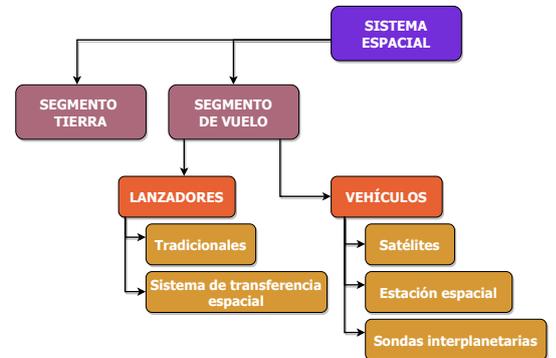


Figura 1.1: División del sistema espacial.

El lanzador más utilizado en las misiones de la **ESA** es el **Ariane**. Su última versión, el **Ariane 5 Evolved Cryogenic Model A (ECA)** tiene una altura de hasta **56 m** (la mitad de un campo de fútbol), un peso al despegue de alrededor de **780 Tm** (equivalente a 150 elefantes) y una fuerza de empuje al despegue de **1400 Tm**. Su rendimiento varía desde **20 Tm** en **Low Earth Orbit (LEO)** hasta **10 Tm** en **Geosynchronous Transfer Orbit (GTO)**.

Algunas de las partes de este lanzador incluyen el carenado, el **Vehicle Equipment Bay (VEB)**, los dos **Solid Rocket Booster (SRB)** y entre sus etapas podemos encontrar el **Étage Principal Cryotechnique (EPC)**, el **Étage à Propergols Stockables (EPS)** y el **Étage Supérieur Cryotechnique (ESC)**. En general, los sitios de lanzamiento suelen ubicarse en lugares cercanos al ecuador. En el caso del programa **Ariane**, los cohetes se lanzan desde el **Centre Spatial Guyanais (CSG)**.

Las Figuras 1.4 y 1.5 muestran otros ejemplos de estructuras de lanzadores, incluyendo las estructuras *Slyda* y *Spelta* del *Ariane 5*, fabricadas en polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP), que son estructuras que permiten el lanzamiento de múltiples PLs, donde una de ellas está dentro de la estructura y la otra se monta sobre ella. Los **adaptadores** conectan el lanzador y la carga útil, y tienen una estructura cónica para adaptarse a las interfaces. Sus principales funciones son minimizar el impacto transmitido a la carga útil y controlar la velocidad de separación. Los **dispensadores** son adaptadores para diferentes PLs (hasta docenas en algunos casos de minisatélites...).



Figura 1.4: De izquierda a derecha: *Slyda*, adaptador y dispensador.

Por último, los **sistemas de separación de abrazaderas** aseguran una separación adecuada con bajo impacto transmitido al *S/C* y una velocidad controlada (lineal y angular). Los **carenados** (o *cofias*) protegen la carga útil durante el vuelo atmosférico (de ahí su forma aerodinámica) y amortiguan las cargas acústicas provenientes de los motores.

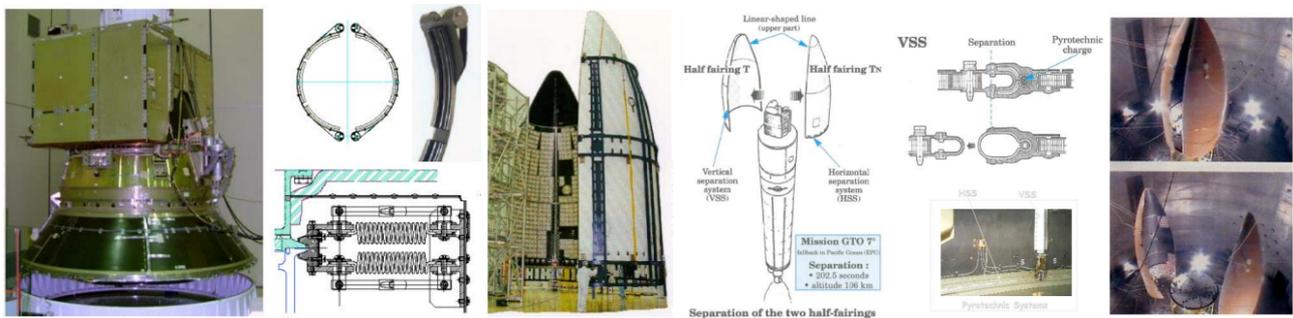


Figura 1.5: Sistemas de separación de abrazaderas y carenados.

1 3

Vehículos espaciales

La Figura 1.6 muestra el **Sputnik I**, lanzado el 4 de octubre de 1957 para estudiar la estructura de la ionosfera, siendo el primer satélite artificial en la historia humana. Algunas de sus características son un diámetro de 580 mm, una masa de 83.6 kg, 2 cubiertas hemisféricas de aluminio utilizadas para proteger el equipo interno y alojar las 4 antenas de longitud de 2.4 y 2.9 m.

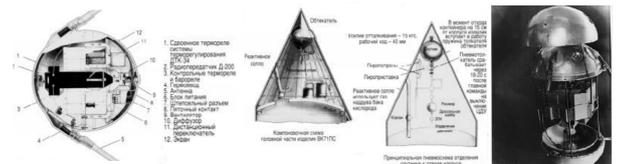


Figura 1.6: Sputnik I, el primer satélite artificial.

Normalmente, los *S/C*s se dividen en un módulo de **PL** (instrumentos) y un módulo de servicio (resto de subsistemas).

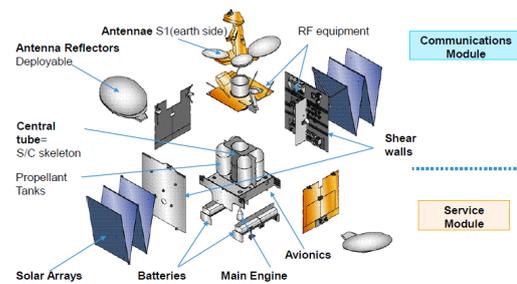


Figura 1.7: Configuración general de un *S/C*: satélite de comunicaciones.

La **antigua clasificación** se divide en:

- Una **estructura primaria** que proporciona soporte a la **PL**, transmite cargas, actúa como interfaz entre los distintos subsistemas y mantiene la geometría del *S/C*.
- Una **estructura secundaria** que distribuye las cargas de las diferentes unidades del *S/C* a la estructura primaria).
- **Componentes auxiliares** que facilitan la integración de los distintos equipos y sistemas.

La **nueva clasificación** se divide en una **estructura primaria**, una **estructura secundaria** encargada de soportar la **PL** y las llamadas **estructuras terciarias** (soportes y resortes).