

Lift-off

Ejercicios de física y química para secundaria basados en datos reales de la Agencia Espacial Europea

$$\Sigma F = ma$$



$$E_g = mgh$$

BR-223/SP

Septiembre 2004

Versión en castellano

Lift-off!

**Ejercicios de física y química para
secundaria basados en datos reales
de la Agencia Espacial Europea**

***European Space Agency
Agence spatiale européenne***

A todos los estudiantes les fascina el espacio – astronautas, cohetes espaciales, satélites, vuelos parabólicos, todo – y por tanto debemos asegurarnos de transmitir este conocimiento de base para evitar encontrarnos dentro de 20 años sin expertos en el campo espacial!

Jean-Jacques Dordain
Director General
Agencia Espacial Europea

Publicación:	“Lift-off” – Ejercicios de física y química para secundaria basados en datos reales de la Agencia Espacial Europea” (ESA BR-223)
Escrito por:	Samuel T. Buisán Departamento de educación de la Agencia Espacial Europea
Editado por:	Barbara Warmbein División de publicaciones de la Agencia Espacial Europea
Portada diseñada por:	Hugo Simões División de publicaciones de la Agencia Espacial Europea
Publicado y distribuido por:	División de publicaciones de la Agencia Espacial Europea ESTEC, Noordwijk, Países Bajos
Impreso en:	Países Bajos
Precio:	10 Euros
ISBN:	92-9092-565-5
ISSN:	0250-1589
Copyright :	© 2004 Agencia Espacial Europea

Introducción

El espacio es un tema de gran atractivo para el conjunto de la sociedad. Desgraciadamente las materias escolares relacionadas con el espacio, tales como física y química son a menudo vistas como muy difíciles, abstractas y con poca conexión con la realidad.

Teniendo el espacio como referencia, el Departamento de Educación de la Agencia Espacial Europea (ESA) ha creado una nueva herramienta educativa para ser usada en niveles de secundaria. Esta herramienta se compone de una serie de ejercicios de física, química y tecnología basados en datos reales de la Agencia Espacial Europea y destinados a estudiantes de entre 15 y 18 años.

Nuestro objetivo es demostrar que todos los conceptos, magnitudes, formulas y teorías que se estudian en clase son los mismos utilizadas en el dominio espacial. Los estudiantes podrán calcular la órbita de un satélite real, enfrentarse a típicas reacciones químicas en el espacio, tratar problemas de encuentro de ingenios espaciales en órbita, averiguar cuáles son las fuerzas que intervienen en el despegue de un cohete espacial, comprender cuanto duran las baterías en los satélites, hallar el momento preciso para comenzar misiones espaciales y mucho más.

Cada ejercicio y los datos necesarios para cada uno de ellos han sido el producto de una estrecha colaboración con diferentes científicos e ingenieros¹ de la Agencia Espacial Europea, que han verificado la exactitud y coherencia de los ejercicios. Sin su colaboración, este proyecto no habría sido posible. Estamos altamente agradecidos de su total apoyo.

Cada ejercicio se compone de una página con el enunciado que puede ser fotocopiado fácilmente. Cada enunciado incluye los datos necesarios, ilustraciones y breves ayudas para la resolución del ejercicio. La solución del ejercicio, además de información adicional, se encuentra en una página extra. Los términos técnicos están en *cursiva*, y una breve explicación puede ser encontrada en el glosario. Si se desea más información visite www.esa.int/education/exercises.

Samuel T. Buisán
ESA Education Department

¹ **Colaboradores:** Edward Anderson, Thierry Blancquaert, Enrico Chesta, Jean-Francois Clervoy, Francisco C. Cuadrado, Fabienne Delhaise, Isabelle Duvaux-Bechon, Denis Estublier, Angel Gonzalez, José Gonzalez del Amo, Eduardo Guillen Ruiz, Robert Laine, Ygal Levy (CNES), Neil Melville, Julio Monreal, Leticia Perez, Philippe Poinas, Guy Ramusat, Max Schautz, Ramon Torres, Eric Trottemant, Annukka Virtanen, Barbara Warmbein

Traducción al castellano y colaboraciones:

Evelyn Pujalte Prieto – I.E.S. Haygon – Alicante
Belén Calvo – Universidad de Zaragoza
Programa educativo “Ciencia Viva” del Gobierno de la Comunidad Autónoma de Aragón.

¿Qué es la ESA?

La Agencia Espacial Europea es la puerta de acceso al espacio del continente europeo. Su misión consiste en configurar el desarrollo de la competencia espacial europea y garantizar que la inversión en actividades espaciales siga dando beneficios a la población europea.

La ESA está compuesta por 15 Estados Miembros. La coordinación de los recursos económicos e intelectuales de sus miembros permite llevar a cabo programas y actividades de mayor alcance que los que podría realizar cualquier país europeo individualmente.

¿Qué hace la ESA?

La misión de la ESA consiste en elaborar el plan espacial europeo y llevarlo a cabo. Los proyectos de la Agencia se han diseñado para investigar más a fondo la Tierra, el espacio que la rodea, el Sistema Solar y el Universo, así como para desarrollar tecnologías basadas en satélites y fomentar la industria europea. La ESA también trabaja en estrecha colaboración con organizaciones espaciales no europeas, de modo que toda la humanidad pueda beneficiarse de las ventajas del espacio.

¿Quién pertenece a la ESA?

Los 15 Estados Miembros de la ESA son Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza. Canadá tiene un estatus especial y participa en algunos proyectos conforme a un acuerdo de cooperación. Como se deduce de esta lista de países, no todos los países miembros de la Unión Europea son miembros de la ESA y viceversa. La ESA es una organización totalmente independiente, aunque mantiene lazos estrechos con la UE, con la que comparte una estrategia espacial conjunta.

¿Dónde está localizada la ESA?

La ESA tiene su sede en París y desde allí se toman las decisiones sobre futuros proyectos. No obstante, la ESA también dispone de centros en el resto de Europa, cada uno con sus respectivas competencias:

- ESTEC, el Centro Europeo de Tecnología Espacial, se encarga del diseño de la mayor parte de las naves espaciales de la ESA y está situado en Noordwijk (Holanda)
- ESOC, el Centro Europeo de Operaciones Espaciales, se encarga de controlar los satélites en órbita de la ESA y está situado en Darmstadt (Alemania)
- EAC, el Centro Europeo de Astronautas, se encarga del entrenamiento de astronautas para misiones venideras y está situado en Colonia (Alemania).
- ESRI, el Instituto Europeo de Investigaciones Espaciales, tiene su sede en Frascati, cerca de Roma (Italia). Entre sus responsabilidades se encuentran la recopilación, el almacenamiento y la distribución de los datos de los satélites a los socios de la ESA; actúa como centro de tecnología de la información de la Agencia.

Además, la ESA dispone de oficinas de coordinación en Estados Unidos, Rusia y Bélgica, una base de lanzamientos en la Guayana francesa, y estaciones de aterrizaje y seguimiento en diversas partes del mundo.

¿Cuántas personas trabajan para la ESA?

En el año 2002, el número total de trabajadores de la ESA ascendía a 1898. Este grupo de trabajadores está integrado por ciudadanos de todos los Estados Miembros, entre los que se encuentran científicos, ingenieros, especialistas en tecnología de la información y personal administrativo.

¿De dónde proceden los fondos de la ESA?

Las actividades obligadas de la ESA (programas de ciencia espacial y el presupuesto general) se financian con las contribuciones económicas de todos los Estados Miembros de la Agencia, en función del producto interior bruto de cada país. Además, la ESA desarrolla una serie de programas adicionales. Cada país decide los programas adicionales en los que desea participar y su contribución a los mismos.

¿Qué beneficios obtienen los ciudadanos de la ESA?

La exploración espacial no sólo beneficia a científicos, ingenieros y astronautas, sino que contribuye también a mejorar la vida cotidiana. Éstos son algunos de los aspectos en los que Europa y los ciudadanos europeos se ven beneficiados como consecuencia de los programas de la ESA.

Consolidación y fomento de la Ciencia Europea. El programa espacial europeo ha contribuido a mantener a Europa al frente de los descubrimientos científicos relativos al Sistema Solar y al Universo. Se han alcanzado importantes adelantos en otros campos científicos derivados de estas investigaciones.

Progreso de la ciencia médica. Muchos de los descubrimientos científicos que están permitiendo mejorar y prolongar nuestras vidas tienen su origen en la investigación espacial. Basta con dar dos ejemplos: los últimos avances en la detección del cáncer y los nuevos tratamientos para enfermedades cardíacas.

Creación de nuevas tecnologías. El desarrollo de la tecnología espacial puede adaptarse a otros usos. Por ejemplo, los tejidos resistentes al fuego surgen como resultado de las investigaciones realizadas para proteger los circuitos eléctricos de los cohetes.

Consolidación de la industria Europea. La industria espacial se beneficia de la concesión de contratos de la ESA y pone a disposición de otros usos la experiencia técnica obtenida a raíz de la participación en los programas de la ESA.

Fomento del desarrollo industrial. Los satélites se utilizan para descubrir nuevos yacimientos minerales o petrolíferos.

Protección de la Tierra. Los satélites de observación de la Tierra proporcionan una serie de datos que se utilizan para proteger el medioambiente y para controlar el cambio medioambiental y los daños que éste produce.

Ayuda a la agricultura. La detección remota proporciona información a los Sistemas de Información Geográfica (GIS), que se utiliza para mejorar el cultivo de la tierra y para elaborar estadísticas agrícolas en el ámbito europeo y nacional.

Elaboración de previsiones meteorológicas más precisas. Este aspecto beneficia tanto a la agricultura como a la navegación y a las actividades de ocio.

Avance en las comunicaciones. Los programas televisivos pueden emitirse en todo el mundo. Los satélites también se utilizan en telefonía móvil y en transmisiones de voz y datos.

Creación de mapas precisos. Otro de los beneficios que ha aportado la exploración espacial ha sido el perfeccionamiento de la planificación urbanística.

Progreso en navegación. Los satélites también se utilizan para proporcionar sistemas de navegación, cada vez más utilizados en coches, trenes, aviones y barcos.

Incremento del empleo. La industria espacial europea da trabajo a 40 000 personas de forma directa y a 250 000 de forma indirecta.

Freno a la fuga de cerebros. Las innovaciones científicas desarrolladas por la ESA contribuyen a que los científicos más destacados permanezcan en Europa.

Por último, pero no por ello menos importante, la ESA garantiza que Europa permanezca a la cabeza de la aventura más apasionante del siglo XXI, la exploración espacial.

Índice de ejercicios

1. Control térmico de satélites (Termodinámica, Estequiometría)
2. Despegue de Ariane 5 (Mecánica)
3. El caza-cometas Europeo (Energía, Electricidad)
4. ¿Cuánto ruido hace un cohete? (Ondas, Sonido, Energía)
5. Cuando el suelo se mueve (Ondas, Geometría)
6. El Universo en diferentes longitudes de onda
(Física cuántica, Radiación Electromagnética)
7. La vida a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS)
(Gravitación)
8. ¿Por qué es tan grande Ariane 5? (Densidad, Estequiometría)
9. Basura espacial – un peligro en el espacio (Energía)
10. XMM–Newton descubriendo los secretos del Universo
(Gravitación)
11. Velocidad de rotación de la Tierra y Kourou
(Cinemática de rotación)
12. Eliminando gases contaminantes en el espacio
(Reacciones químicas)
13. Química Espacial (Nomenclatura)
14. Interpretando gráficas: lanzamiento en órbitas de transferencia geoestacionaria
(Mecánica)
15. NUNA: propulsado por El Sol (Trabajo, Potencia, Electricidad)
16. Proyecto Galileo: posicionamiento preciso a escala global
(Ondas electromagnéticas)
17. ISS y ATV – un encuentro en el espacio
(Gravitación, Cinemática de rotación)
18. Preparando una misión a Marte (Gases ideales)
19. Nuevas tecnologías para los satélites: la batería de ión Litio
(Potencia, Energía, Electroquímica)

20. Imágenes de Marte en 3D (Tecnología de la información)
21. SMART-1 – un modo de propulsión innovador
(Campos Electromagnéticos, Momento lineal)
22. Reacciones químicas en un cohete espacial
(Reacciones químicas)
23. Vuelos parabólicos – investigando en microgravedad en La Tierra
(Cinemática)
24. Fotón-M, investigación en microgravedad
(Energía, Gravitación)
25. Manteniendo la órbita correcta (Reacciones químicas, Momento lineal)

Glosario

1 - Control térmico de satélites

En el espacio, la temperatura de un satélite es el resultado del equilibrio entre la energía que recibe del Sol y la Tierra, la energía que el satélite produce y la que pierde a través de *radiación*.

En general, un satélite en órbitas de baja altitud alrededor de La Tierra, como Envisat, recibe energía de tres fuentes diferentes:

Radiación solar directa	$= 1367 \text{ W/m}^2$
La fracción de energía solar reflejada por la tierra (albedo)	$= 0,30$
Radiación infrarroja emitida por la tierra	$= 240 \text{ W/m}^2$

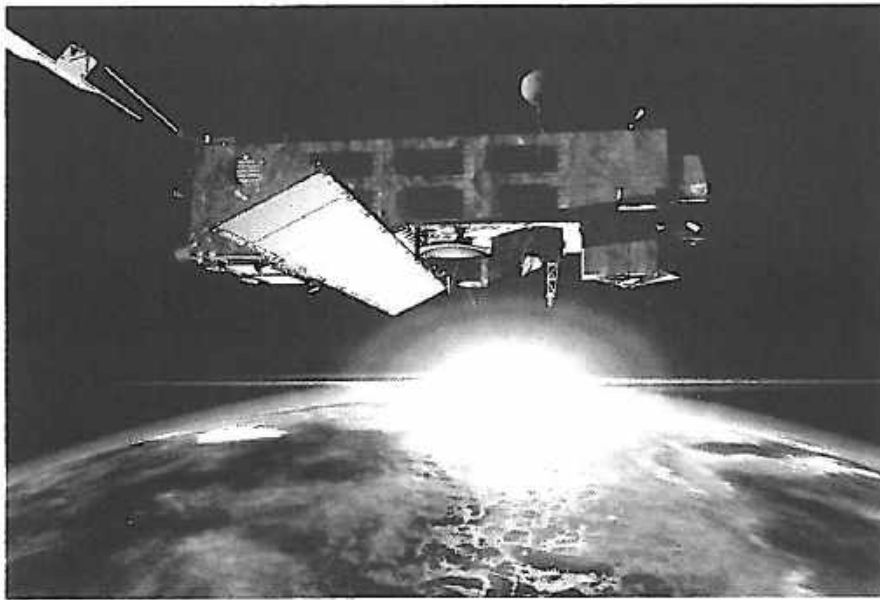


Imagen artística de Envisat

- a) **Calcula la energía (W/m^2) recibida en una órbita de baja altitud.**
- b) **Calcula la energía recibida por Envisat durante 20 s, suponiendo que un cuarto del satélite está mirando al Sol y otro cuarto a La Tierra.**

La *Hidracina* (N_2H_4) es el *propelente* de Envisat. La temperatura de tolerancia está entre 9°C y 40°C .

- c) **Si asumimos que la energía radiada no cambia con la temperatura y que la energía producida no cambia tampoco, ¿cuánto tiempo se emplearía para aumentar en 32°C la temperatura de 50 kg de este propelente?**

Datos: Considera que la superficie de Envisat es $= 160 \text{ m}^2$
El calor específico molar de la Hidracina es $= 98,9 \text{ J/molK}$

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/envisat>

Solución a “Control térmico de satélites”

- a) $Q_{recibida} = 1367 \text{ W/m}^2 + 0,3 \cdot 1367 \text{ W/m}^2 + 240 \text{ W/m}^2 = 2017,1 \text{ W/m}^2$
- b) $Q_{20s} = \left[\frac{1}{4} \cdot 160 \text{ m}^2 \cdot 1367 \text{ W/m}^2 + \frac{1}{4} \cdot 160 \text{ m}^2 \cdot (240 \text{ W/m}^2 + 0,3 \cdot 1367 \text{ W/m}^2) \right] \cdot 20 \text{ s} = 1613680 \text{ J}$
- c) Primero hemos de calcular los moles de Hidracina
- $$n = \frac{50000 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 1562,5 \text{ moles}$$
- $$Q_{Hidracina} = n c_p \Delta t = 1562,5 \text{ mol} \cdot 98,9 \text{ J/molK} \cdot 32 \text{ K} = 4945000 \text{ J}$$
- $$\Delta t = \frac{Q_{Hidracina}}{Q_{20s}} = \frac{4945000 \text{ J}}{1613680 \text{ J}} = 3,06 \approx 1 \text{ min}$$

Afortunadamente hay técnicas de control a bordo de los satélites que mantienen su temperatura entre ciertos límites operativos, permitiendo que los instrumentos funcionen adecuadamente.

2 - Despegue de ARIANE 5

Ariane 5 es el cohete espacial Europeo. Pone en órbita satélites desde la base espacial Europea de Kourou (Guayana francesa, Sudamérica). Para vencer la atracción gravitatoria terrestre se necesitan motores extremadamente potentes que aseguren el despegue.

Durante el despegue, dos *propulsores* a combustible sólido (tanques laterales) producen 6713 kN (kilonewton) cada uno y el motor de la etapa principal *criogénica* (tanque central) produce 1167 kN. La masa de Ariane 5 en el despegue es de 725 toneladas.

Calcula la aceleración vertical de Ariane 5 y en qué porcentaje contribuye cada una de los motores.



Lanzamiento de un Ariane 5

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/launchers>

Solución a “Despegue de ARIANE 5”

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F_4 = 725000 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 7105000 \text{ N} \quad \text{Es el peso de Ariane 5}$$

$$a = \frac{F_1 + F_2 + F_3 - F_4}{m} = \frac{6713000 \text{ N} + 6713000 \text{ N} + 1167000 \text{ N} - 7105000 \text{ N}}{725000 \text{ kg}} = 10,3 \text{ m/s}^2$$

Los dos propulsores laterales producen el 92% del empuje necesario en el despegue.

Funcionan solo 130 segundos – lo que es suficiente para alcanzar una altura de unos 60 km. En ese momento se agota el combustible y los dos propulsores(tanques laterales) se separan y caen al mar.

3 - El caza-cometas Europeo

El “caza-cometas” Europeo Rosetta irá al encuentro y estudiará el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko tras haber viajado por el espacio durante diez años. También liberará un módulo de aterrizaje sobre el núcleo del cometa.

Rosetta será la primera misión espacial en viajar más allá del cinturón principal de asteroides usando *células solares* para la generación de energía. Para producir la energía suficiente que compense el consumo energético en el espacio profundo se necesitan grandes *paneles solares*.

Dato: La potencia P producida a partir de un área dada A de un *panel solar* viene dada por:

$P = \phi_{\text{Sol}} \cdot A \cdot \eta$ Donde ϕ_{Sol} es el flujo de luz solar y η es un factor que incluye la eficiencia de las células solares y su ángulo respecto al Sol. En este ejemplo supondremos es constante con un valor de 0,124.

El flujo de luz solar decrece con la inversa del cuadrado de la distancia al Sol, d (en *unidades astronómicas*) según:

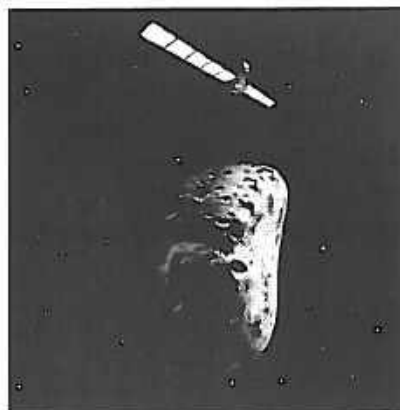
$$\phi_{\text{Sol}} = \left(\frac{1367}{d^2} \right) \text{ W/m}^2 \quad d_{\text{Tierra}} = 1 \text{ U.A.} = 1,49597870 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

Para el correcto funcionamiento de la sonda espacial se necesitará una potencia de 395 W cuando esté a una distancia de $7,853888175 \cdot 10^{11}$ m del Sol.

- Calcula el área de los paneles solares que se necesitan para cumplir los objetivos de la misión.**
- Calcula la potencia que Rosetta produciría en órbita alrededor de la Tierra.**

Para un diseño correcto, dos “alas de paneles solares”, cada una de 2,3 m de ancho, deben ser fijadas a ambos lados del cuerpo principal (un cubo de 2,8 x 2,1 x 2,0 m).

- Calcula la longitud de las “alas” y dibuja la nave Rosetta a escala.**



Rosetta acercándose a un cometa

Para saber más : <http://www.esa.int/rosetta>

Solución a “El caza-cometas Europeo”

$$a) \quad d = \frac{7,853888175 \cdot 10^{11} \text{ m}}{1,49597870 \cdot 10^{11} \text{ m}} = 5,25 \text{ U.A.}$$

Dato: Júpiter está a una distancia de 5,2 U.A.

$$A = \frac{P}{\phi_{\text{Sol}} \cdot \eta} = \frac{395 \text{ W}}{\left(\frac{1367}{(5,25)^2} \right) \text{ W/m}^2 \cdot (0,124)} = 64,2 \text{ m}^2 \approx 64 \text{ m}^2$$

$$b) \quad P = \left(\frac{1367}{1^2} \right) \text{ W/m}^2 \cdot 64 \text{ m}^2 \cdot 0,124 = 10848,5 \text{ W}$$

$$c) \quad l = \frac{64 \text{ m}^2 / 2}{2,3 \text{ m}} = 13,91 \text{ m} \approx 14 \text{ m}$$

4 - ¿Cuánto ruido hace un cohete?

En el despegue, el ruido producido por los potentes motores de Ariane-5 alcanza niveles de intensidad de 180 dB. Esta es una de las razones por las que hay un perímetro de seguridad de 10 km alrededor de la plataforma de lanzamiento. Otras razones son, por ejemplo, los gases tóxicos o la posibilidad de un fallo durante el despegue.

- ¿Cuál es la intensidad de las ondas de sonido en W/m^2 ?
- ¿Cuánta gente tendría que hablar a la vez para producir la misma energía?
- Considera el sonido de Ariane-5 propagándose desde la rampa de lanzamiento y sin ningún obstáculo. ¿Cuál es la intensidad recibida en el límite del perímetro de seguridad?

Escala de decibelios

Nivel de intensidad (dB)	Intensidad (W/m^2)	Sonido
0	10^{-12}	Umbral de audición
10	10^{-11}	Respiración
20	10^{-10}	Susurro de hojas
30	10^{-9}	Casa en silencio
40	10^{-8}	Biblioteca
50	10^{-7}	Oficina normal
60	10^{-6}	Conversación normal (2 personas)
70	10^{-5}	Tráfico normal
80	10^{-4}	Aspirador
90	10^{-3}	Fábrica
100	10^{-2}	Tren subterráneo
120	10	Avión comercial en el despegue (umbral del dolor)
140	10^2	Reactor militar en el despegue (a 30m)

Datos: $I_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ umbral de audición

$$I_{dB} = 10 \log \frac{I}{I_o} \quad \text{fórmula para expresar en decibelios}$$

Para saber más: <http://www.esa.int/launchers>

Solución a “¿Cuánto ruido hace un cohete?”

a) $I_{dB} = 10 \log \frac{I}{I_0}$

$$180 = 10 \log \frac{I}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$180 = 10(\log I + 12)$$

$$6 = \log I$$

$$I = 10^6 \text{ W/m}^2$$

- b) Conversación normal de 2 personas 10^{-6} W/m^2 así pues

$$\text{El número de personas} = \frac{10^6}{10^{-6}} \cdot 2 = 2 \cdot 10^{12} \text{ personas hablando a la vez}$$

Aproximadamente 300 veces la población mundial.

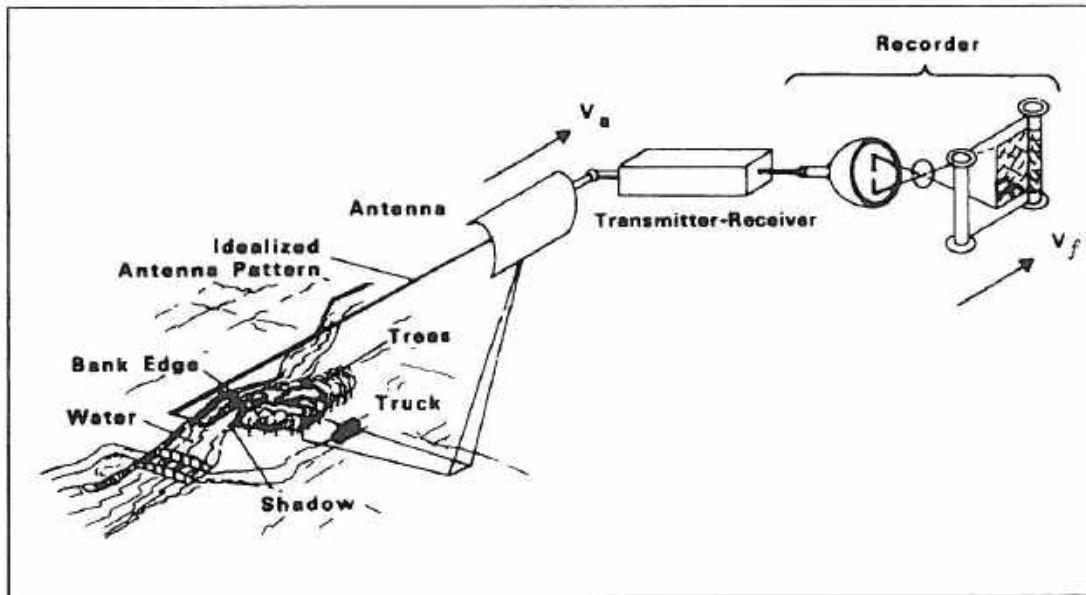
- c) El frente de onda es una esfera centrada en Ariane 5. Como la superficie de esta esfera aumenta con la distancia, la intensidad del sonido disminuye con el área dada

$$I = \frac{\text{Potencia}}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = \frac{10^6 \text{ W}}{4 \cdot 3,14 \cdot (10000 \text{ m})^2} = 8 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

5 - Cuando el suelo se mueve

Un "Radar de Imagen", como el que hay a bordo de los satélites Envisat y ERS de la ESA, es un tipo de radar que funciona mirando de lado en dirección a la superficie terrestre. La señal transmitida $A \cdot \sin(kr + wt)$ se refleja en la superficie y es recibida a bordo del satélite.

La imagen se produce por el movimiento del satélite y el retraso temporal asociado a esta señal recibida, la cual da la distancia entre el objetivo y el radar. (Ver imagen)



Descripción del método para un único punto:

Paso 1 del satélite (cálculo de la altitud¹)

Punto A₁: El satélite envía la señal y recibe la señal reflejada en el mismo punto, grabando la fase $\phi_1 = k \cdot (2R_1)$ donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Punto A₂: El satélite envía la señal y recibe la señal reflejada en el mismo punto, grabando la fase $\phi_2 = k \cdot (2R_2)$ donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Paso 2 del satélite (deformación de la superficie)

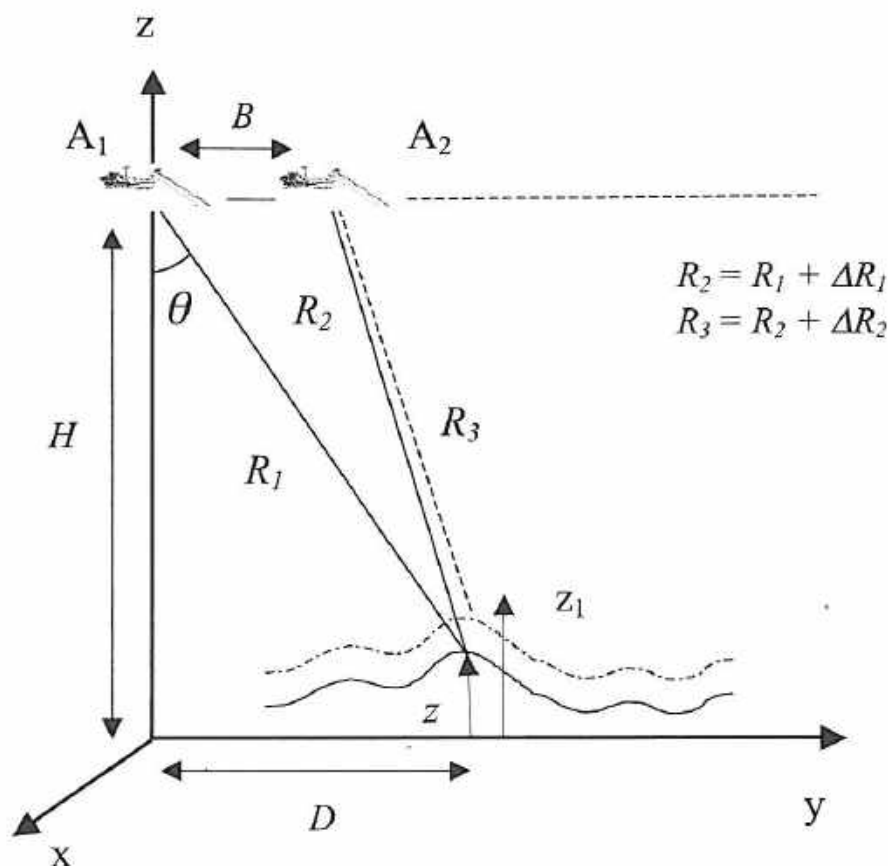
Punto A₂: Tras un cierto tiempo, el satélite pasa de nuevo sobre el mismo punto espacial y registra una fase diferente de este punto debido a una deformación de la superficie R_3

Nota:

Debido a la velocidad de la señal podemos considerar que el satélite no cambia de posición en cada ida y vuelta de la señal emitida.

Los radares pueden tomar imágenes de grandes áreas de terreno día y noche bajo todo tipo de condiciones climáticas.

¹ Véase la nota en la solución



- a) **Calcula ΔR_1 como una función de la diferencia de fase, $\Delta\phi_{21} = \phi_2 - \phi_1$ detectada por la antena.**

Los cambios de altitud en la superficie pueden estar relacionados con erupciones volcánicas, hundimientos de tierra, terremotos, olas marinas, vertidos de petróleo, etc.

Se detecta una deformación. Esta fórmula $\Delta z = z_1 - z = \Delta\phi_{31} \cdot \frac{\lambda}{4\pi} \cdot \cos\theta$ da el rango de deformación comparando las fases tomadas en los diferentes pasos del satélite.

- b) **La diferencia de fase de cada sector está comprendida entre 0 y 2π . Si se usa la banda C ($\lambda = 6 \text{ cm}$) y el ángulo de visión igual a 20° , ¿cuál es la máxima deformación que se puede detectar para cada sector?**
- c) **¿Cómo podrías mejorar la precisión de los datos?**

Para saber más : <http://www.esa.int/envisat>

Solución a “Cuando el suelo se mueve”

- a) Señal de ida y vuelta $2R_2 = 2(R_1 + \Delta R_1)$ por lo tanto

$$\Delta\phi_{21} = \phi_2 - \phi_1 = \frac{2\pi \cdot [2 \cdot (R_1 + \Delta R_1)]}{\lambda} - \frac{2\pi(2R_1)}{\lambda} = \frac{4\pi\Delta R_1}{\lambda}$$

$$\Delta R_1 = \frac{\Delta\phi_{21}\lambda}{4\pi}$$

Nota

Para calcular la altura z :

Los parámetros $\phi, \lambda, B, H, \theta$ son conocidos por el satélite y usando la ley de los cosenos:

$$\text{sen}\theta = \frac{R_1^2 + B^2 - (R_1 + \Delta R_1)^2}{2RB}$$

$$z = H - R_1 \cdot \cos\theta$$

Estas fórmulas se usan para todos los puntos de la superficie. Un programa informático manipula los datos y genera la imagen con la altura de cada punto.

- b) $\Delta z = 2\pi \cdot \frac{6 \text{ cm}}{4\pi} \cdot \cos 20^\circ = 2,8 \text{ cm}$. Por lo tanto las deformaciones se pueden detectar a intervalos de 2,8 cm.
- c) Mediante pasos repetitivos del satélite sobre la misma zona.

6 - El Universo en diferentes longitudes de onda

Los satélites científicos de la ESA observan el universo en diferentes longitudes de onda. Esto significa que pueden ser usados para estudiar una gran variedad de fenómenos: los procesos más violentos del universo - tales como *supernovas* y *agujeros negros*-, la actividad normal de las estrellas e incluso la más antigua *radiación de fondo* del universo. Abajo hay una lista de cuatro satélites de la ESA y las típicas longitudes de onda que sus instrumentos pueden detectar.

Calcula la frecuencia de cada longitud de onda. Clasifícalos en orden decreciente según la energía de la radiación que suelen estudiar.



Hubble $\lambda = 50 \mu\text{m}$

Planck $\lambda = 5 \text{ mm}$

Integral $\lambda = 0,0001 \text{ nm}$

XMM-Newton $\lambda = 0,1 \text{ nm}$

Imagen artística del satélite Integral

Datos: Velocidad de la luz $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/science>

Solución a “El Universo en diferentes longitudes de onda”

Gracias a la ley de Planck conocemos la relación entre energía y frecuencia

$E = h \cdot f$ Donde h es la constante de Planck

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas por $f = \frac{c}{\lambda}$ donde c es la velocidad de la luz en el vacío

$$\text{Hubble} \quad f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{50 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Planck} \quad f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{5 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Integral} \quad f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,0001 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{XMM-Newton} \quad f = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$$

A mayor frecuencia mayor energía.

La solución es:

Integral (Rayos Gamma)

XMM-Newton (Rayos X)

Hubble (Ultravioleta cercano, Visible e Infrarrojo cercano)

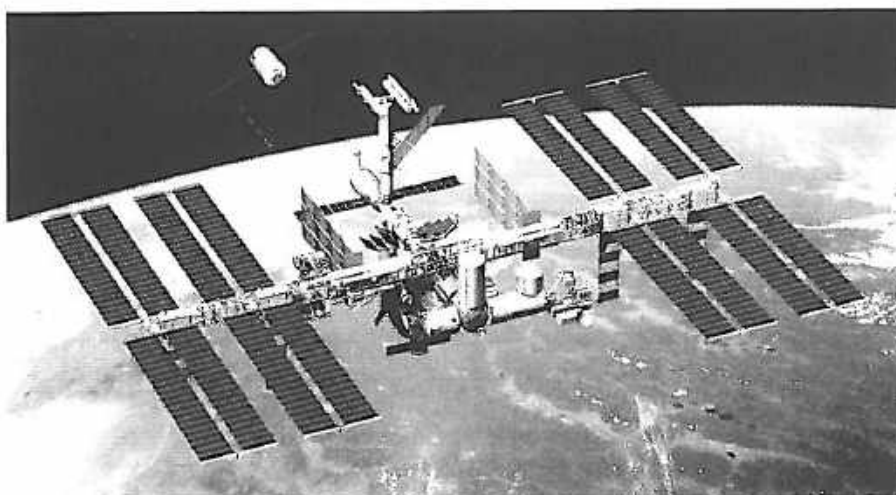
Planck (lanzamiento previsto para 2007) (microondas)

7 - La vida a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS)

En colaboración con los Estados Unidos, Rusia, Japón y Canadá, Europa forma parte del proyecto tecnológico internacional más grande de toda la historia – la Estación Espacial Internacional (ISS).

Una vez completada, con sus 450 toneladas, la Estación Espacial Internacional tendrá más de 1200 metros cúbicos de espacio presurizado, suficiente para una tripulación de siete personas y un amplio conjunto de experimentos científicos.

La ISS se encuentra en órbita en torno a la Tierra a una altura de 400 km sobre su superficie.



La Estación Espacial Internacional

¿Cuántos amaneceres ven los astronautas de la ISS cada día terrestre?

Masa de la Tierra:	$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Radio de la Tierra:	6378 km
Constante gravitatoria:	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$

Si quieres saber más : <http://www.esa.int/esaHS>

Solución a “La vida a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS)”

En una órbita circular la fuerza gravitatoria actúa como la fuerza centrípeta:

Así pues...
$$\frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Simplificando ...
$$v^2 = \frac{G \cdot M}{r}$$

Sustituyendo ...
$$v^2 = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2 \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(400000 \text{ m} + 6378000 \text{ m})}$$

Velocidad
$$v = 7,68 \text{ km/s} = 27648 \text{ km/h}$$

Tiempo empleado en describir una órbita:

$$t = \frac{e}{v} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6778 \text{ km}}{27648 \text{ km/h}} \approx 1,5 \text{ h} = 90 \text{ min}$$

24 h significa un amanecer en la Tierra. La ISS describe una órbita cada 90 min. = 1,5 h

$$\text{El número de amaneceres en la ISS} = \frac{24 \text{ h}}{1,5 \text{ h}} = 16$$

8 - ¿Por qué es tan grande Ariane 5?

Para la propulsión de la principal *etapa criogénica* de Ariane-5 (el tanque central en la imagen), 132 toneladas de oxígeno líquido y 25 toneladas de hidrógeno líquido son almacenados en dicho tanque. Consta de dos compartimentos principales: uno para el oxígeno líquido y otro para el hidrógeno líquido.

- a) ¿Cuál de estos compartimentos debe ser mayor?
- b) Calcula el número de moléculas de hidrógeno y oxígeno.

Supongamos que disponemos de un cilindro de 2,7 m de radio (el mismo que el de Ariane 5).

- c) ¿Qué altura debe tener este cilindro para albergar estas cantidades de oxígeno e hidrógeno líquidos?

Datos:

Densidad del hidrógeno líquido:

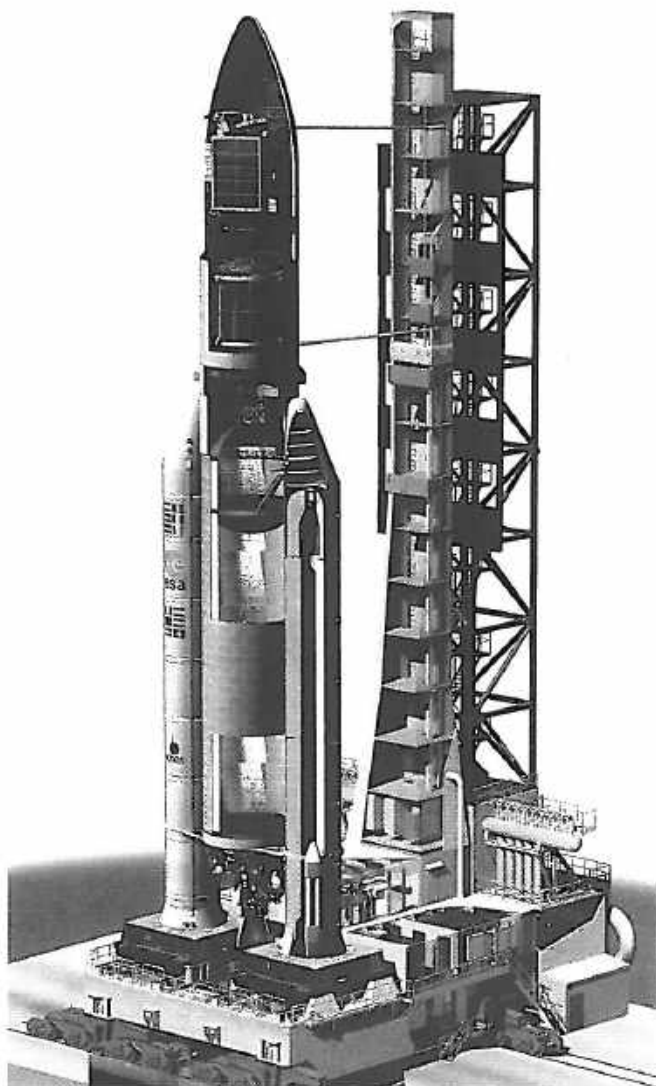
$0,07 \text{ g/cm}^3$

Densidad del oxígeno líquido:

$1,14 \text{ g/cm}^3$

Número de Avogadro:

$6,022 \cdot 10^{23}$ partículas/mol



Si quieres saber más: <http://www.esa.int/launchers>

Solución a “¿Por qué es tan grande Ariane 5?”

a)

$$\text{Compartimento de hidrógeno } V = \frac{m}{d} = \frac{25000 \text{ kg}}{70 \text{ kg/m}^3} = 357,1 \text{ m}^3$$

$$\text{Compartimento de oxígeno } V = \frac{m}{d} = \frac{132000 \text{ kg}}{1140 \text{ kg/m}^3} = 115,7 \text{ m}^3$$

b)

Hidrógeno, H_2

$$25 \text{ toneladas} = 25 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$\frac{25 \cdot 10^6 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 1,25 \cdot 10^7 \text{ mol}$$

$$\text{Moléculas} = 1,25 \cdot 10^7 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 7,5275 \cdot 10^{30} \text{ moléculas}$$

Oxígeno, O_2

$$132 \text{ toneladas} = 132 \cdot 10^6 \text{ g}$$

$$\frac{132 \cdot 10^6 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 4,125 \cdot 10^6 \text{ mol}$$

$$\text{Moléculas} = 4,125 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 2,484 \cdot 10^{30} \text{ moléculas}$$

c)

Si añadimos las dos cantidades tendremos un volumen total de $472,8 \text{ m}^3$

Volumen del cilindro = (Área de la base) x (altura)

$$h = \frac{V}{\pi \cdot R^2} = \frac{472,8 \text{ m}^3}{3,14 \cdot (2,7 \text{ m})^2} = 20,65 \text{ m}$$

Esta es una de las principales razones del tamaño del Ariane 5.

Ariane 5 con sus propulsores, motores, parte superior con la *carga útil*, la tercera etapa de propulsión y algunos compartimentos más, alcanza una altura de más de 50 metros.

9 - Basura espacial – un peligro en el espacio

El Centro Europeo de Operaciones Espaciales (ESOC) situado en Darmstadt, Alemania, es el responsable de controlar los satélites de la ESA que se encuentran en órbita. Además, una de sus tareas es controlar la *basura espacial* generada por el hombre, que podría dañar los satélites.



Centro de control en el ESOC

Aproximadamente 110 000 objetos de entre 1 cm y 10 cm de tamaño han sido detectados en órbitas de baja altitud (entre 400 km y 1000 km). La velocidad orbital típica de los objetos en estas altitudes es de unos 7,5 km/s.

- a) **Supón que una esfera de aluminio de 4 cm de diámetro colisiona con un satélite en órbita y calcula su pérdida de energía cinética.**
- b) **¿A qué velocidad tendría que ir un coche (1 tonelada) para producir la misma energía tras un choque en la Tierra?**

Datos: Densidad del aluminio: $2,70 \text{ g/cm}^3$

Si quieres saber más: <http://www.esoc.esa.de>

Solución a “Basura espacial – un peligro en el espacio”

a) Masa

$$m = V \cdot d = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot d = \frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (2 \text{ cm})^3 \cdot 2,70 \text{ g/cm}^3 = 90,43 \text{ g} \approx 0,0904 \text{ kg}$$

Energía cinética

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0904 \text{ kg} \cdot (7500 \text{ m/s})^2 = 2542500 \text{ J}$$

b) Choque equivalente

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2542500 \text{ J}}{1000 \text{ kg}}} = 71,31 \text{ m/s} = 256,7 \text{ km/h}$$

Hay suficiente energía para penetrar y dañar el satélite, dando como resultado su pérdida.

10 - XMM-Newton descubriendo los secretos del Universo

XMM-Newton es con sus 3,8 toneladas de masa, el mayor satélite científico jamás construido en Europa. Estudia la parte más violenta del Universo mediante la detección de los rayos X emitidos; desde lo que ocurre dentro y en torno a los *agujeros negros* hasta la formación de las *galaxias* en el inicio del Universo.

XMM-Newton fue lanzado el 10 de diciembre de 1999 por el cohete espacial Ariane 5 desde Kourou (Guayana Francesa). XMM-Newton describe una órbita elíptica en 48 horas. El apogeo de su órbita está a 114 000 km sobre la Tierra y el perigeo está a 7000 km sobre la Tierra. En el perigeo su velocidad de paso sobre la Tierra es de 24 120 km/h.

- a) **Averigua la velocidad de XMM-Newton en el apogeo de su órbita.**
- b) **¿En qué parte de la órbita va más lento XMM-Newton?**

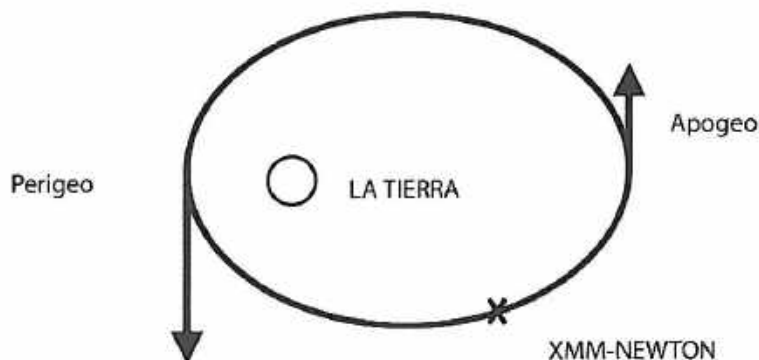
La órbita elíptica de XMM-Newton está inclinada 40 grados respecto al Ecuador de la Tierra, con su parte más alejada en dirección sur.

- c) **¿Por qué tiene la Agencia Espacial Europea una estación de seguimiento en Perth, Australia?**

En los cinturones de radiación que pueden extenderse hasta unos 40 000 km por encima de la Tierra, hay zonas de partículas de alta energía que pueden llevar a los instrumentos de los satélites a realizar falsas lecturas.

- d) **¿Cómo evita XMM-Newton, durante la mayor parte del tiempo, estas falsas lecturas mientras describe su órbita?**

Datos: Radio de la Tierra = 6378 km



Si quieres saber más: <http://www.esa.int/science/xmmnewton>

Solución a “XMM-Newton descubriendo los secretos del Universo”

- a) El momento angular del satélite permanece constante porque se mueve bajo la acción de una fuerza central.

$$L_{apogeo} = L_{perigeo}$$

$$m_{XMM} \cdot v_a \cdot r_a \cdot \sin 90^\circ = m_{XMM} \cdot v_p \cdot r_p \cdot \sin 90^\circ$$

$$v_a = \frac{v_p \cdot r_p}{r_a} = \frac{24120 \text{ km/h} \cdot 13378 \text{ km/h}}{120378 \text{ km}} = 2680,5 \text{ km/h}$$

- b) Según la segunda ley de Kepler, XMM-Newton debe barrer áreas iguales en intervalos de tiempo iguales. El área es más amplia en la parte de la órbita más alejada de La Tierra, de este modo, el tiempo es mayor y la velocidad será menor con la mínima velocidad en el apogeo según vimos en la sección a). Esto significa que XMM-Newton pasa la mayor parte del tiempo en esta parte de la órbita.
- c) Ya que la parte más alejada de la órbita de XMM-Newton está en el hemisferio sur de la Tierra, se requiere una estación de seguimiento en este hemisferio para permanecer en contacto con el satélite.
- d) Teniendo una órbita muy alargada. La ventaja es que pasa la mayor parte del tiempo fuera de los cinturones de radiación, con un apogeo de 120 378 km. De hecho, de un tiempo total de 48 horas invertido en describir su órbita, XMM-Newton pasa casi 40 horas más allá de los cinturones de radiación, donde la astronomía puede continuar sin interrupción.

11 - Velocidad de rotación de la Tierra y Kourou

Los lanzamientos a órbitas geoestacionarias pueden beneficiarse de una velocidad adicional debida a la rotación de la Tierra.

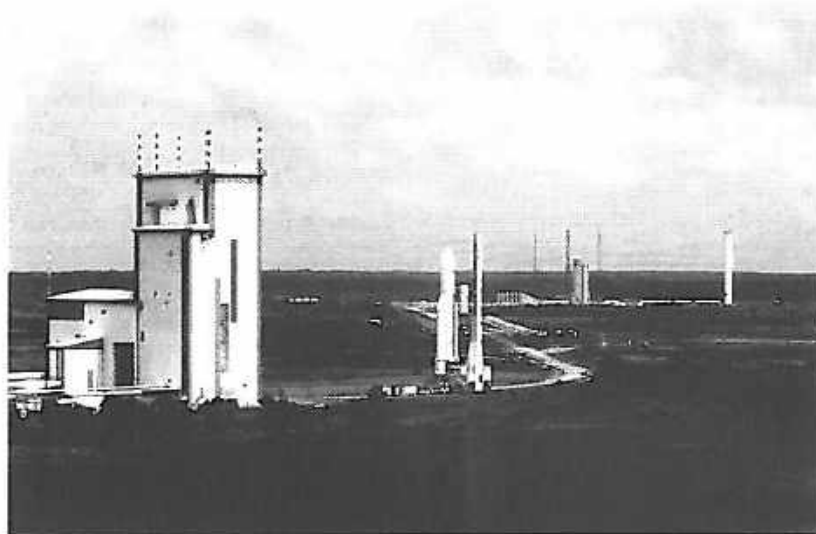
- a) **¿En qué dirección debería despegar un lanzador para beneficiarse de este efecto?**
- b) **Averigua la velocidad adicional suministrada por la rotación de la Tierra en el Ecuador y en el polo norte.**

Kourou, el puerto espacial Europeo, se encuentra en la latitud de $5,2^\circ$, unos 500 km al norte del ecuador.

- c) **Calcula la velocidad adicional suministrada por la rotación de la Tierra al lanzador Europeo Ariane-5 lanzado desde Kourou.**

Baikonur, el puerto espacial Ruso, está situado a una latitud de $51,6^\circ$ y Cabo Cañaveral se sitúa a una latitud de $28,5^\circ$.

- d) **Calcula la velocidad adicional proporcionada a sus lanzadores y compara el resultado con la velocidad adicional en Kourou.**
- e) **¿Cuál es la principal ventaja de este efecto en lo que se refiere al lanzador y al satélite?**
- f) **Si tuvieras que elegir el mejor lugar para construir un puerto espacial en Australia para colocar satélites en órbitas geoestacionarias, ¿elegirías el norte o el sur de Australia? ¿Por qué?**



Ariane 5 de camino a la rampa de lanzamiento en Kourou.

Datos: Radio de la Tierra = 6378 km

Si quieres saber más: www.esa.int/launchers

Solución a “Velocidad de rotación de la Tierra y Kourou”

- a) La misma que la velocidad de rotación de la Tierra, hacia el Este.
b) Ecuador

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{t} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6378 \text{ km}}{24 \text{ h}} = 1668,91 \text{ km/h} = 463,5 \text{ m/s}$$

Polo

$$v = 0 \text{ m/s}$$

Por estar situado en el eje de rotación de la Tierra

- c) Kourou

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos 5,2^\circ}{t} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6378 \text{ km} \cdot \cos 5,2^\circ}{24 \text{ h}} = 1662 \text{ km/h} = 461,6 \text{ m/s}$$

- d) Baikonour

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos 51,6^\circ}{t} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6378 \text{ km} \cdot \cos 51,6^\circ}{24 \text{ h}} = 1036,6 \text{ km/h} = 287,9 \text{ m/s}$$

Cabo Cañaveral

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos 28,5^\circ}{t} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6378 \text{ km} \cdot \cos 28,5^\circ}{24 \text{ h}} = 1466,6 \text{ km/h} = 407,3 \text{ m/s}$$

Está claro que los lanzamientos desde Kourou necesitan menos velocidad adicional inicial gracias a su proximidad al ecuador.

- e) Este efecto hace ahorrar combustible y dinero, así se pueden lanzar satélites más grandes. Desde Kourou Ariane 5 puede lanzar más de 6 toneladas a una órbita geoestacionaria, sin embargo Ariane 5 solo podría lanzar 3,5 toneladas desde Baikonour y 5 toneladas desde Cabo Cañaveral.
- f) Norte de Australia, cerca del Ecuador, para beneficiarse de la máxima velocidad adicional debido a la rotación de la Tierra.

12 - Eliminando gases contaminantes en el espacio

En el espacio habitable donde los astronautas trabajan, el CO_2 producido por la respiración humana debe estar controlado y eliminado antes de que se vuelva tóxico.

En los trajes espaciales, LiOH se usa para adsorber químicamente el CO_2 , produciendo Li_2CO_3 y H_2O .

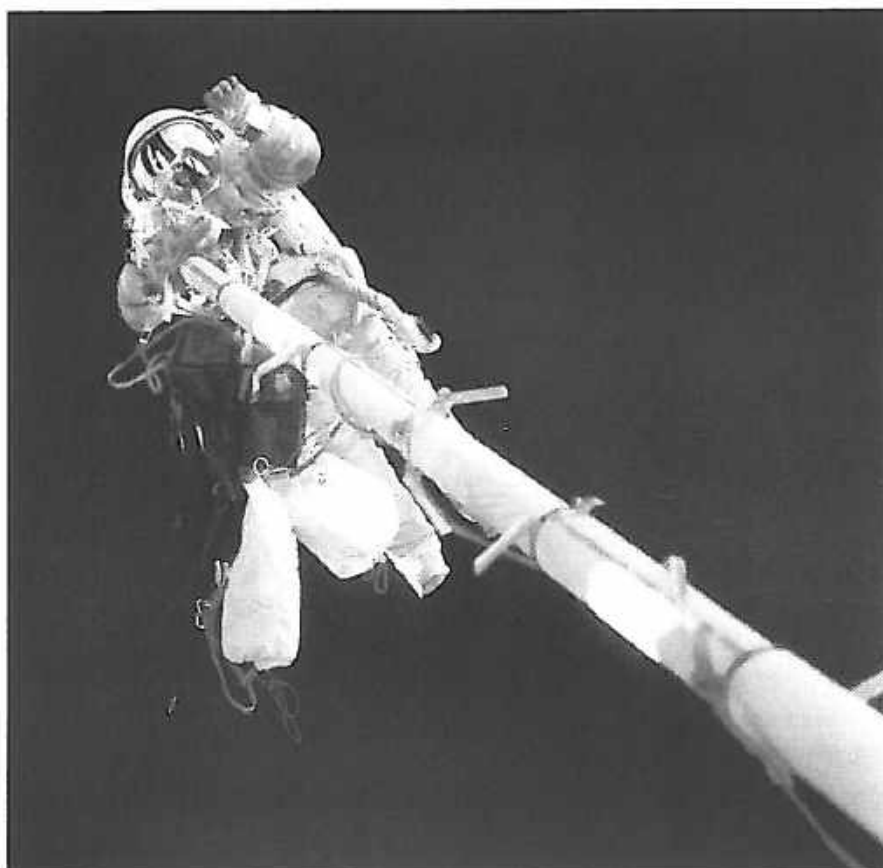
a) **Escribe y ajusta la reacción química**

La producción de CO_2 varía de 0,5 kg a 1,3 kg por persona y día, dependiendo del esfuerzo físico llevado a cabo y del metabolismo de cada persona.

b) **Si tuvieras que planificar una *actividad extravehicular* (EVA) de 6 horas de un astronauta, ¿qué cantidad mínima de LiOH pondrías dentro del traje espacial?**

En la ISS (Estación Espacial Internacional), para eliminar el CO_2 solo se utilizan sistemas regenerables, mientras que recipientes de LiOH se encuentran en reserva como dispositivo de emergencia.

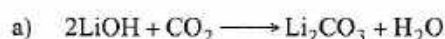
c) **¿Por qué no se utiliza LiOH como principal tecnología para eliminar el CO_2 ?**



Paseo espacial del astronauta de la ESA Thomas Reiter

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/esaHS>

Solución a “Eliminando gases contaminantes en el espacio”



- b) Para estar seguros consideraremos grandes esfuerzos donde más CO_2 se produce, lo cual significa 1,3 kg por persona y día (24 h).

Masa de CO_2 en 6 h = 0,325 kg

$$\frac{48 \text{ g/mol LiOH}}{44 \text{ g/mol CO}_2} = \frac{x}{0,325 \text{ kg CO}_2} \quad x = 0,354 \text{ kg LiOH}$$

Esta cantidad es teórica. En realidad se deben considerar muchos más parámetros, tales como velocidad de reacción, eficiencia, superficie, etc. Como consecuencia siempre se necesitaría una mayor cantidad de LiOH.

- c) El LiOH utilizado no se puede reutilizar y los recipientes se deben almacenar o ser devueltos a La Tierra para ser rellenados de nuevo.
En misiones de larga duración la masa de LiOH necesaria sería enorme y como el parámetro masa es uno de los principales a considerar en cada lanzamiento, se prefiere utilizar otro tipo de tecnologías regenerables y conservar los botes de LiOH para emergencias.

13 - Química Espacial

Completa la siguiente tabla:

	Fórmula	Nombre
Se usa para adsorber el CO ₂ producido durante la respiración por los astronautas	LiOH	
Composición de las <i>células solares</i> del satélite Cryosat que estudiará las variaciones en las capas de hielo del planeta		Arseniuro de Galio
Principal compuesto del <i>propelente</i> utilizado por los <i>propulsores</i> laterales Ariane-5	NH ₄ ClO ₄	
En uno de los detectores del satélite Integral existe una capa de este compuesto		Telururo de Cadmio
El elemento más pesado que se crea en las estrellas durante su proceso normal de vida	Fe	
Pequeñas partículas de <i>basura espacial</i> de origen humano		Óxido de Aluminio
95,32% de la atmósfera de Marte	CO ₂	
Constituyente de la atmósfera de Titán; se cree que también forma lagos en su superficie		Metano
La electricidad de origen nuclear generada en la sonda espacial NASA/ESA Cassini/Huygens se basa en este elemento	Pu	
Las <i>baterías</i> del satélite Envisat		Níquel-Cadmio

Si quieres saber más: <http://www.esa.int>

Solución a “Química Espacial”

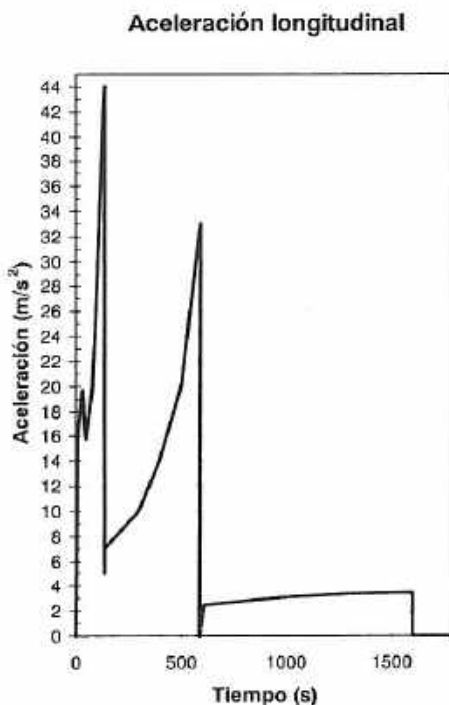
	Fórmula	Nombre
Se usa para adsorber el CO ₂ producido durante la respiración por los astronautas	LiOH	Hidróxido de Litio
Composición de las <i>células solares</i> del satélite Cryosat que estudiará las variaciones en las capas de hielo del planeta	GaAs	Arseniuro de Galio
Principal compuesto del <i>propelente</i> utilizado por los <i>propulsores</i> laterales Ariane-5	NH ₄ ClO ₄	Perclorato de Amonio
En uno de los detectores del satélite Integral existe una capa de este compuesto	CdTe	Telururo de Cadmio
El elemento más pesado que se crea en las estrellas durante su proceso normal de vida	Fe	Hierro
Pequeñas partículas de <i>basura espacial</i> de origen humano	Al ₂ O ₃	Óxido de Aluminio
95,32% de la atmósfera de Marte	CO ₂	Dióxido de Carbono
Constituyente de la atmósfera de Titán; se cree que también forma lagos en su superficie	CH ₄	Metano
La electricidad de origen nuclear generada en la sonda espacial NASA/ESA Cassini/Huygens se basa en este elemento	Pu	Plutonio
Las <i>baterías</i> del satélite Envisat	Ni-Cd	Níquel-Cadmio

14 - Interpretando gráficas: lanzamiento en órbitas de transferencia geoestacionaria

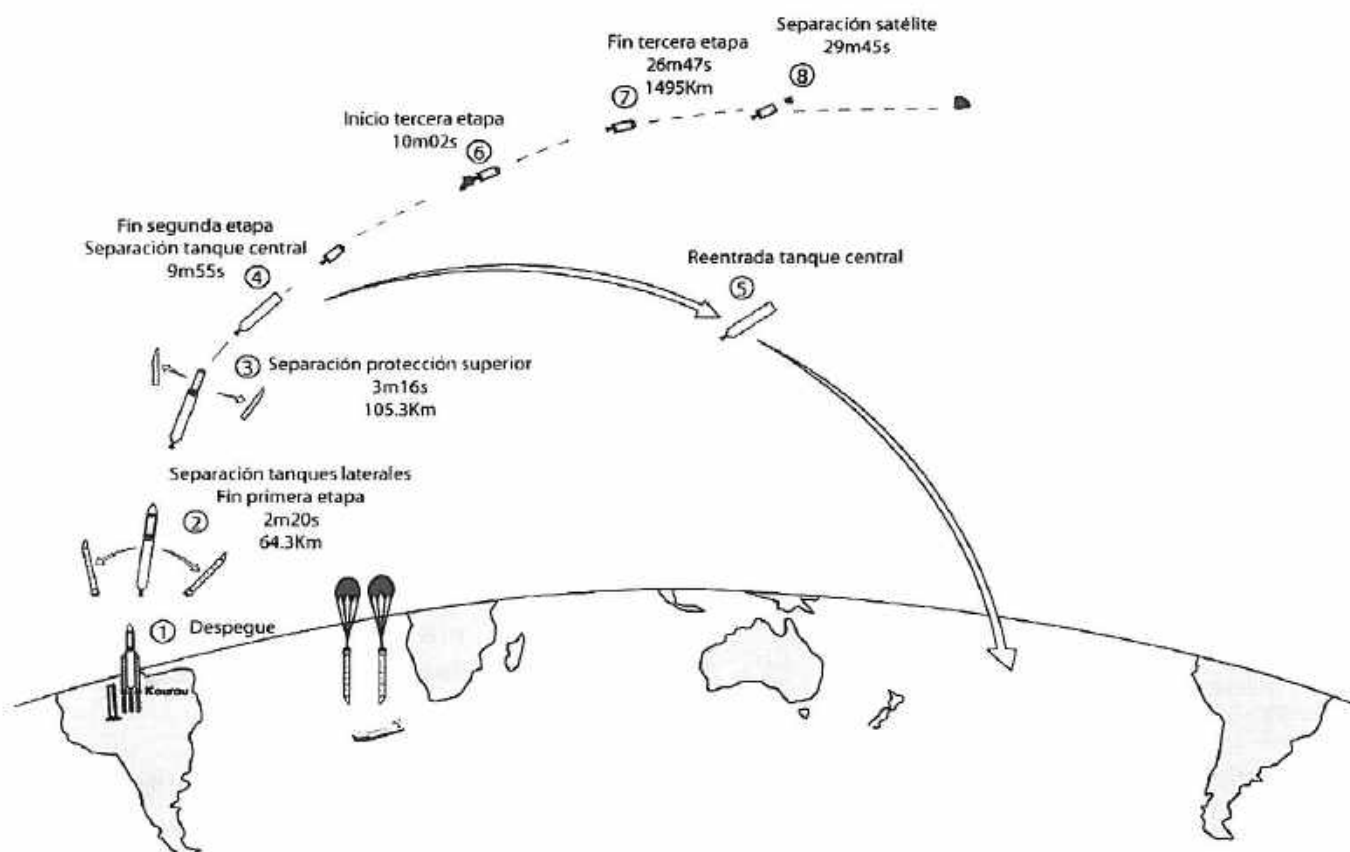
Un lanzador tiene como misión llevar satélites al espacio. Para una mejor eficiencia, la mayoría tiene tres etapas, cada una de ellas se separa del cohete espacial una vez ha finalizado su tarea.

Veamos un ejemplo de como Ariane-5 pone satélites en órbitas de transferencia geoestacionaria.

Compara los esquemas 1 y 2 para poder responder a las preguntas.



- Localiza donde se ajustan los puntos 2, 4 y 7 del esquema de lanzamiento en la gráfica.
- ¿Por qué la aceleración es cero una vez acabada la segunda etapa? ¿Por qué no sucede lo mismo al acabar la primera etapa?
- Durante la segunda etapa el motor funciona a fuerza constante. ¿Cómo es posible que la aceleración vaya aumentando tal como muestra la gráfica?
- La parte superior de la atmósfera se sitúa en torno a 100 km de altura. ¿Por qué a esa altura se separa la protección superior del satélite?
- ¿Qué le sucederá al tanque central, punto nº 5?
- ¿Durante que etapa es la fricción más intensa? ¿Por qué?
- Tras 1600 segundos la aceleración es constante 0 m/s^2 , ¿Por qué?



Si quieres saber más: <http://www.esa.int/launchers>

Solución a “Interpretando gráficas: lanzamiento en órbitas de transferencia geoestacionaria”

- a) Se ajustan en la gráfica con:
2, Primera caída (140 s) en aceleración, cuando la primera etapa finaliza y la segunda continúa
4, Segunda caída (595 s) en aceleración cuando la segunda etapa finaliza
7, Tercera caída (1607 s) en aceleración cuando la tercera etapa finaliza
- b) Porque durante varios segundos ninguna fuerza está actuando y por tanto $F = 0 \Rightarrow a = 0$
Porque la segunda etapa estaba ya funcionando $F \neq 0 \Rightarrow a \neq 0$
- c) $a = \frac{F}{m}$, La fuerza es constante, pero la masa se va consumiendo haciéndose más pequeña y por tanto produciendo un aumento en la aceleración.
- d) Porque Ariane-5 se encuentra ya fuera de la atmósfera y por lo tanto esta protección del satélite ya no es necesaria, sería masa extra.
- e) Será parcialmente desintegrado durante su reentrada en la atmósfera
- f) Durante la primera etapa, cuando Ariane-5 se encuentra todavía dentro de la atmósfera. Esta es una de las principales razones por la cual se necesita tanta fuerza en esta primera etapa.
- g) Porque ya no existe ningún tipo de fuerza propulsiva.
Es a partir de este momento que el satélite será liberado e inyectado en una órbita elíptica de transferencia geoestacionaria. El lanzador ha finalizado su tarea, el satélite se encuentra en órbita.
El apogeo de esta órbita elíptica es el punto común con la órbita circular geoestacionaria. Será en ese punto donde los motores del satélite inyectarán al satélite en la correcta órbita geoestacionaria.

15 - NUNA: propulsado por El Sol

Un coche solar patrocinado por la ESA y llamado Nuna ganó el Campeonato Mundial de Coches Solares (World Solar Challenge) en 2001, una carrera en la cuál se debe cruzar Australia con coches exclusivamente propulsados con energía solar. Nuna batió todos los records. Los tipos de *células solares* utilizadas para Nuna pronto volarán a bordo de los satélites de la ESA. Este coche incluso utilizó células del telescopio espacial Hubble, que fueron traídas a La Tierra por el astronauta Europeo Claude Nicollier. Consideremos ahora un conjunto de casos en los cuáles deberás decidir cuál es la mejor estrategia para poder ganar una carrera con este coche solar.



Nuna fue diseñado por un grupo de estudiantes Holandeses

Parámetros de Nuna

Coefficiente de rozamiento con el suelo, C_r	= 0,0045
Masa	= 270 kg
Eficiencia de la batería	= 95%
Gravedad, g_0	= $9,81 \text{ m/s}^2$

Mientras conduces durante 50-km (masa = 80 kg) tienes un viento de cara de 20 km/h. El programa informático con la estrategia muestra que puedes llegar a conducir a 92 km/h. Durante este periodo la potencia generada por los *paneles solares* es de 1200 W.

La tabla 1 muestra la fuerza de rozamiento aerodinámico que actúa sobre el coche.

Velocidad coche [km/h]	Velocidad viento de cara [km/h]	F_{aero} [N]
82	20	50,15
82	0	32,41
92	20	60,47
92	0	40,80
102	20	71,75
102	0	50,15

Table 1: Fuerzas aerodinámicas a distintas velocidades

Existen 2 posibles estrategias en la conducción de un coche solar, (1) velocidad constante y (2) potencia constante.

- a) **Si quisieras conducir a potencia constante, consumiendo la misma energía que a una velocidad constante de 92 km/h, ¿cuál debería ser el valor de dicha potencia?**
- b) **¿Cuánta energía es consumida durante este tramo? La carga de la batería (State of Charge – SOC) al comenzar era de 4100 W·h. ¿Cuál será la carga de la batería al finalizar el tramo?**

Imagina ahora que durante los primeros 25 km los *paneles solares* producen 1400 W, y que durante los siguientes 25 km producen 1000 W. Si mantienes tu velocidad constante a 92 km/h la carga final de la batería será la misma al final del tramo. Sin embargo, existe una manera de conducir más rápido consumiendo la misma cantidad de energía de tus baterías.

- c) **¿Podrías explicar como? ¿Qué deberías hacer al atravesar una zona con lluvia o nublada, acelerar o frenar?**

Imagina ahora que tienes un viento de cara de 20 km/h en los primeros 25 km, y que no habrá viento en los últimos 25 km. Podrías conducir con velocidad constante, sin embargo, podrías utilizar una estrategia más agresiva conduciendo más lento (Viento, 82 km/h) o acelerando (102 km/h) en las diferentes partes del tramo.

- d) **Si fueras el estratega del equipo, ¿Qué opción elegirías?**

Solución a “NUNA: propulsado por El Sol”

a) $P = F \cdot v$

- $F_{aero} = 60,47 \text{ N}$ (See table 1)
- $F_r =$
 $C_r \cdot m(\text{masa coche} + \text{masa conductor}) \cdot g_0 = 0,0045 \cdot (270 + 80) \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 15,45 \text{ N}$
- $Potencia = (F_{aero} + F_r) \cdot \text{velocidad coche} = 1940 \text{ W}$

b) $E = P \cdot \Delta t$

- $t = \frac{d}{v} = \frac{50 \text{ km}}{92 \text{ km/h}} = 0,543 \text{ h} = 1955 \text{ s}$
- $\text{Energía consumida} = Potencia \cdot t = 1940 \text{ W} \cdot 1955 \text{ s} = 3,792 \text{ MJ}$
- $\text{Energía obtenida} = P_{\text{panel solar}} \cdot t = 1200 \text{ W} \cdot 1955 \text{ s} = 2,346 \text{ MJ}$
- $\text{Balance energético} = \text{Energía obtenida} - \text{Energía consumida}$
 $= 3,792 \text{ MJ} - 2,346 \text{ MJ} = 1,446 \text{ MJ} = 402 \text{ W} \cdot \text{h}$
- $\text{Batería (SOC)} = \text{SOC (t=0)} - E(\text{balance}) \cdot (1/\text{eficiencia})$
 $= 4100 \text{ W} \cdot \text{h} - 402 \cdot \frac{1}{0,95} \text{ W} \cdot \text{h} = 3677 \text{ W} \cdot \text{h}$

- c) Conduciendo más despacio en la parte más soleada, pasarás más tiempo en ella. Por consiguiente recibirás más energía de tus paneles solares durante más tiempo. Es entonces en la parte nublada donde puedes ir más rápido. Algunos equipos en la competición no se dieron cuenta e iban más lento en la parte nublada para no gastar las baterías. Como consecuencia perdieron un precioso tiempo en las zonas nubladas.

- d) Caso 1: Velocidad constante (92 km/h)

$$t(1) = t(2) = \frac{25 \text{ km}}{92 \text{ km/h}} = 0,271 \text{ h} = 975,6 \text{ s}$$

$$92 \text{ km/h} = 25,5 \text{ m/s}$$

Viento

$$P(1) = (F_{aero} + F_r) \cdot v = (60,47 \text{ N} + 15,45 \text{ N}) \cdot 25,5 \text{ m/s} = 1936 \text{ W}$$

Sin viento

$$P(2) = (F_{aero} + F_r) \cdot v = (40,8 \text{ N} + 15,45 \text{ N}) \cdot 25,5 \text{ m/s} = 1434,3 \text{ W}$$

$$E_{\text{total}} = P(1) \cdot t(1) + P(2) \cdot t(2) = 1936 \text{ W} \cdot 975,6 \text{ s} + 1434,3 \text{ W} \cdot 975,6 \text{ s} = 3,288 \text{ MJ}$$

Caso 2: Estrategia agresiva

$$v(1) = 82 \text{ km/h}, t(1) = \frac{25 \text{ km}}{82 \text{ km/h}} = 0,305 \text{ h} = 1098 \text{ s}$$

$$v(2) = 102 \text{ km/h}, t(2) = \frac{25 \text{ km}}{102 \text{ km/h}} = 0,245 \text{ h} = 882 \text{ s}$$

$$82 \text{ km/h} = 22,7 \text{ m/s}$$

$$102 \text{ km/h} = 28,35 \text{ m/s}$$

Viento

$$P(1) = (F_{aero} + F_r) \cdot v = (50,15 \text{ N} + 15,45 \text{ N}) \cdot 22,7 \text{ m/s} = 1489 \text{ W}$$

Sin viento

$$P(2) = (F_{aero} + F_r) \cdot v = (50,15 \text{ N} + 15,45 \text{ N}) \cdot 28,35 \text{ m/s} = 1859,7 \text{ W}$$

$$E_{total} = P(1) \cdot t(1) + P(2) \cdot t(2) = 1489,1 \text{ W} \cdot 1098 \text{ s} + 1859,7 \text{ W} \cdot 882 \text{ s} = 3,275 \text{ MJ}$$

Como podemos ver solamente ganamos en torno a un 1% con una estrategia más agresiva en situaciones con rachas de viento. Sin embargo, en las exigentes competiciones entre coches solares, puede significar el ganar o perder la carrera.

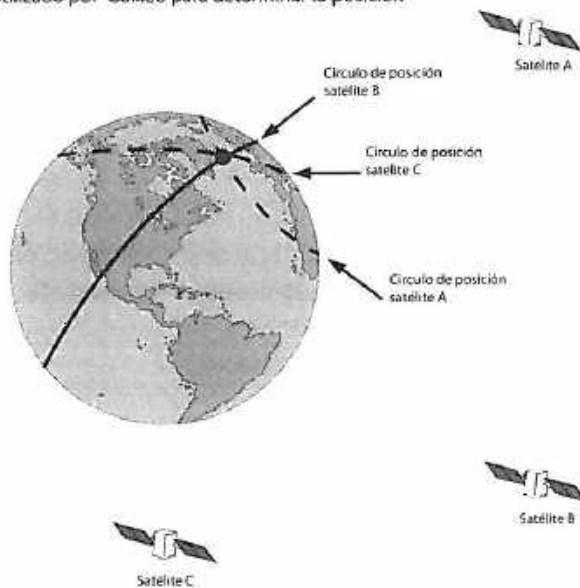
16 – Proyecto Galileo: posicionamiento preciso a escala global

Hacia el año 2011 el sistema global Europeo de navegación Galileo será completamente operativo. Galileo está formado por 30 satélites en tres planos circulares orbitales a 23616 km de altura, que proporcionarán posicionamiento con una precisión menor de un metro, además de buena cobertura en latitudes polares.

Supongamos que un científico se encuentra en Islandia, explorando el glaciar Vatnajökull. Debido a un repentino cambio atmosférico el científico se pierde. Afortunadamente dispone de un receptor vía satélite y un mapa.

Para determinar la posición, el receptor detecta el tiempo que la señal tarda en llegar, viajando a la velocidad de la luz, desde cada satélite y calcula el punto de intersección. Ver dibujos 1, 2 y 3.

Método utilizado por Galileo para determinar la posición



a) Calcula la distancia a cada satélite

$$t_A = 0,0796963586 \text{ s}$$

$$t_B = 0,0832568645 \text{ s}$$

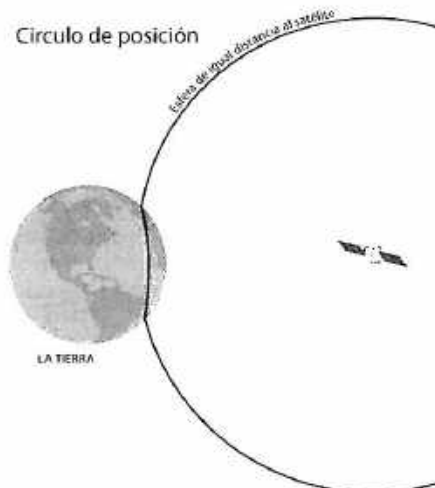
Dibujo 1

Los relojes a bordo de los satélites son atómicos y su precisión es perfecta. Sin embargo, los relojes de los receptores son imperfectos (si no serían muy caros y nadie los podría comprar).

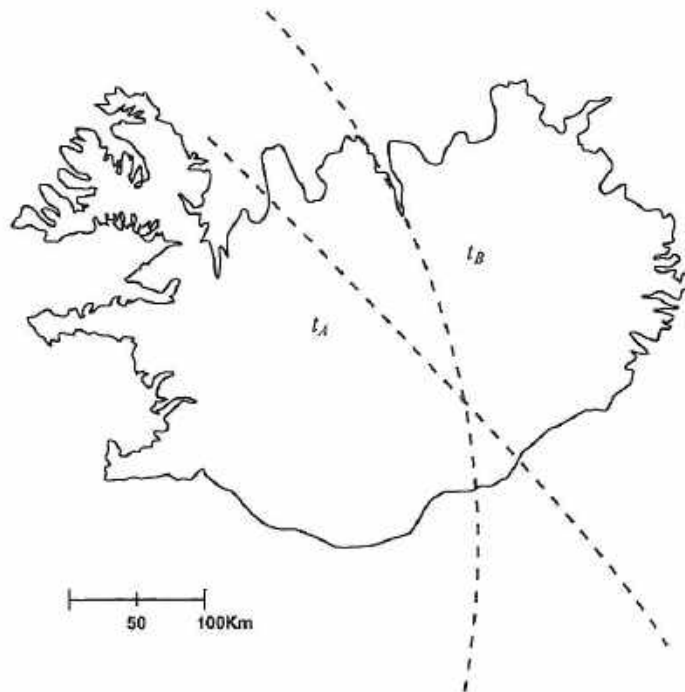
El receptor del científico produce un ligero error de unas milésimas de segundo para cada satélite.

$$t_A = 0,0797963586 \text{ s}$$

$$t_B = 0,0835568645 \text{ s}$$



Dibujo 2



Dibujo 3

- b) **Encuentra el error de posicionamiento en km y dibuja en el mapa donde se situaría la nueva e incorrecta posición.**

Afortunadamente, la señal de un tercer satélite es recibida, siendo posible detectar el error producido por cada señal al encontrar que más de un punto es posible.

- c) **¿Cómo se podría utilizar esta información adicional?**

- 1) Para eliminar el tiempo extra y dar la posición correcta gracias a una corrección interna dentro del receptor.
- 2) Para mostrar un aviso de error en la pantalla del receptor.
- 3) Para enviar una señal de socorro al centro de control de Galileo.

El mundo real es en tres dimensiones y otra coordenada (altitud) es siempre necesaria.

- d) **¿Cuántos satélites se necesitarían como mínimo para continuamente ir guiando e ir dando la posición correcta a un avión?**

Datos: c = Velocidad de la luz = 300 000 km/s

Nota: Por simplicidad hemos considerado un ejercicio en dos dimensiones. El modelo en 3D es obvio si se comprende el modelo 2D.

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/galileo>

Solución a “Proyecto Galileo, posicionamiento preciso a escala global”

- a) Satélite A

$$d_A = t_A \cdot c = 0,0796963586 \text{ s} \cdot 300000 \text{ km/s} = 23908,90758 \text{ km}$$

Satélite B

$$d_B = t_B \cdot c = 0,0832568645 \text{ s} \cdot 300000 \text{ km/s} = 24977,05935 \text{ km}$$

Nota: Realmente dos puntos son matemáticamente posibles, pero uno de ellos es físicamente imposible y por tanto es rechazado.

- b) Satélite A

$$d_A = t_A \cdot c = 0,0797963586 \text{ s} \cdot 300000 \text{ km/s} = 23938,90758 \text{ km}$$

Círculo error: 30 km

Satélite B

$$d_B = t_B \cdot c = 0,0835568645 \text{ s} \cdot 300000 \text{ km/s} = 25067,05935 \text{ km}$$

Círculo error: 90 km

Dibujando el nuevo punto de intersección en el mapa nos encontraremos que la posición dada se encuentra sobre el Océano Atlántico. ¡Algo falla!

- c) La respuesta correcta es la número 1).

El truco es realizar una medida extra desde otro satélite como comprobación y así obtener una precisión perfecta. Al poderse aplicar este proceso a todos los receptores conseguimos que todos se comporten como precisos relojes atómicos.

- d) Al menos se necesita recibir la señal de 4 satélites.

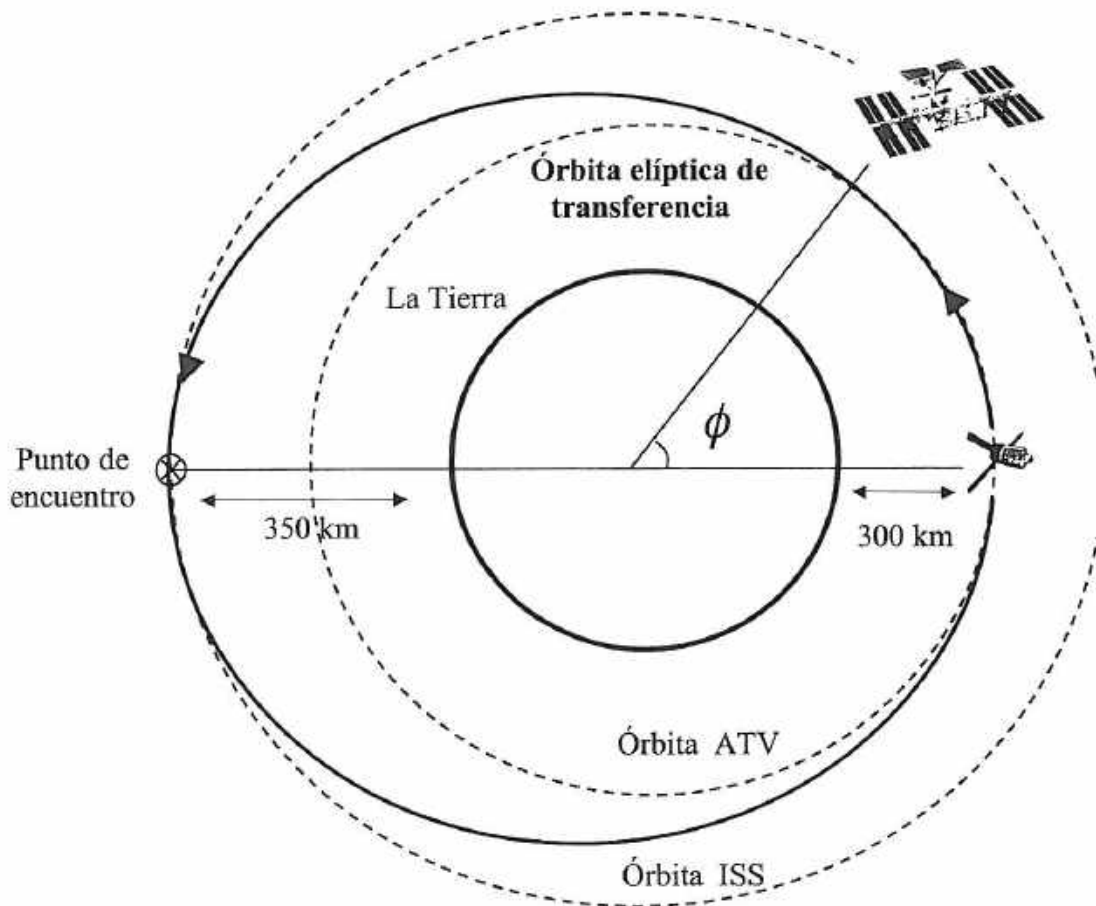
En la mayoría de los lugares se podrán recibir señales provenientes de entre 6 y 8 satélites, ya que Galileo será compatible con los 24 satélites del sistema Americano de navegación GPS.

17 - ISS y ATV – un encuentro en el espacio

La Estación Espacial Internacional (ISS) depende del continuo envío de combustible, comida, aire y agua para su tripulación, además del equipamiento necesario para realizar experimentos. Cada 12 meses, el *vehículo de transferencia automático* (ATV) será puesto en órbita por un Ariane-5 desde el puerto espacial Europeo en Kourou en la Guayana Francesa (Sudamérica) para reabastecer y “*re-propulsar*” (re-boost) la Estación.

El ATV es lanzado a una órbita circular de 300 km, desde la cual se inyecta en una *órbita elíptica de transferencia* que lo lleva al encuentro de la ISS a 350 km de altura.

Datos: Masa de La Tierra:	$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Radio de La Tierra:	$R = 6378 \text{ km}$
Constante gravitatoria:	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$
Tercera ley de Kepler	$\frac{T^2}{a^3} = k$



Considera la órbita de la ISS fija en el espacio e inclinada $51,6^\circ$ respecto al Ecuador y La Tierra rotando debajo.

- a) **¿Cuándo es el mejor momento para lanzar (“ventana de lanzamiento”) el ATV y por qué?**
- b) **Encuentra el valor de la constante de la tercera ley de Kepler y el periodo de una órbita elíptica.**
Ayuda: Considera las órbitas circulares como un caso particular de órbitas elípticas.
- c) **¿Cuál es el periodo de una órbita elíptica alrededor de La Tierra con un semieje mayor de 6703 km?**
- d) **¿Qué ángulo ϕ debe haber entre el ATV y la ISS para que al insertar el ATV en la *órbita de transferencia* lleguemos con éxito al punto de encuentro?**

Solución a "ISS y ATV – un encuentro en el espacio"

- a) Cuando Kourou se encuentra prácticamente debajo de la órbita de la ISS. De esta manera el ATV se pondrá en una órbita que se encontrará en el mismo plano de la ISS, evitando así hacer correcciones posteriores durante la órbita de transferencia.

- b) Tercera ley de Kepler

$$\frac{T^2}{a^3} = k \quad \text{Donde } a \text{ es el semieje mayor}$$

En una órbita circular $a = r$

$$\text{Así } \frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r \quad \text{donde } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{Entonces } \frac{GMm}{r^2} = \frac{mr4\pi^2}{T^2} \quad \text{y} \quad \frac{T^2}{r^3} = k$$

Podemos hallar el valor de $k = \frac{4\pi^2}{GM}$ y como consecuencia $T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}}$

$$\text{c) } T = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{GM}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{(6703000 \text{ m})^3}{(6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}) \cdot (6 \cdot 10^{24} \text{ kg})}} = 5447,8 \text{ s}$$

- d) Como podemos ver en el dibujo, el eje de la órbita elíptica de transferencia es:
 $2a = \text{diámetro de La Tierra} + 300 \text{ km órbita ATV} + 350 \text{ km órbita ISS} = 13406 \text{ km}$
 El semieje mayor es $a = 6703 \text{ km}$ y el periodo de la órbita $T = 5447,8 \text{ s}$
 Solamente se necesita la mitad de la órbita y por tanto $t_{ATV \rightarrow ISS} = 2723,9 \text{ s}$
 Del apartado c) podemos calcular el tiempo orbital de la ISS $t_{ISS} = 5478,35 \text{ s}$
 La velocidad angular de la ISS es:

$$\omega = \frac{2\pi}{t_{ISS}} = \frac{2 \cdot 3,14}{5478,35 \text{ s}} = 1,146 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s}$$

Ahora tenemos que calcular en ángulo recorrido por la ISS en $t_{ATV \rightarrow ISS}$

$$\omega \cdot t_{ATV \rightarrow ISS} = 1,146 \cdot 10^{-3} \text{ rad/s} \cdot 2723,9 \text{ s} = 3,12 \text{ rad} = 178,8^\circ$$

$$\phi = 180^\circ - 178,8^\circ = 1,2^\circ$$

18 - Preparando una misión a Marte

Europa está preparando un plan a largo plazo para la exploración robótica y humana del Sistema Solar, con Marte, la Luna y algunos asteroides como objetivos más probables. Los científicos necesitan un buen nivel de conocimiento de las características físicas de cada objetivo para diseñar las misiones con éxito.



Calcula la densidad atmosférica en la superficie de Marte, suponiendo gases ideales. Compárala con la densidad atmosférica de la Tierra.

Datos:

Tierra

Temperatura media 15 °C
Presión en superficie 1013 mbar = 1atm
Composición atmosférica (aire seco) 78,07% N₂, 21% O₂, 0,9% Ar, 0,03% CO₂

Marte

Temperatura media -55 °C
Presión en superficie 6,35 mbar
Composición atmosférica (aire seco) 95,49% CO₂, 2,7% N₂, 1,6% Ar, 0,13% O₂, 0,08% CO

Constante de los Gases ideales: $R = 0,082 \text{ l-atm/mol}\cdot\text{K}$

Si quieres saber más: <http://www.esa.int>

Solución a “Preparando una misión a Marte”

Para calcular la densidad:

Masa molecular $M = \frac{m}{n}$ por lo tanto $m = n \cdot M$ luego

$$\text{Densidad } d = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M}{\left(\frac{n \cdot R \cdot T}{P}\right)} = \frac{M \cdot P}{R \cdot T}$$

Densidad en la superficie terrestre

Primero hemos de calcular la masa molecular media de la mezcla de gases

$$M_{\text{Tierra}} = 0,7807 \cdot (28 \text{ g/mol}) + 0,21 \cdot (32 \text{ g/mol}) + 0,009 \cdot (40 \text{ g/mol}) + 0,0003 \cdot (44 \text{ g/mol}) = 28,95 \text{ g/mol}$$

$$d = \frac{(28,95 \text{ g/mol}) \cdot (1 \text{ atm})}{(0,0821 \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}) \cdot 288 \text{ K}} = 1,22 \text{ g/l} = 1,22 \text{ kg/m}^3$$

Densidad en la superficie de Marte

Primero hemos de calcular la masa molecular media de la mezcla de gases

$$M_{\text{Marte}} = 0,9549 \cdot (44 \text{ g/mol}) + 0,027 \cdot (28 \text{ g/mol}) + 0,016 \cdot (40 \text{ g/mol}) + 0,0013 \cdot (32 \text{ g/mol}) + 0,0008 \cdot (28 \text{ g/mol}) = 43,47 \text{ g/mol}$$

$$P = 6,35 \text{ mbar} \cdot 1 \text{ atm}/1013 \text{ mbar} = 0,0062 \text{ atm}$$

$$d = \frac{(43,47 \text{ g/mol}) \cdot (0,0062 \text{ atm})}{(0,0821 \cdot \text{atm/mol} \cdot \text{K}) \cdot 218 \text{ K}} = 0,015 \text{ g/l} = 0,015 \text{ kg/m}^3$$

La densidad atmosférica en la superficie de la Tierra es aproximadamente 80 veces superior que la de Marte.

Estos valores pueden variar en la superficie de Marte debido al rango de temperaturas, por ejemplo, de los 27 °C en verano durante el día hasta -133 °C en invierno en los polos.

19 - Nuevas tecnologías para los satélites: la batería de ión litio

La tecnología de ión litio es una excelente fuente para *baterías* ligeras y de gran capacidad energética, para aparatos comerciales portátiles, tales como ordenadores portátiles o teléfonos móviles.

Cada vez más vehículos espaciales usan *baterías* basadas en esta tecnología. Proba es un microsatélite usado para la Observación de la Tierra así como ensayo de nuevas tecnologías. Su *batería* de ión litio de 9 A·h (Amperio-hora) se usa principalmente en la fase de *eclipse*. El voltaje máximo durante el proceso de carga es de 25 V, el voltaje mínimo de descarga es 15 V. El voltaje de descarga promedio que se usará en las preguntas es de 21,6 V. La batería pesa 1,87 kg y el satélite 100 kg.

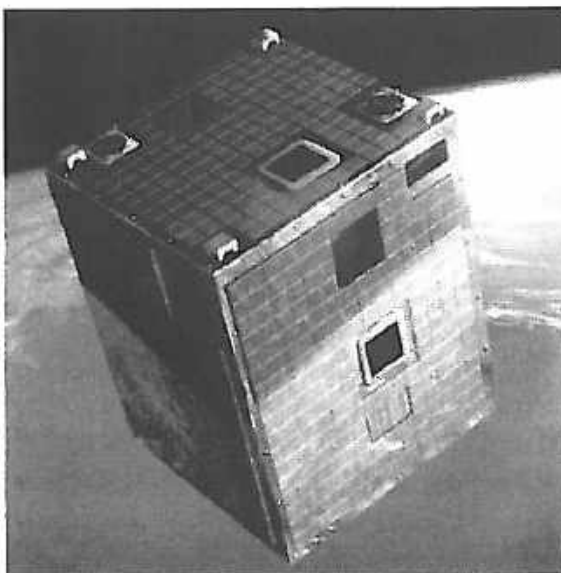
- a) **Calcula la capacidad energética de la batería en Vatios-hora (W·h) y en Julios.**
- b) **Calcula la energía específica de la batería en Vatios-hora/kg (W·h /kg).**

Para aumentar la vida útil y evitar niveles de bajo voltaje en los instrumentos, la máxima descarga se limita al 20% de la descarga total

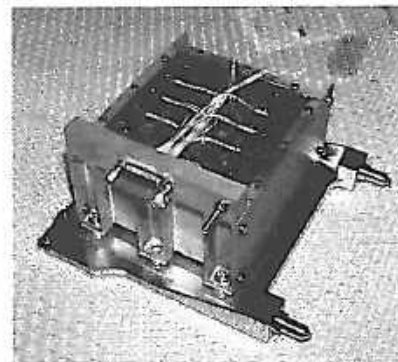
- c) **Calcula la energía almacenada en la batería al alcanzar la máxima descarga.**

Masa es uno de los principales parámetros que hay que tener en cuenta en el diseño de un satélite porque un buen diseño puede ahorrar combustible y por lo tanto dinero en el lanzamiento. La tecnología Ni-Cd se usa también para las baterías de satélites. La energía específica de estas baterías es de 35 W·h/kg

- d) **¿Cuánta masa se añadiría a este satélite llevando baterías de Ni-Cd?**



El satélite Proba



Batería de ión litio de Proba

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/proba>

Solución a “Nuevas tecnologías para los satélites: la batería de ión litio”

a) $E = P \cdot t = V \cdot I \cdot t = 9 \text{ A} \cdot \text{h} \cdot 21,6 \text{ V} = 195 \text{ W} \cdot \text{h} = 195 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 700000 \text{ J}$

Esta energía podría ser repartida en una hora al 100% de descarga.

b) $\text{Energía específica} = \frac{195 \text{ W} \cdot \text{h}}{1,87 \text{ kg}} = 104 \text{ W} \cdot \text{h/kg}$

c) $\text{Energía al 20\% de descarga} = \frac{80 \cdot 195 \text{ W} \cdot \text{h}}{100} = 156 \text{ W} \cdot \text{h}$

d) $m_{\text{Ni-Cd}} = \frac{195 \text{ W} \cdot \text{h}}{35 \text{ W} \cdot \text{h/kg}} = 5,57 \text{ kg}$

$5,57 \text{ kg} - 1,87 \text{ kg}$ significa 3,70 kg de masa ahorrada en el peso total del satélite.

Nota: Para un lanzador como Ariane 5 el precio de la masa de lanzamiento en órbitas de baja altitud es de alrededor de 11000 Euros por kg. En este caso el ahorro del coste de lanzamiento para un lanzamiento de un Ariane 5 habría sido de 41000 Euros.

20 - Imágenes de Marte en 3D

La sonda espacial Europea Mars Express orbita actualmente alrededor de Marte. El objetivo principal de la misión es buscar agua bajo la superficie del planeta. Mars Express también estudia la atmósfera de Marte, la geología del planeta, su composición y estructura. Una cámara de estéreo de alta resolución toma fotografías del planeta en 3D con una *resolución* de unos 10 m.

- a) **Compara la cantidad de datos que obtendrías con esta cámara para la superficie total de Marte y la continental de la Tierra.**

Los datos reunidos serán transmitidos a una estación de la ESA en Australia a una velocidad media de 100 kbps (kilobits por segundo).

Imagina que se ha descubierto agua en una zona particular.

- b) **¿Cuánto tiempo se emplearía en recibir en la Tierra una imagen de 200-MB de esa zona desde Mars Express, en órbita alrededor de Marte a una distancia de 300 000 000 km?**

Nota: Todos estos 200 MB de datos se procesan y comprimen en imágenes tipo JPEG o TIFF de unos pocos MB

- c) **Cada día serán emitidos desde la nave a la Tierra hasta 5 Gbits de datos científicos. ¿Cuánto tiempo se invierte en enviar los datos?**



Vista de Marte con una cámara a bordo de Mars Express

Datos: Radio de Marte = 3397 km, Radio de la Tierra = 6378 km
El 71% de la Tierra está cubierto de agua
Velocidad de la señal = velocidad de la luz (c) = 300 000 km/s

Almacenaje de datos

	Bit	Byte	Kilobyte	Megabyte	Gigabyte
1 Byte	8	1	-	-	-
1 Kilobyte (KB)	8 192	1 024	1	-	-
1 Megabyte (MB)	8 388 608	1 048 576	1 024	1	-
1 Gigabyte (GB)	8 589 934 592	1 073 741 824	1 048 576	1 024	1

Transferencia de datos: 1 Gbits = 1000 Mbits = 10^6 Kbits = 10^9 bits

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/science/marsexpress>

Solución a “Imágenes de Marte en 3D”

- a) Área de la superficie de la Tierra = $4\pi(R_{Tierra})^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot (6378 \text{ km})^2 = 510926783 \text{ km}^2$
Área del suelo terrestre (29%) = 148168767 km^2
Área de la superficie de Marte = $4\pi(R_{Marte})^2 = 4 \cdot 3,14 \cdot (3397 \text{ km})^2 = 144937489 \text{ km}^2$

Los datos obtenidos serían aproximadamente los mismos, de hecho el área de la superficie de Marte más un área del tamaño de la India serían exactamente igual al área continental de la Tierra.

- b) Tiempo empleado por la señal para llegar a la Tierra desde Mars Express

$$t_{señal} = \frac{d}{c} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ km}}{3 \cdot 10^5 \text{ km/s}} = 1000 \text{ s} = 16 \text{ m } 40 \text{ s}$$

Tiempo para enviar todos los datos

$$t_{datos} = \frac{200 \text{ MB} \cdot 8388608 \text{ bits/MB}}{100000 \text{ bits/s}} = \frac{1677721600 \text{ bits}}{100000 \text{ bits/s}} = 16777 \text{ s} = 4 \text{ h } 39 \text{ m } 37 \text{ s}$$

$$t = t_{señal} + t_{datos} = 16 \text{ m } 40 \text{ s} + 4 \text{ h } 39 \text{ m } 37 \text{ s} = 4 \text{ h } 56 \text{ m } 17 \text{ s}$$

c) $t_{datos} = \frac{5 \text{ Gbits}}{100000 \text{ bits/s}} = \frac{5 \cdot 10^9 \text{ bits}}{100000 \text{ bits/s}} = 50000 \text{ s} = 13 \text{ h } 53 \text{ m } 20 \text{ s}$

Nota:

La HRSC (Cámara estéreo de alta resolución) representará:

- El 50% de la superficie de Marte con una resolución de 10 – 15 metros /pixel
- El 70% de la superficie de Marte con una resolución de 30 metros/pixel
- El 100% de la superficie de Marte con una resolución de 100 metros/pixel.
- Áreas seleccionadas con una resolución de alrededor de 2 metros/pixel.

21 - SMART-1 – un modo de propulsión innovador

La sonda espacial Europea con destino La Luna, SMART-1, es propulsada mediante propulsión eléctrica. La versión simplificada del sistema de propulsión eléctrica se muestra en la figura 1.

El *propelente* usado es gas Xenón.

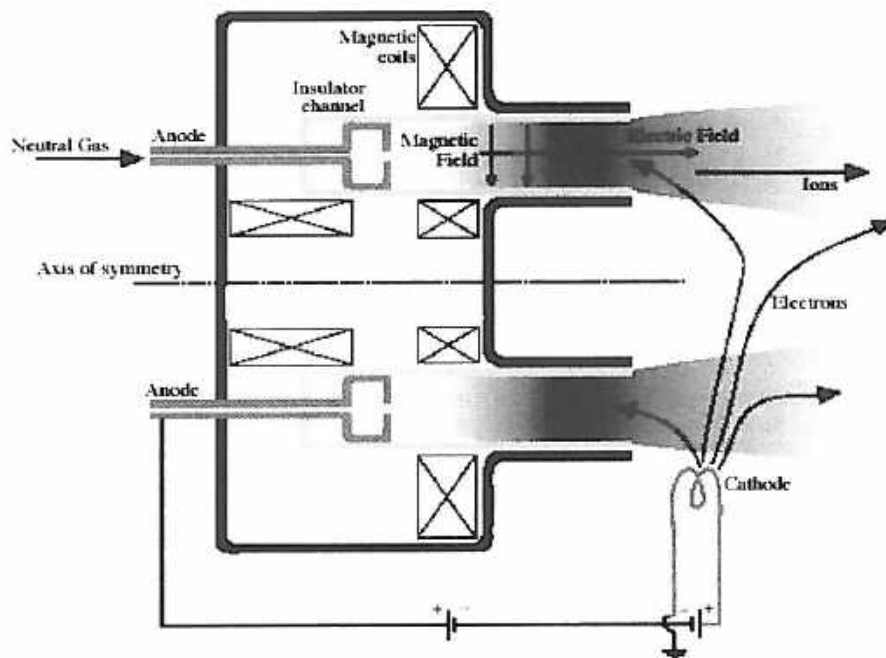


Figura 1: Representación esquemática de la propulsión eléctrica

- Calcula las fuerzas eléctricas y magnéticas sobre los iones de Xenón y electrones
- Calcula el radio y la velocidad angular ω del movimiento helicoidal ejecutado por partículas cargadas en presencia de un campo magnético perpendicular al campo eléctrico.

Si el parámetro de Hall $\Omega = \frac{\omega}{\nu_c}$ es grande, las partículas permanecen atrapadas en la cámara del sistema de propulsión. Si el parámetro es pequeño las partículas pueden escapar. La frecuencia de colisión ν_c es una constante teórica determinada estadísticamente a partir de varias teorías sobre las interacciones de partículas, e.g. $2,6 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1}$

- ¿Qué partícula tiene un mayor parámetro de Hall?
- Para empezar el proceso de propulsión eléctrica, los electrones emitidos por el cátodo se mueven hacia el ánodo bajo la influencia del campo eléctrico. ¿Cuál es la dirección de la fuerza que actúa?

Como hemos visto en c) estos electrones están atrapados, formando un cátodo virtual mantenido casi al mismo potencial que el del cátodo externo.

- e) **¿Qué ocurrirá cuando el gas neutro (Xenón) colisione con los electrones?**
- f) **Suponiendo una velocidad constante, ¿qué partícula elegirías para ser arrojada y producir empuje, los iones de Xenón o los electrones? ¿Por qué?**

Datos del motor, basado en el efecto Hall, de SMART-1:

$$E = 7500 \text{ V/m}$$

$$B = 0,035 \text{ T}$$

$$v_i = 14000 \text{ m/s}$$

$$v_i \in [230, 20000] \text{ m/s}$$

$$m_{Xe^+} = 2,187 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/science/smart1>

Solución a “SMART-1 – un modo de propulsión innovador”

a) $\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = (\vec{F}_E + \vec{F}_B)$

Los iones de Xenón y los electrones

$$F_E = q \cdot E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 7500 \text{ V/m} = 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

$$F_B = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 14000 \text{ m/s} \cdot 0,035 \text{ T} = 7,8 \cdot 10^{-17} \text{ N}$$

- b) La fuerza magnética actúa como fuerza centrípeta, por lo tanto

$$\frac{mv^2}{r} = qvB \sin 90^\circ$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$$v = \omega r \quad \text{por tanto} \quad \omega = \frac{qB}{m}$$

Iones de Xenón

$$r = 5,4675 \cdot 10^8 \text{ m} \quad \omega = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

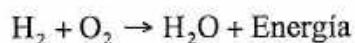
Electrones

$$r = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad \omega = 6,2 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$$

- c) Los electrones
- d) Perpendicular al plano que contiene los dos campos
- e) El gas es ionizado permitiendo que el campo eléctrico acelere los iones y los expulse
La velocidad de salida de los iones de Xenón es igual a 20 km/s
- f) Como los iones tienen mayor masa que los electrones, a misma velocidad el empuje producido será mayor, como se demuestra en *el Principio de conservación del momento lineal*

22 - Reacciones químicas en un cohete espacial

La etapa criogénica principal de Ariane-5 se basa en la combustión de hidrógeno líquido y oxígeno líquido. El tanque de oxígeno contiene 132 toneladas y el de hidrógeno contiene 25 toneladas. La reacción química es:



- a) ¿Qué tipo de reacción química es, atendiendo a su intercambio energético?
- b) ¿Cuál de estos elementos limita la reacción? Da una razón para el exceso de masa.
- c) Sabiendo que el oxígeno líquido es conducido a la cámara de combustión a un ritmo de 221 litros por segundo, ¿cuánto hidrógeno (en kg) se requiere cada segundo para que el oxígeno reaccione completamente?



Ariane-5 en la rampa de lanzamiento

- d) La energía liberada por la combustión es 12,792 kJ/g. ¿Cuánta energía se libera en 10 segundos? Calcula desde que altura necesita caer un camión de 20 toneladas para perder la misma cantidad de energía.

(Nota: Suponemos que no existen fuerzas de rozamiento y que la aceleración debido a la gravedad vale 10 m/s²)

Datos: Densidad del oxígeno líquido 1,14 g/cm³

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/launchers>

Solución a "Reacción química en un cohete"

- a) Exotérmica.
b) Primero tenemos que ajustar la ecuación:



Probamos primero con el hidrógeno.

El oxígeno que se necesita para reaccionar completamente con 25 toneladas de hidrógeno viene dado por:

$$\frac{4 \text{ g/mol H}_2}{32 \text{ g/mol O}_2} = \frac{25000 \text{ kg}}{x} \quad x = 200000 \text{ kg}$$

Como el cohete espacial Ariane-5 contiene solo 132 toneladas de oxígeno líquido, es el oxígeno el que está limitando la reacción.

Parte del exceso de hidrógeno líquido a $-252,8^\circ\text{C}$ se usa para refrigerar la cámara de combustión, donde la temperatura llega a 1500°C .

- c) La masa de oxígeno viene dada por:

$$m = V \cdot d = 0,221 \text{ m}^3 \cdot 1140 \text{ kg/m}^3 = 252 \text{ kg}$$

Para determinar la masa de hidrógeno

$$\frac{4 \text{ g/mol H}_2}{32 \text{ g/mol O}_2} = \frac{x}{252 \text{ kg}} \quad x = 31,5 \text{ kg}$$

- d) La energía liberada en 10 segundos viene dada por:

$$E = (252000 + 31500) \text{ g/s} \cdot 10 \text{ s} \cdot 12,792 \text{ kJ/g} = 36265320 \text{ kJ}$$

Para compararla con la caída de un camión de 20 toneladas, debemos determinar la altura correspondiente a la energía potencial de mismo valor

$$h = \frac{E}{m \cdot g} = \frac{36265320 \text{ kJ}}{20000 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2} = 181,3 \text{ km}$$

23 - Vuelos parabólicos – investigando en microgravedad en la Tierra

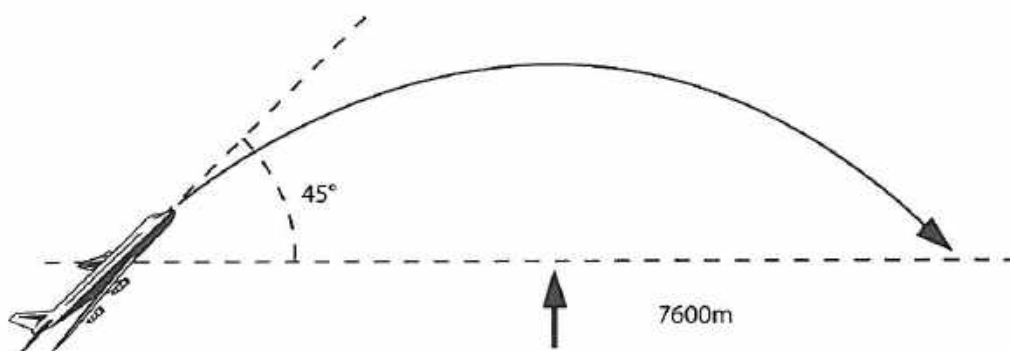
En la campaña anual de vuelos parabólicos de estudiantes de la ESA, 120 estudiantes universitarios experimentan la *microgravedad* y prueban sus experimentos a bordo de un avión Airbus A300 cuando “cae” con una trayectoria parabólica (la misma trayectoria que sigue una bola cuando la tiras).



Estudiantes trabajando en gravedad cero (zero-G)

En el inicio de cada parábola el avión se encuentra a una altura de 7600 m, subiendo con un ángulo de 45 grados y una velocidad de 580 km/h. En ese preciso instante los motores se apagan para permitir que el avión se mueva sólo bajo la influencia de la gravedad. La parábola finaliza cuando el avión ha vuelto a una altitud de 7600 m.

- a) ¿Cuánto tiempo pasan los estudiantes en microgravedad en cada parábola?
- b) ¿Cuál es la mayor altitud que alcanza el Airbus A300?



Si quieres saber más: <http://www.esa.int/education/parabolic>

Solución a “Vuelos parabólicos – investigando en microgravedad en la Tierra”

- a) Velocidad vertical inicial:

$$580 \text{ km/h} = 161 \text{ m/s}$$

$$v_{oy} = 161 \text{ m/s} \cdot \sin 45^\circ = 112,7 \text{ m/s}$$

Distancia vertical en cada extremo de la parábola: $y = 0 \text{ m}$

Accleración debido a la gravedad: $a = -9,8 \text{ m/s}^2$

$$\text{Ecuación del movimiento (1): } y = v_{oy} \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

Así pues, sustituyendo (a) en la ecuación (1): $0 = 112,7 \cdot t - 0,5 \cdot 9,8 \cdot t^2$

$$t = 0 \text{ s (punto de inicio) o } t = 23 \text{ s}$$

- b) Calculemos tiempo en el punto culminante de la parábola (la mitad del tiempo total):

$$\text{Ecuación del movimiento (2): } v_y = v_{oy} + at$$

Velocidad vertical cuando está en lo más alto: $v_y = 0 \text{ m/s}$

Por lo tanto, de (2) $0 = 112,7 - 9,8 t$

$$t = 11,5 \text{ s}$$

Por tanto, de (1) $y = 112,7 \text{ m/s} \cdot 11,5 \text{ s} - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (11,5 \text{ s})^2$

$$y = 648 \text{ m}$$

Se añade a la altura inicial y la Altitud = $7600 \text{ m} + 648 \text{ m} = 8248 \text{ m}$

24 - Foton-M, investigación en microgravedad

Foton-M es un satélite Ruso que a menudo lleva *carga útil* de la Agencia Espacial Europea, y a veces incluso lleva experimentos diseñados y contruidos por estudiantes universitarios. Los satélites Foton-M orbitan alrededor de la Tierra a una altitud de 300 km y a una velocidad de 7,74 km/s. Cada uno tiene una masa de 6,5 toneladas.

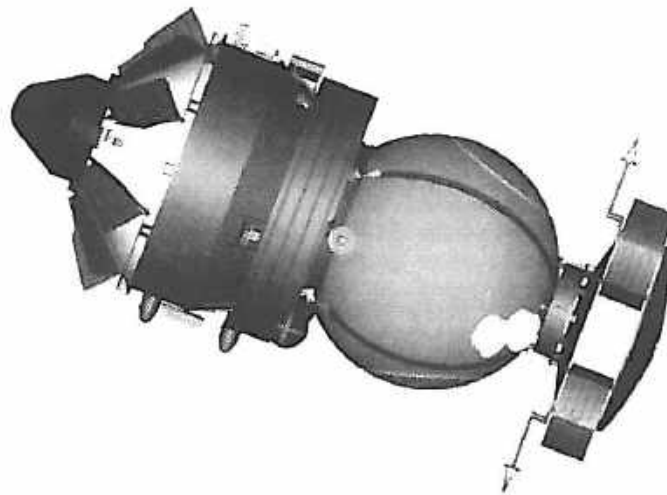
Los satélites Foton-M son puestos en órbita por cohetes Soyuz-U.

- a) **¿Cuánta energía cinética comunican estos cohetes a cada satélite Foton-M?**
- b) **¿Cuánta energía potencial gravitatoria posee el Foton-M en órbita y qué porcentaje representa de su energía total?**

El satélite Foton-M incluye una cápsula de reentrada con los experimentos y que tiene una masa de 2,4 toneladas. Durante la reentrada esta cápsula pierde casi toda su energía debido a la fricción con la atmósfera.

- c) **¿Cuánta energía debe perder la cápsula para hacer un aterrizaje seguro?**

Toma el valor de $9,5 \text{ m/s}^2$ para la aceleración media debido a la gravedad que es la experimentada por el satélite Foton-M.



Satélite Foton-M

Si quieres saber más: <http://www.esa.int/education/foton>

Solución a "Foton-M, investigación en microgravedad"

a) Energía potencial gravitatoria: $E_p = mgh$

Energía cinética: $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

Sustituyendo... $E_c = 0,5 \cdot 6500 \text{ kg} \cdot (7740 \text{ m/s})^2 = 1,946 \cdot 10^{11} \text{ J}$

b) Sustituyendo... $E_p = 6500 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 300000 \text{ m} = 1,852 \cdot 10^{10} \text{ J}$

Porcentaje de E_p respecto a $E_{total} = \frac{E_p}{(E_p + E_c)} = 0,0869 = 8,69\%$

(Nota: los alumnos avanzados pueden establecer y evaluar $\int_{suelo}^{orbita} \frac{G \cdot M \cdot m}{r^2} dr$

para conseguir un valor más preciso de $E_p = 1,831 \cdot 10^{10} \text{ J}$)

- c) Para hacer un aterrizaje seguro (energía potencial cero y energía cinética cero) la cápsula debe perder TODA la energía que ganó durante su puesta en órbita. Dado que la energía es directamente proporcional a la masa y que la masa de la cápsula representa el 0,369 de la masa de la nave, la energía disipada durante la reentrada debe ser:

$$E_{reentrada} = 0,369 \cdot E_{total} = 7,86 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

25 - Manteniendo la órbita correcta

En Marzo de 2002, la Agencia Espacial Europea lanzó Envisat, un satélite de observación de La Tierra que toma datos de la atmósfera, de los océanos, del hielo y del terreno con el propósito de monitorizar y estudiar el medioambiente a escala global.

- a) **Para esta misión, se eligió una órbita polar (90° de inclinación sobre el ecuador). ¿Ofrece esta órbita una cobertura completa de la Tierra?**

El módulo de propulsión consta de 4 tanques de *propelente* con una capacidad de combustible de 300 kg de *hidracina* (N_2H_4)

- b) **Calcula la masa de nitrógeno e hidrógeno.**

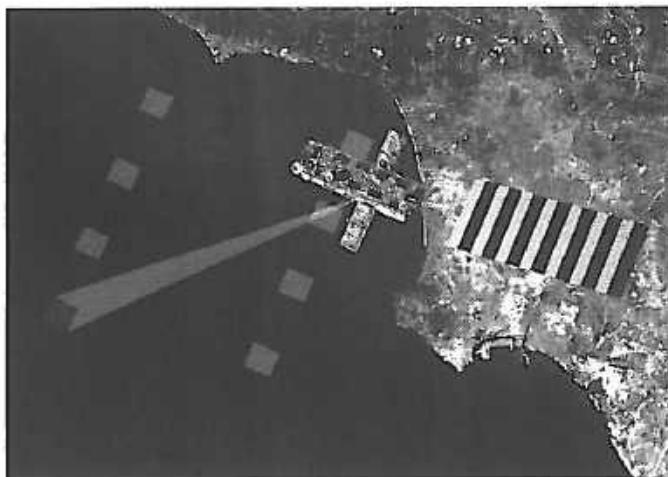
La descomposición catalítica de la hidracina es: $\text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{N}_2$

Alrededor de 2/5 del amoníaco se descomponen mediante la reacción química $\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2$. Los tres elementos (amoníaco, nitrógeno e hidrógeno) son expulsados para producir empuje.

- c) **Si se inyectan 2 kg de hidracina en el catalizador, calcula la masa de hidrógeno, nitrógeno y amoníaco expulsado al espacio.**

Diez instrumentos a bordo de Envisat toman datos de la Tierra, a veces reconsiderando áreas donde una detección de cambios es importante, por ejemplo en áreas inundadas. Para esta tarea es muy importante mantener la órbita correcta.

- d) **¿Cómo podría el sistema de propulsión proporcionar una maniobra en órbita? ¿En qué ley física de conservación se basa?**
- e) **La velocidad de emisión de los gases expulsados es de unos 3000 m/s de media. Queremos aumentar la velocidad del Envisat (8 toneladas) a 0,35 m/s. ¿Cuántos kilogramos de hidracina se necesitarían?**

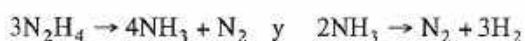


Si quieres saber más: <http://www.esa.int/envisat>

Solución a "Manteniendo la órbita correcta"

- a) Sí. La órbita está fija en el espacio y la Tierra rota debajo. Ello permite hacer mediciones estables y poderlas repetir cada cierto tiempo.
- b) 1 mol de $N_2H_4 = 32$ g de los cuales 28 g son nitrógeno (87,5%) y 4 g son hidrógeno (12,5%), por eso manteniendo la relación de masas en los 300 kg de hidracina, se obtienen 262,5 kg de nitrógeno y 37,5 kg de hidrógeno.

- c) Las reacciones ajustadas son:



Ahora calculamos la masa de NH_3 y de N_2

$$\frac{96 \text{ g/mol } N_2H_4}{68 \text{ g/mol } NH_3} = \frac{2000 \text{ g } N_2H_4}{x} \quad x = 1416,6 \text{ g } NH_3$$

así pues la masa de nitrógeno obtenida es 583,4 g

La descomposición de los 2/5 de amoníaco, proporciona una masa de 566,64 g

Usando la segunda reacción:

$$\frac{34 \text{ g/mol } NH_3}{28 \text{ g/mol } N_2} = \frac{566,64 \text{ g } NH_3}{x} \quad x = 466,64 \text{ g } N_2$$

por lo tanto la masa de hidrógeno es 100 g

$$N_2 = 1050,04 \text{ g}$$

$$H_2 = 100 \text{ g}$$

$$NH_3 = 849,96 \text{ g}$$

- d) Los sistemas de propulsión suministran fuerzas y pares de torsión que permiten los cambios necesarios en su velocidad de traslación y angular para mantener la órbita.
Un satélite se mueve y aumenta su velocidad conservando el momento lineal entre la masa y la velocidad del propelente expulsado y la masa y la velocidad del satélite.
La ley de conservación del momento lineal
- e) $m \cdot v = (M - m) \cdot \Delta V$ donde m es la masa de los gases expulsados, v es la velocidad de los gases, M es la masa del Envisat y ΔV es la variación de la velocidad
La solución, tras resolver esta simple ecuación, es 0,93 kg de Hidracina

Glosario

Actividad extravehicular (Extravehicular activity (EVA))

Paseo espacial, cuando los astronautas abandonan su nave vestidos con trajes protectores especiales para llevar a cabo reparaciones, experimentos o trabajos de construcción.

Agujero negro (Black hole)

Objeto con tanta masa concentrada, y por lo tanto con una atracción gravitatoria tan fuerte, que nada (ni siquiera la luz) puede escapar de él. Un modo por el que se cree que se forman los agujeros negros es cuando estrellas masivas se colapsan al final de sus vidas.

Basura espacial (Space debris)

Material de procedencia humana que orbita alrededor de la Tierra. Está compuesto fundamentalmente por satélites desmantelados, etapas superiores ya utilizadas, objetos relacionados con las misiones (adaptadores de lanzamiento, protectores de lentes, etc.) y fragmentaciones producidas en órbita.

Batería (Battery)

Serie o grupo de células electroquímicas que almacenan la energía. Las baterías se llevan a bordo de los satélites, mayormente como suministro de energía secundaria.

Bit

"Dígito binario", es la unidad de medida básica para la información digital. Puede ser 0 o 1.

Carga útil (Payload)

Equipo llevado al espacio por un vehículo espacial. La carga útil de un satélite incluye todos los instrumentos y experimentos científicos.

Célula solar (Solar cell)

Dispositivo para la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Los materiales típicos que se utilizan son silicio, arseniuro de galio y fosforo de indio.

Eclipse

Oscurecimiento parcial de un satélite por otro cuerpo. Durante las fases de eclipse solar la mayoría de los satélites, que normalmente son alimentados por células solares, usan baterías como suministro de energía. Las baterías se recargan una vez que la luz solar está de nuevo disponible.

Estación de seguimiento, estación terrena (tracking station, ground station)

Instalaciones en tierra que siguen el progreso de un satélite y comunican con él. Las principales estaciones de seguimiento de la ESA están en Guayana Francesa, Bélgica, Australia, España, Suecia y Kenia.

Etapla Criogénica (Cryogenic stage)

Propulsión de alto rendimiento que usa hidrógeno líquido como propelente y oxígeno líquido como oxidante. Deben alcanzarse bajas temperaturas para condensar ambos elementos y almacenarlos en el tanque del lanzador.

Galaxia (Galaxy)

Estructura formada por el conjunto de miles de millones de estrellas junto con gas y polvo. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es una galaxia espiral. Las galaxias pueden ser elípticas, irregulares o espirales. Nuestra galaxia es sólo una de entre muchos millones.

Hidracina (Hydrazine) (N_2H_4)

Propelente líquido frecuentemente usado en los motores de cohetes. Se descompone en amoníaco, nitrógeno e hidrógeno. Estos gases son expulsados para producir empuje.

Microgravedad (Microgravity)

Entorno en el que la fuerza gravitatoria neta es muy pequeña, como la de un objeto en caída libre, una órbita o el espacio interestelar.

Órbita de transferencia (transfer orbit)

Órbita elíptica que une otras dos órbitas. Ejemplos: órbita terrestre de baja altitud a órbita geoestacionaria, o para cambiar de la órbita terrestre a la de la Luna, por ejemplo.

Órbita polar (Polar orbit)

Las órbitas con una inclinación de 90 grados o próximas a los 90 grados se llaman "órbitas polares". Mientras un satélite está en esta órbita, la Tierra gira debajo de él; así el satélite puede cubrir la Tierra entera incluyendo los polos norte y sur.

Panel solar (Solar array, Solar panel)

Panel en un satélite que se usa para generar energía eléctrica. Consta de un gran número de células solares que generan electricidad cuando se exponen a la luz del sol. Para la mayoría de los satélites se considera el suministro de energía principal.

Propelente (Propellant)

Cualquier sustancia o combinación de sustancias que constituyen una masa para ser expulsadas a gran velocidad para producir como reacción una fuerza propulsiva o empuje.

Propulsor (Booster)

Componente de un vehículo de lanzamiento para producir empuje.

Radiación (Radiation)

Se usa como sinónimo de radiación electromagnética.

Radiación de fondo (Background radiation)

Radiación residual, en el orden de microondas, procedente del Big Bang.

Re-propulsar (Re-boost)

Empujar un satélite de nuevo a su órbita original después de que la órbita se ha hecho más pequeña a causa del rozamiento atmosférico.

Resolución (Resolution)

Medida de la capacidad para la distinción ocular de detalles entre partes separadas de una imagen. Cuanta más alta es la resolución, más detalles son visibles.

Supernova

Explosión de una estrella masiva al final de su vida. Las explosiones de supernova son tan luminosas que pueden eclipsar una galaxia.

Unidad Astronómica (UA) (Astronomical Unit (AU))

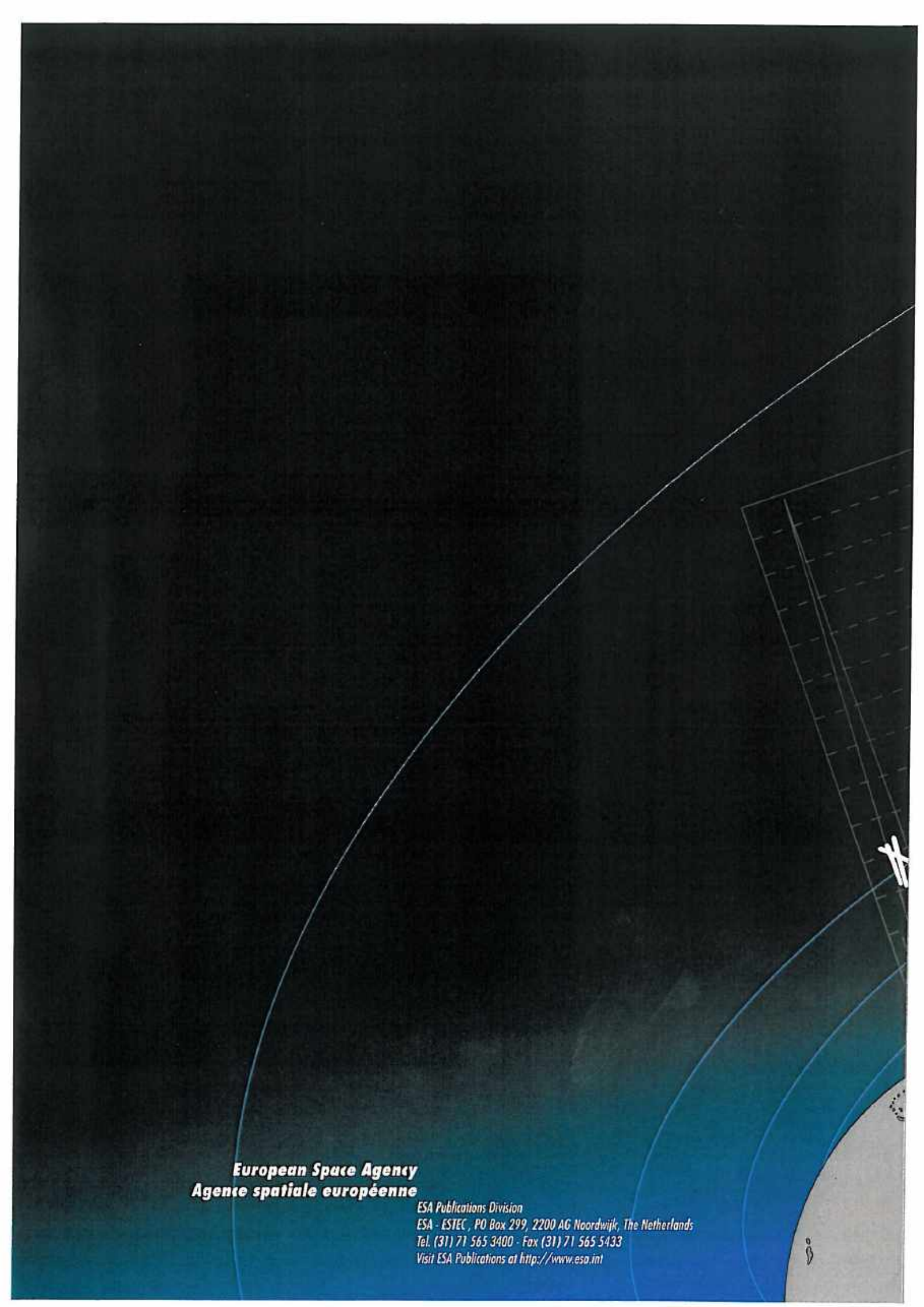
Una Unidad Astronómica corresponde a la distancia que separa la Tierra del sol. 1AU=150 millones de km.

Vehículo de transferencia automático (ATV) (Automated Transfer Vehicle (ATV))

Vehículo sin tripulación que pone en órbita el cohete espacial Europeo Ariane 5. Suministra a la Estación Espacial Internacional una carga presurizada de agua, aire, nitrógeno, oxígeno y propelente para el control de posición. También se lleva la basura de la estación y eleva la estación a altitudes mayores para compensar el rozamiento atmosférico.

Ventana de lanzamiento (launch window)

Ventana de lanzamiento es un término usado para describir un periodo de tiempo en el que una misión concreta debe ser lanzada para alcanzar su objetivo establecido



European Space Agency
Agence spatiale européenne

ESA Publications Division
ESA - ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel. (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433
Visit ESA Publications at <http://www.esa.int>