Última actualización: November 1, 2026

🗺️ Ruta de cuatro años · Año 4, Otoño · 🧱 Calculadora integrada

Sobre este curso

Este curso gratuito tiene 10 unidades y 6 laboratorios. Son los totales reales, no un programa más largo recortado.

Una comprobación es un número o un resultado de código en una página de curso que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número impreso y el recalculado tienen que coincidir.

> Este es el esquema de un curso gratuito de autoestudio escrito por Saving Planets. No es un curso universitario, no otorga créditos académicos y ninguna institución participa.
>
> Su alcance sigue un curso semestral de último año de diseño de naves espaciales para ingenieros aeroespaciales. Se basa en los temas y la profundidad de MIT 16.851 Satellite Engineering (gratis en MIT OpenCourseWare), y usa el Systems Engineering Handbook gratuito de la NASA y el informe Small Spacecraft Technology State of the Art, que enlazamos donde ayudan. Ninguno de esos autores, centros u organismos respalda esta página.
>
> Lo que añadimos: cada unidad se vincula a trabajo real con una fuente pública citada (las misiones Landsat 9, Europa Clipper y PACE de la NASA y el estudio de la NASA sobre tecnología de pequeñas naves), cada número de la página se recalcula con un script de verificación antes de publicarse, y cada práctica tiene una simulación gratuita o una hoja de cálculo.
>
> Síguelo en orden. Cada unidad tiene objetivos, ideas clave, ecuaciones, ejemplos paso a paso, práctica con respuestas completas, errores comunes, tarjetas de estudio y un cuestionario. Tu progreso se guarda solo en este navegador.

Cómo ayuda este curso a salvar el planeta

Los satélites de observación de la Tierra son el diseño de naves espaciales hecho útil: potencia, térmica, apuntamiento y comunicaciones deben funcionar durante años para que los científicos sigan bosques, agua, cultivos y clima.

Un buen diseño también significa vida larga y menos residuos en órbita. Cada unidad termina con una breve sección con fuentes. Los valores que no proceden de una fuente se indican como valores de ejemplo o de libro.

Para docentes

Puedes enseñar este curso o dejar que un estudiante lo haga solo. Es gratis. Saving Planets no pone nota ni da crédito escolar.

- Esta página es el curso completo: 10 unidades y 6 laboratorios (AERO 430).
- Calcula 15 semanas, unas 6 a 9 horas por semana, incluidas las semanas de laboratorio.
- Sigue el calendario de 15 semanas. Lee la unidad, haz la práctica en papel y luego abre la respuesta. En una semana de laboratorio, haz el laboratorio o la versión en casa.
- Una comprobación es un número o un resultado de código en la página que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número que ves y el recalculado tienen que coincidir.
- Usa Imprimir esta página, o descarga la guía de estudio en PDF. La hoja de fórmulas está cerca del final.
- Pregunta: ¿cómo ayuda esta unidad a las personas y al planeta? Cada unidad tiene un recuadro verde con un dato y su fuente.
- Copia la plantilla de guía docente y escribe el nombre de tu clase, el tiempo que tienes y las preguntas que harás. Abrir la plantilla de guía docente

Antes de empezar

Requisitos previos

- Mecánica orbital: órbitas, periodos y Δv.
- Termodinámica: fundamentos de transferencia de calor y radiación.
- Circuitos: potencia, tensión y corriente.
- Dinámica de vuelo y control y Estructuras aeroespaciales: control de actitud, rigidez y cargas.

Cómo estudiar

- Empieza todo diseño por los requisitos y lleva un balance (masa, potencia, Δv, enlace) para cada subsistema.
- Lleva márgenes y di dónde están.
- Controla las unidades: vatios frente a vatios hora, kelvin para radiación, decibelios para enlaces.
- Contrasta cada respuesta con el orden de magnitud de una misión real.
- Dibuja la nave y su órbita antes de calcular nada.
- Haz cada ejercicio en papel antes de abrir la respuesta, y repite los cuestionarios unos días después.

Qué necesitas

- Un ordenador o tableta para las simulaciones gratuitas de PhET Blackbody Spectrum y Circuit Construction Kit.
- Software de hoja de cálculo (sirve cualquiera gratuito), o Python.

- Las páginas de misiones de la NASA y el informe Small Spacecraft Technology en un navegador web.
- Una calculadora.

Calendario sugerido de 15 semanas

Unas 6 a 9 horas por semana: lectura, problemas de práctica y, en las semanas de laboratorio, el laboratorio.

Semana	Unidad	Temas	Lectura
1	Requisitos de misión e ingeniería de sistemas	Requisitos y balances; Práctica A	NASA SE Handbook
2	Órbitas y el entorno espacial	Órbitas y entorno; Práctica B	MIT 16.851
3	Generación de energía: paneles solares	Paneles solares; Práctica C	NASA SST SOA
4	Almacenamiento de energía y balance de potencia	Baterías y balance de potencia; Práctica D	NASA SST SOA
5	Control térmico	Control térmico; Práctica E	MIT 16.851
6	Estructuras, mecanismos y cargas de lanzamiento	Estructuras y cargas de lanzamiento	MIT 16.851
7	Propulsión y el balance de delta-v	Balances de Δv; práctica de examen parcial	MIT 16.851
8	Subsistema de determinación y control de actitud	Requisitos del ADCS	MIT 16.851
9	Subsistema de determinación y control de actitud	Sensores, actuadores y momento angular	NASA SST SOA
10	Comunicaciones y gestión de datos	Balances de enlace	MIT 16.851
11	Comunicaciones y gestión de datos	Gestión de datos; Práctica F	NASA Landsat 9
12	Fiabilidad, ensayos y fin de vida	Fiabilidad y redundancia	NASA SE Handbook
13	Fiabilidad, ensayos y fin de vida	Ensayos y calibración	NASA Landsat 9
14	Fiabilidad, ensayos y fin de vida	Operaciones y retirada	NASA SE Handbook
15	Fiabilidad, ensayos y fin de vida	Repaso; práctica para el final	MIT 16.851

Tu progreso

Marca las unidades y los laboratorios al terminarlos y haz los cuestionarios. El progreso y las puntuaciones se guardan solo en este navegador y nunca se nos envían.

Unidades

Requisitos de misión e ingeniería de sistemas

Objetivos de misión, requisitos, el ciclo de vida del proyecto, estudios de compromiso, balances de subsistemas y márgenes de diseño.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Convertir objetivos de misión en requisitos medibles.
- Construir un balance de masa con margen.
- Realizar un estudio de compromiso ponderado sencillo.
- Explicar por qué los márgenes se reducen a lo largo de un proyecto.

Conceptos clave

- Una misión empieza con objetivos; los requisitos los hacen medibles y verificables (un número, una unidad y un ensayo).
- Los proyectos pasan por fases desde el concepto hasta las operaciones, con revisiones que comprueban que se cumplen los requisitos.
- Cada recurso tiene un balance: masa, potencia, Δv, datos, apuntamiento y coste, cada uno con un margen.
- Los primeros diseños llevan márgenes grandes (a menudo 20–30%, valores de libro) porque las estimaciones son inciertas; los márgenes se reducen a medida que madura el hardware.
- Los estudios de compromiso puntúan opciones según criterios ponderados; los pesos importan tanto como las puntuaciones.

Ecuaciones clave

$$m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

`m_alloc=m_est(1+M)`

Masa con margen

$$S = \sum w_i s_i$$

`S= w_is_i`

Puntuación ponderada de compromiso

$$\text{Margin} = \frac{\text{Capability} - \text{Need}}{\text{Need}}$$

`Margin=-NeedNeed`

Margen de prestaciones

$$\sum w_i = 1$$

`w_i=1`

Los pesos suman uno

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 1.1 Una estimación de masa en seco es de 800 kg. Asigna con un margen del 20% (valores de ejemplo).

1. 800 × 1.20.

Respuesta: 960 kg.

Ejemplo 1.2 La NASA dice que Landsat 9 debía captar al menos 400 escenas al día y capta 740. Halla el margen.

1. (740 − 400)/400.

Respuesta: 85% por encima del requisito (740/400 = 1.85).

Ejemplo 1.3 La opción A puntúa 8 (coste) y 6 (prestaciones); B puntúa 5 y 9. Pesos 0.4 y 0.6. ¿Cuál gana?

1. A = 3.2 + 3.6 = 6.8.
2. B = 2.0 + 5.4 = 7.4.

Respuesta: Gana B, 7.4 frente a 6.8.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Asigna 1200 kg con un margen del 25%.

   1500 kg.

2. Si los pesos se invierten a 0.6/0.4, ¿quién gana?

A: 7.2 vs B: 6.6.

3. ¿Qué hace verificable un requisito?

   Un valor medible y un ensayo o análisis para comprobarlo.

4. ¿Por qué llevar margen?

   Las estimaciones crecen a medida que maduran los diseños.

Ideas erróneas comunes

Mito: Los requisitos son deseos.
En realidad: Son medibles y verificables.

Mito: Los márgenes son desperdicio.
En realidad: Absorben el crecimiento y las sorpresas.

Mito: Los estudios de compromiso son objetivos.
En realidad: Los pesos encierran juicio.

Tarjetas de estudio

Requisito

Necesidad medible y verificable.

Balance

Asignación de un recurso.

Margen

Reserva sobre la estimación.

Estudio de compromiso

Comparación ponderada.

Ciclo de vida

Fases desde el concepto hasta la retirada.

Verificación

Prueba de que se cumple un requisito.

Cuestionario de autoevaluación

1. 800 kg + 20%...

960 kg

820 kg

1000 kg

640 kg

960 kg. Multiplica.

2. Escenas diarias de Landsat 9...

740

400

100

7400

740. NASA.

3. Ganador del compromiso...

B

A

empate

ninguno

B. 7.4 > 6.8.

4. Los márgenes con el tiempo...

se reducen

crezcan

desaparecen al inicio

son fijos

se reducen. Madurez.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA dice que los requisitos del programa Landsat 9 incluían captar al menos 400 escenas al día y una vida de diseño de 5 años; Landsat 9 capta 740 escenas al día, casi el doble del mínimo, y lleva combustible suficiente para operar al menos 10 años.

Superar requisitos así amplía un registro terrestre que, según la NASA, abarca más de cinco décadas y respalda alertas de deforestación, vigilancia de la calidad del agua e informes de cultivos.

En Saving Planets: Observación de la Tierra · Soluciones

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): Manual gratuito de la NASA.
- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.

Ver la clase

Lecture 21: Systems Engineering for Space Shuttle Payloads (https://ocw.mit.edu/courses/16-885j-aircraft-systems-engineering-fall-2005/resources/lecture-21/) (en inglés)

MIT 16.885J Aircraft Systems Engineering (Fall 2005), MIT OpenCourseWare. Licencia: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condiciones de uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Enlace solo para estudio gratuito; Saving Planets no está afiliado a esta universidad ni cuenta con su respaldo.

☐ **Terminé esta unidad**

Órbitas y el entorno espacial

Elegir una órbita, periodo y velocidad, órbitas heliosíncronas y geoestacionarias, trazas en tierra y franjas, eclipse, vacío, radiación y oxígeno atómico.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular el periodo y la velocidad orbitales.
- Contar las órbitas por día.
- Estimar la duración del eclipse en órbita baja.
- Enumerar los peligros del entorno según la órbita.

Conceptos clave

- Periodo T = 2π√(a³/μ); velocidad circular v = √(μ/a).
- Las órbitas heliosíncronas son casi polares y precesan una vez al año, de modo que el satélite cruza el ecuador a la misma hora local cada día.
- Las órbitas bajas atraviesan la sombra de la Tierra; la fracción de eclipse de una órbita circular con el Sol en el plano orbital es de aproximadamente (2/2π)·asin(R_E/a).
- El entorno espacial incluye vacío, temperaturas extremas, cinturones de radiación, oxígeno atómico en órbita baja y basura espacial.
- Las órbitas más altas ven más de la Tierra pero necesitan ópticas y antenas mayores para la misma resolución y tasa de datos.

Ecuaciones clave

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}$$

T=2π^3/μ

Periodo orbital

$$v = \sqrt{\mu/a}$$

v=μ/a

Velocidad circular

$$f_e \approx \frac{\sin^{-1}(R_E/a)}{\pi}$$

Fracción de eclipse (peor caso)

$$N = \frac{86400}{T}$$

`N=86400/T`

Órbitas por día

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 2.1 Landsat 9 vuela a 705 km. Halla su periodo.

1. a = 6378.137 + 705 = 7083.1 km.
2. T = 2π√(7083.1³/398,600.4).

Respuesta: T = 98.9 min (la NASA indica 99 min).

Ejemplo 2.2 Halla las órbitas por día y la velocidad.

1. 86,400/5932.7 s.
2. v = √(398,600.4/7083.1).

Respuesta: 14.56 órbitas/día; 7.50 km/s.

Ejemplo 2.3 Estima el eclipse en el peor caso.

1. asin(6378.1/7083.1) = 1.121 rad.
2. f = 1.121/π = 0.357.

Respuesta: Unos 35.3 min por órbita.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Por qué casi polar?

   Para cubrir todo el globo.

2. ¿Inclinación de Landsat 9?

   98.2°.

3. ¿Principal peligro de erosión en órbita baja?

El oxígeno atómico.

4. ¿Se reduce el eclipse a mayor altitud?

   Sí, la fracción baja.

Ideas erróneas comunes

Mito: El espacio es frío, así que las naves se congelan.

En realidad: Las partes iluminadas pueden sobrecalentarse; el equilibrio importa.

Mito: Más alto siempre es mejor.

En realidad: La resolución y los enlaces se resienten.

Mito: Heliosíncrona significa siempre iluminada.

En realidad: Solo las versiones amanecer–anochecer evitan el eclipse.

Tarjetas de estudio

Período

$2\pi\sqrt{(a^3/\mu)}$.

Heliosíncrona

Misma hora local de cruce.

Eclipse

Tiempo en la sombra de la Tierra.

Barrido

Anchura de terreno captada.

Oxígeno atómico

Erosiona las superficies en LEO.

Cinturones de radiación

Partículas cargadas atrapadas.

Cuestionario de autoevaluación

1. Periodo de Landsat 9…

≈99 min

24 h

45 min

12 h

≈99 min. NASA.

2. Órbitas por día...

≈14.5

1

100

3

≈14.5. 86,400/T.

3. Peor eclipse a 705 km...

≈35 min

0

60 min

5 min

≈35 min. Calculado.

4. Heliosíncrona da...

la misma hora local

ningún eclipse

Vista desde GEO

resistencia nula

la misma hora local. Precesión.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA sitúa Landsat 9 en una órbita casi polar heliosíncrona a 705 km, con 98.2° de inclinación, un periodo de 99 minutos, unas 14.5 órbitas al día, una franja de 185 km y un cruce ecuatorial cerca de las 10:12 hora local.

Junto con Landsat 8, observa el mismo lugar cada 8 días. La iluminación a la misma hora del día es lo que permite a los científicos comparar imágenes a lo largo de décadas.

En Saving Planets: Mecánica orbital · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.
- NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/): Página de la misión de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

Generación de energía: paneles solares

Flujo solar y distancia, eficiencia de las células, ángulo solar, potencia al inicio y al final de vida, dimensionado de paneles y potencia específica.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular la potencia del panel por metro cuadrado.
- Aplicar la ley del coseno y la del inverso del cuadrado.
- Dimensionar un panel para una carga.
- Comparar tecnologías de células.

Conceptos clave

- El flujo solar cerca de la Tierra es de unos 1361 W/m² (valor de libro) y disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia al Sol.
- La potencia disminuye con el coseno del ángulo entre la normal del panel y el Sol.
- El estudio de la NASA sobre pequeñas naves indica células espaciales multiunión con una eficiencia nominal del 30% (hasta el 34%), frente a cerca del 20% del silicio de unión simple.
- La degradación por radiación, contaminación y envejecimiento reduce la potencia al final de vida, así que los paneles se dimensionan para EOL.
- La potencia específica (W/kg) suele determinar la viabilidad; la NASA señala que las misiones con paneles solares se agrupan en torno a 30 W/kg.

Ecuaciones clave

$$P = S \eta A \cos\theta$$

`P=S ηA cosθ`

Potencia del panel

$$S(r) = \frac{1361}{r^2}$$

`S(r)=(1361)/(r^2)`

Inverso del cuadrado (r en UA)

$$A = \frac{P}{S \eta f_d}$$

`A=(P)/(S η f_d)`

Área del panel

$$SP = \frac{P}{m}$$

SP=P/m

Potencia específica

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 3.1 Halla la potencia por m² de células del 30% de cara al Sol a 1 UA.

1. 1361 × 0.30.

Respuesta: 408.3 W/m².

Ejemplo 3.2 Halla el área para 2 kW con un factor de degradación y empaquetado de 0.85 (valor de ejemplo).

1. 2000/(1361 × 0.30 × 0.85).

Respuesta: 5.76 m².

Ejemplo 3.3 Halla el flujo solar en Júpiter (5.2 UA).

1. 1361/5.2².

Respuesta: 50.3 W/m², 27 veces menos.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Potencia por m² inclinada 30°?

   353.6 W/m².

2. ¿Flujo en Marte (1.524 UA)?

   586 W/m².

3. ¿Potencia por m² para silicio del 20%?

272.2 W/m².

4. ¿Masa del panel para 2 kW a 30 W/kg?

   66.7 kg.

Ideas erróneas comunes

Mito: La distancia apenas importa.

En realidad: El flujo cae como 1/r².

Mito: La potencia BOL es suficiente.

En realidad: Dimensiona para el final de vida.

Mito: Solo importa la eficiencia.

En realidad: La masa y el volumen plegado también importan.

Tarjetas de estudio

Flujo solar

≈1361 W/m² a 1 UA.

Célula multiunión

Bandas prohibidas apiladas, ~30%.

BOL/EOL

Inicio/final de vida.

Pérdida por coseno

$P \propto \cos\theta$.

Inverso del cuadrado

$S \propto 1/r^2$.

Potencia específica

W/kg.

Cuestionario de autoevaluación

1. 30% a 1 UA por m²...

408 W

1361 W

136 W

30 W

408 W. Multiplica.

2. Flujo en Júpiter...

≈50 W/m²

1361

500

5

≈50 W/m². 1/r².

3. η nominal multiunión (NASA)...

30%

10%

50%

86%

30%. Informe SOA.

4. La inclinación reduce la potencia en...

cos θ

sin θ

θ²

nada

cos θ. Coseno.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA describe Europa Clipper como una nave solar que, con sus paneles desplegados, mide más de 100 pies (unos 30 metros) de envergadura; se lanzó el 14 de oct. de 2024 y recorrerá 1.8 mil millones de millas para llegar a Júpiter en abril de 2030.

En Júpiter la luz solar es unas 27 veces más débil que en la Tierra, por eso los paneles de Clipper son tan grandes: la ley del inverso del cuadrado de esta unidad, a escala de misión.

En Saving Planets: Soluciones · Mecánica orbital

Fuentes: NASA Science: Europa Clipper (https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/) · NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/): Capítulo gratuito de la NASA sobre potencia.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): Cadenas en serie y en paralelo.

☐ **Terminé esta unidad**

Almacenamiento de energía y balance de potencia

Listas de cargas, balance energético en sol y eclipse, dimensionado de baterías con profundidad de descarga, energía específica, gestión y distribución de potencia.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Construir una lista de cargas y la potencia media en órbita.
- Dimensionar una batería para el eclipse.
- Calcular la masa de batería a partir de la energía específica.
- Explicar los límites de profundidad de descarga.

Conceptos clave

- El balance de potencia suma cada carga por modo; el panel debe alimentar las cargas al sol y recargar la batería para el eclipse.
- Energía de la batería = carga × tiempo de eclipse ÷ profundidad de descarga (DoD) admisible.
- Una DoD baja alarga la vida en ciclos; en órbita baja hay unos 15 ciclos al día, así que la DoD se mantiene a menudo baja (recomendación de libro).
- El estudio de la NASA indica celdas Li-ion comerciales de unos 150–270 Wh/kg y 3.6 V de media.
- La gestión y distribución de potencia regula la tensión del bus, conmuta cargas y aísla fallos.

Ecuaciones clave

$$E = \frac{P_e t_e}{DoD}$$

`E=(P_et_e)/(DoD)`

Energía de la batería

$$m_b = \frac{E}{e_{sp}}$$

`m_b=_sp`

Masa de la batería

$$P_{avg} = \frac{P_d t_d + P_e t_e}{T}$$

`P_avg=(P_dt_d+P_et_e)/(T)`

Carga media en órbita

$$Ah = \frac{Wh}{V}$$

`Ah=Wh/V`

Capacidad

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 4.1 Una carga de 500 W debe aguantar el eclipse de 35.3 minutos de la unidad 2. Halla la energía consumida.

1. 500 × 35.28/60.

Respuesta: 294 Wh.

Ejemplo 4.2 Dimensiona la batería para una DoD del 30% (valor de ejemplo).

1. 294/0.30.

Respuesta: 980 Wh.

Ejemplo 4.3 Halla la masa de batería a 150 Wh/kg a nivel de paquete.

1. 980/150.

Respuesta: 6.53 kg.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Capacidad a 28 V?

   35 Ah.

2. ¿Masa usando celdas de 260 Wh/kg?

   3.77 kg (solo celdas).

3. ¿Ciclos por día a 14.56 órbitas/día?

   Unos 14.6.

4. ¿Por qué no un 100% de DoD?

   La vida en ciclos se desploma.

Ideas erróneas comunes

Mito: Vatios y vatios hora son lo mismo.
En realidad: Potencia frente a energía.

Mito: La descarga profunda no es problema.
En realidad: Acorta la vida.

Mito: Energía de celdas = energía del paquete.
En realidad: Los paquetes añaden masa por estructura y gestión.

Tarjetas de estudio

Lista de cargas

Potencia por subsistema y modo.

DoD

Fracción de la capacidad usada.

Energía específica

Wh/kg.

PMAD

Gestión y distribución de potencia.

Eclipse

Sin energía solar.

Potencia media en órbita

Carga ponderada en el tiempo.

Cuestionario de autoevaluación

1. Energía de eclipse...

294 Wh

500 Wh

35 Wh

1000 Wh

294 Wh. P × t.

2. Batería con 30% de DoD...

980 Wh

294 Wh

88 Wh

3000 Wh

980 Wh. Divide.

3. Tensión de una celda Li-ion...

3.6 V

1.5 V

12 V

28 V

3.6 V. NASA.

4. Masa de la batería...

6.53 kg

65 kg

0.65 kg

1 kg

6.53 kg. 980/150.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El estudio de la NASA sobre tecnología de pequeñas naves enumera celdas de iones de litio 18650 con herencia de vuelo en misiones de la NASA, incluidas celdas LG Chem INR18650-MJ1 de 260 Wh/kg para la misión PACE de la NASA y celdas LG Chem ICR18650 B3 de 191–205 Wh/kg para Europa Clipper.

PACE, lanzada en febrero de 2024, mide fitoplancton, aerosoles y nubes para ayudar a vigilar la salud del océano, la calidad del aire y el clima. Sus baterías la mantienen funcionando en cada eclipse.

En Saving Planets: Océanos · Circuitos

Fuentes: NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/) · NASA Science: PACE (Plankton, Aerosol, Cloud, ocean Ecosystem) (https://science.nasa.gov/mission/pace/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/): Capítulo gratuito de la NASA sobre potencia.
- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Control térmico

Balance de radiación, absortividad y emisividad, temperatura de equilibrio, dimensionado de radiadores, recubrimientos, calentadores y aislamiento multicapa.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular una temperatura de equilibrio.
- Dimensionar un radiador.
- Elegir recubrimientos según α/ε.
- Explicar los calentadores y el aislamiento.

Conceptos clave

- En el vacío, el calor sale sobre todo por radiación: Q = εσAT⁴.
- La luz solar absorbida es αSA_proj; la relación α/ε de una superficie fija su temperatura de equilibrio.
- Una esfera negra a 1 UA con α = ε se estabiliza cerca de (S/4σ)^¼ ≈ 278 K.
- Los radiadores expulsan el calor residual; las pinturas blancas y los espejos tienen α/ε bajo y se mantienen fríos al sol.
- El aislamiento multicapa bloquea la radiación; los calentadores mantienen calientes las baterías y el propulsante en eclipse.

Ecuaciones clave

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4$$

`Q=σ AT^4`

Calor radiado

$$T = \left(\frac{\alpha S}{4 \varepsilon \sigma} \right)^{1/4}$$

`T=((α S)/(4σ))^1/4`

Equilibrio de una esfera

$$A_r = \frac{Q}{\varepsilon \sigma T^4}$$

`A_r=(Q)/(σ T^4)`

Área del radiador

$$Q_{abs} = \alpha S A_p$$

`Q_abs=α SA_p`

Luz solar absorbida

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 5.1 Halla la temperatura de equilibrio de una esfera a 1 UA con α = ε.

1. T = (1361/(4 × 5.6704 × 10⁻⁸))^¼.

Respuesta: T = 278.3 K (5 °C).

Ejemplo 5.2 Dimensiona un radiador para expulsar 500 W a 290 K con ε = 0.85 (ignorando la luz solar absorbida).

1. A = 500/(0.85 × 5.6704 × 10⁻⁸ × 290⁴).

Respuesta: A = 1.47 m².

Ejemplo 5.3 ¿Cómo varía la temperatura de equilibrio con α/ε?

1. T ∝ (α/ε)^¼.

Respuesta: Duplicar α/ε multiplica T por 2^¼ = 1.189.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿T para α/ε = 2?

   331 K.

2. ¿Radiador a 260 K para 500 W?

   2.27 m².

3. ¿Qué hace el MLI?

   Bloquea el flujo de calor por radiación.

4. ¿Por qué calentadores en eclipse?

   Para mantener las piezas por encima de sus temperaturas mínimas.

Ideas erróneas comunes

Mito: El espacio se lleva el calor por conducción.

En realidad: Vacío: domina la radiación.

Mito: El negro siempre está caliente.

En realidad: Depende de α/ε.

Mito: La térmica es algo secundario.

En realidad: Condiciona la disposición y la potencia.

Tarjetas de estudio

Absortividad α

Fracción de luz solar absorbida.

Emisividad ε

Capacidad de radiar.

MLI

Aislamiento multicapa.

Radiador

Superficie que expulsa calor.

Calentador

Mantiene calientes las piezas.

σ

5.6704×10^{-8} W/(m²·K⁴).

Cuestionario de autoevaluación

1. Esfera a 1 UA...

278 K

373 K

200 K

0 K

278 K. Calculado.

2. Q = ...

$\varepsilon\sigma AT^4$

$hA\Delta T$

$kA\Delta T/L$

$mc\Delta T$

$\varepsilon\sigma AT^4$. Radiación.

3. Ejemplo de área del radiador...

1.47 m^2

14.7 m^2

0.15 m^2

5 m^2

1.47 m^2. Calculado.

4. Superficie de α/ε bajo...

se mantiene fría

se calienta

sin efecto

brilla

se mantiene fría. Equilibrio.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA explica que el Thermal Infrared Sensor de Landsat 9 mide la temperatura de la superficie terrestre y contiene un radiador del criorrefrigerador, un escudo terrestre, y un cuerpo negro más una vista al espacio profundo para la calibración.

Aquí el diseño térmico es el instrumento: TIRS mide el calor de la Tierra, lo que según la NASA ayuda a seguir y gestionar el uso del agua, solo porque sus propios detectores se mantienen fríos y estables.

En Saving Planets: Termodinámica · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: Thermal Control (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/thermal-control/): Capítulo gratuito de la NASA sobre térmica.
- PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum): Radiación térmica.

☐ **Terminé esta unidad**

Estructuras, mecanismos y cargas de lanzamiento

Cargas de lanzamiento, cargas de diseño cuasiestáticas, requisitos de rigidez y frecuencia natural, materiales, elementos desplegables y plataformas con herencia.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular una carga de lanzamiento cuasiestática.
- Calcular una frecuencia natural.
- Explicar los requisitos de rigidez.
- Sopesar la herencia frente a un diseño nuevo.

Conceptos clave

- El lanzamiento somete a la nave a aceleración sostenida, vibración, acústica y choque; el diseño parte de factores de carga cuasiestáticos (a menudo varios g, valores de libro).
- Los lanzadores exigen que la frecuencia fundamental de la nave se mantenga por encima de un mínimo para que no se acople con el cohete.
- Para un modelo masa-resorte simple, f = (1/2π)√(k/m): la rigidez eleva la frecuencia y la masa la reduce.
- El panal de aluminio y los compuestos dan rigidez con poca masa; los mecanismos despliegan paneles, antenas y mástiles.
- Reutilizar una plataforma probada en vuelo (herencia) reduce el riesgo y los plazos.

Ecuaciones clave

$$F = n\,m\,g_0$$

`F=n m g_0`

Carga cuasiestática

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{k/m}$$

`f=(1)/(2π)/m`

Frecuencia natural

$$\sigma = F/A$$

Esfuerzo

$$k = \frac{EA}{L}$$

k=EA/L

Rigidez axial

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 6.1 Halla la carga de diseño de una nave de 1000 kg a 6 g (valores de ejemplo).

1. 6 × 1000 × 9.80665.

Respuesta: 58.8 kN.

Ejemplo 6.2 Un instrumento de 100 kg sobre un soporte de rigidez 10^6 N/m (valores de ejemplo). Halla f.

1. $(1/2\pi)\sqrt{(10^6/100)}$.

Respuesta: f = 15.9 Hz.

Ejemplo 6.3 ¿Qué rigidez necesita el soporte para duplicar f?

1. $f \propto \sqrt{k}$.

Respuesta: 4 × 10^6 N/m (31.8 Hz).

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿f si la masa se duplica?

   11.3 Hz.

2. ¿Carga a 4 g para 500 kg?

   19.6 kN.

3. ¿Por qué una frecuencia mínima?

   Para evitar el acoplamiento con la dinámica del lanzador.

4. ¿Qué es una plataforma con herencia?

   Una plataforma de nave probada en vuelo.

Ideas erróneas comunes

Mito: La resistencia es el único objetivo.

En realidad: La rigidez suele dimensionar el diseño.

Mito: Más pesado es más seguro.

En realidad: La masa reduce la frecuencia y encarece el lanzamiento.

Mito: Los desplegables son sencillos.

En realidad: Son puntos únicos de fallo frecuentes.

Tarjetas de estudio

Carga cuasiestática

g sostenido equivalente.

Frecuencia natural

$(1/2\pi)\sqrt{(k/m)}$.

Panal

Panel ligero y rígido.

Desplegable

Se despliega en órbita.

Herencia

Diseño probado en vuelo.

Bus

Plataforma de nave espacial.

Cuestionario de autoevaluación

1. 6 g sobre 1000 kg...

58.8 kN

6 kN

9.8 kN

588 kN

58.8 kN. nmg.

2. Ejemplo de f...

15.9 Hz

100 Hz

1 Hz

159 Hz

15.9 Hz. Fórmula.

3. Duplicar f requiere k ×...

4

2

√2

8

4. $f \propto \sqrt{k}$.

4. La herencia reduce...

el riesgo

siempre la masa

la potencia

la órbita

el riesgo. Probado.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA dice que Northrop Grumman diseñó y construyó la nave Landsat 9 adaptando la plataforma LEOStar usada en Landsat 8, integró ambos instrumentos y realizó los ensayos a nivel de satélite.

Reutilizar una plataforma probada es una decisión de diseño que reduce el riesgo y ayuda a mantener continuo el registro Landsat, que según la NASA es el registro satelital continuo más largo de la superficie terrestre.

En Saving Planets: Estructuras aeroespaciales · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): Estudio tecnológico gratuito de la NASA.

Terminé esta unidad

Propulsión y el balance de delta-v

Balances de Δv para la inserción en órbita, el mantenimiento en posición, la actitud y la retirada; la ecuación del cohete para la masa de propulsante; las asistencias gravitatorias; y las opciones de propulsión.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Construir un balance de Δv.
- Calcular la masa de propulsante a partir del Δv.
- Calcular el Δv a partir del propulsante.
- Explicar las asistencias gravitatorias.

Conceptos clave

- Un balance de Δv enumera cada maniobra: inserción, mantenimiento de órbita, control de actitud, evitación de colisiones y retirada, más un margen.
- Propulsante necesario: m_p = m_0(1 − e^(−Δv/v_e)).
- Los propulsores monopropulsante son sencillos; el bipropulsante da mayor Isp; el eléctrico da un Isp muy alto con empuje bajo.
- Las asistencias gravitatorias toman prestado momento de un planeta para cambiar velocidad y dirección sin propulsante.
- El propulsante sobrante puede prolongar una misión más allá de su vida de diseño.

Ecuaciones clave

$$m_p = m_0 \left(1 - e^{-\Delta v / v_e}\right)$$

`m_p=m_0(1-e^-Δ v/v_e)`

Masa de propulsante

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

`Δ v=v_e(m_0)/(m_f)`

Ecuación del cohete

$$v_e = I_{sp} g_0$$

`v_e=I_spg_0`

Velocidad de escape

$$\Delta v_{tot} = \sum \Delta v_i (1 + M)$$

`Δ v_tot=Δ v_i(1+M)`

Balance con margen

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 7.1 Una nave de 1000 kg necesita 100 m/s con Isp de 300 s (valores de ejemplo). Halla el propulsante.

1. v_e = 2942 m/s.
2. m_p = 1000(1 − e^(−100/2942)).

Respuesta: 33.4 kg.

Ejemplo 7.2 ¿Qué Δv dan 50 kg de propulsante?

1. 2942 ln(1000/950).

Respuesta: 150.9 m/s.

Ejemplo 7.3 Balance: 60 m/s de corrección de inserción, 30 m/s de mantenimiento en posición, 10 m/s de retirada, 20% de margen.

1. 100 × 1.2.

Respuesta: 120 m/s.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Propulsante para 120 m/s?

   39.9 kg.

2. ¿v_e para un Isp de 220 s?

   2157 m/s.

3. ¿Qué ahorra una asistencia gravitatoria?

   Propulsante para el mismo Δv.

4. ¿Por qué presupuestar Δv de retirada?

   Para abandonar la órbita de forma responsable.

Ideas erróneas comunes

Mito: El propulsante crece linealmente con el Δv.
En realidad: Exponencialmente.

Mito: Las asistencias gravitatorias son energía gratis.
En realidad: Se intercambia momento con el planeta.

Mito: La retirada es opcional.
En realidad: Protege las órbitas para los demás.

Tarjetas de estudio

Presupuesto de Δv

Suma de maniobras.

Mantenimiento en posición

Mantener una órbita.

Monopropulsante

Un solo propulsante, sencillo.

Bipropulsante

Combustible + oxidante.

Asistencia gravitatoria

Impulso de un sobrevuelo planetario.

Retirada

Reentrada u órbita cementerio al final de vida.

Cuestionario de autoevaluación

1. m_p para 100 m/s...

33.4 kg

100 kg

3.3 kg

334 kg

33.4 kg. Fórmula.

2. Δv con 50 kg…

151 m/s

50 m/s

500 m/s

15 m/s

151 m/s. Ec. del cohete.

3. Balance con margen…

120 m/s

100 m/s

80 m/s

200 m/s

120 m/s. ×1.2.

4. El paso de Clipper por la Tierra en dic. de 2026 es…

una asistencia gravitatoria

un aterrizaje

un repostaje

un lanzamiento

una asistencia gravitatoria. NASA.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA dice que Europa Clipper sobrevoló Marte en 2025 y volverá a pasar por la Tierra el 3 de dic. de 2026 para una asistencia gravitatoria que le dará impulso para el resto de su viaje a Júpiter, donde hará 49 sobrevuelos cercanos de Europa.

Las asistencias gravitatorias estiran una carga fija de propulsante, el mismo objetivo al que sirve el balance de Δv de esta unidad para satélites terrestres como Landsat 9, que según la NASA lleva combustible para al menos 10 años.

En Saving Planets: Mecánica orbital · Propulsión

Fuentes: NASA Science: Europa Clipper (https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/) · NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): Estudio tecnológico gratuito de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

Subsistema de determinación y control de actitud

Requisitos de apuntamiento de las cargas útiles, sensores y actuadores, pares perturbadores, balances de momento angular y error de apuntamiento en tierra.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Deducir un requisito de apuntamiento a partir de la resolución en tierra.
- Calcular el error en tierra a partir del error angular.
- Construir un balance de momento angular.
- Elegir sensores y actuadores.

Conceptos clave

- Las cargas útiles fijan el apuntamiento: el píxel de un generador de imágenes subtiende un ángulo de (píxel en tierra)/(altitud).
- Error en tierra ≈ altitud × error angular (ángulos pequeños).
- Sensores: rastreadores estelares, sensores solares, magnetómetros, giroscopios; actuadores: ruedas de reacción, magnetopares, propulsores.
- Las perturbaciones (gradiente de gravedad, resistencia, presión solar, magnética) acumulan un momento angular H = τt que las ruedas deben almacenar.
- El momento angular se descarga con magnetopares o propulsores antes de que las ruedas se saturen.

Ecuaciones clave

$$\theta = \frac{x}{h}$$

Ángulo del píxel

$$e = h\theta$$

Error en tierra

$$H = \tau t$$

H=τ t

Momento angular acumulado

$$1'' = \frac{\pi}{648000}\ \mathrm{rad}$$

`1^=(π)/(648000) rad`

Segundo de arco

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 8.1 Landsat 9 tiene píxeles de 30 m desde 705 km. Halla el ángulo por píxel.

1. 30/705000 rad.

Respuesta: 4.26×10^{-5} rad = 8.78 segundos de arco.

Ejemplo 8.2 ¿Cuánto desplaza la imagen un error de apuntamiento de 0.01° desde 705 km?

1. 705,000 × 0.0001745.

Respuesta: 123 m, unos cuatro píxeles.

Ejemplo 8.3 Una perturbación de 10^{-5} N·m actúa durante un cuarto de una órbita de 98.9 minutos (valor de ejemplo). Halla el momento angular.

1. 10^{-5} × 1483 s.

Respuesta: 0.0148 N·m·s.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Ángulo para un píxel de 15 m?

   4.39 segundos de arco.

2. ¿Error en tierra para 0.001°?

   12.3 m.

3. ¿Qué sensor da la actitud absoluta?

   Un rastreador estelar.

4. ¿Cómo se descargan las ruedas en LEO?

   Con magnetopares o propulsores.

Ideas erróneas comunes

Mito: El conocimiento del apuntamiento equivale al control.

En realidad: Son balances separados.

Mito: Las ruedas pueden absorber momento angular indefinidamente.

En realidad: Se saturan.

Mito: Los ángulos pequeños no importan.

En realidad: La altitud los multiplica.

Tarjetas de estudio

Precisión de apuntamiento

Error de control.

Conocimiento del apuntamiento

Error de medida.

Rastreador estelar

Actitud a partir de las estrellas.

Magnetopar

Bobina que reacciona con el campo terrestre.

Gradiente de gravedad

Par de marea.

Descarga de momento

Descargar las ruedas.

Cuestionario de autoevaluación

1. Ángulo de píxel de Landsat...

8.78"

1°

0.1"

60"

8.78". 30/705 km.

2. 0.01° a 705 km…

123 m

12 m

1.2 km

1 m

123 m. hθ.

3. H = …

τt

Iα

τ/t

mv

τt. Momento angular.

4. Sensor de actitud absoluta…

rastreador estelar

giroscopio

rueda

calentador

rastreador estelar. Estrellas.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA indica para Landsat 9 una resolución espacial de 30 m en las bandas visibles e infrarrojo de onda corta, 15 m en pancromático y 100 m en térmico, desde 705 km.

Mantener estable un píxel de 30 m desde esa altura exige control del orden del segundo de arco; por eso las imágenes Landsat se alinean a lo largo de los años para detectar cambios.

En Saving Planets: Dinámica de vuelo y control · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): Estudio tecnológico gratuito de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

Comunicaciones y gestión de datos

Volumen de datos, tasas de enlace descendente, el balance de enlace en decibelios, pérdida en espacio libre, ganancia de antena, y computación y almacenamiento a bordo.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular la pérdida en espacio libre.
- Calcular la ganancia de una antena parabólica.
- Construir un balance de enlace sencillo.
- Estimar el volumen de datos diario.

Conceptos clave

- La pérdida en espacio libre L = 20 $\log_{10}(4\pi d/\lambda)$ dB crece con la distancia y la frecuencia.
- Ganancia de la parábola G = $\eta(\pi D/\lambda)^2$; parábolas más grandes y frecuencias más altas dan haces más estrechos y fuertes.
- Balance de enlace: potencia recibida = potencia transmitida + ganancias − pérdidas (todo en dB); el margen sobre lo que necesita el receptor debe ser positivo.
- Volumen de datos = imágenes × bits por imagen; tasa × tiempo de contacto debe superarlo.
- Las computadoras de mando y gestión de datos almacenan datos, ejecutan software y gestionan fallos.

Ecuaciones clave

$$L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$$

`L=20_10(4π d)/()`

Pérdida en espacio libre

$$G = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2$$

`G=((π D)/())^2`

Ganancia de la parábola

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L$$

`P_r=P_t+G_t+G_r-L`

Balance de enlace (dB)

$$\lambda = c/f$$

Longitud de onda

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 9.1 Halla la pérdida en banda X (8.2 GHz) a 2000 km (c = 3 × 10^8 m/s).

1. λ = 0.03659 m.
2. 20 $\log_{10}(4\pi \times 2 \times 10^6/0.03659)$.

Respuesta: L = 176.7 dB.

Ejemplo 9.2 Halla la ganancia de una parábola de 3 m a 8.2 GHz con η = 0.55 (valor de ejemplo).

1. $0.55 \times (\pi \times 3/0.03659)^2$.

Respuesta: G = 45.6 dBi.

Ejemplo 9.3 ¿Qué pasa con la pérdida si la distancia se duplica?

1. +20 $\log_{10}$ 2.

Respuesta: +6.0 dB (182.8 dB a 4000 km).

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Longitud de onda a 8.2 GHz?

   3.66 cm.

2. ¿Cambio de ganancia para una parábola de 6 m?

   +6.0 dB.

3. ¿Escenas diarias de Landsat 9?

   Unas 740.

4. ¿Bits por píxel del OLI de Landsat 9?

14.

Ideas erróneas comunes

Mito: Los decibelios se suman como vatios.

En realidad: Los dB se suman para productos.

Mito: Una frecuencia más alta siempre es peor.

En realidad: La pérdida aumenta, pero también la ganancia de la parábola.

Mito: El volumen de datos es pequeño.

En realidad: A menudo dimensiona el diseño de las estaciones terrenas.

Tarjetas de estudio

Pérdida de trayecto

Pérdida por dispersión en dB.

Ganancia de antena

Concentración del haz.

Margen de enlace

Recibido menos requerido.

Banda X

≈8 GHz.

C&DH

Mando y gestión de datos.

Volumen de datos

Bits por día.

Cuestionario de autoevaluación

1. Pérdida a 2000 km en banda X...

176.7 dB

100 dB

50 dB

250 dB

176.7 dB. Fórmula.

2. Ganancia de parábola de 3 m…

45.6 dBi

10 dBi

90 dBi

3 dBi

45.6 dBi. Fórmula.

3. Distancia doble…

+6 dB de pérdida

+3 dB

×2 dB

ninguna

+6 dB de pérdida. 20 log 2.

4. El balance de enlace usa…

sumas en dB

solo productos de vatios

voltios

julios

sumas en dB. Unidades logarítmicas.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA dice que Europa Clipper lleva nueve instrumentos científicos más un experimento de gravedad que usa su sistema de telecomunicaciones, y muestra su antena de alta ganancia de 10

pies (3 metros) instalada en agosto de 2023.

Más cerca de casa, la NASA informa que Landsat 9 registra datos de 14 bits y capta más de 700 escenas al día. Bajar tantos datos a tierra cada día es ante todo un problema de diseño de comunicaciones.

En Saving Planets: Observación de la Tierra · Circuitos

Fuentes: NASA Science: Europa Clipper (https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/) · NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): Estudio tecnológico gratuito de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

UNIDAD 10 · SEMANAS 12–13

Fiabilidad, ensayos y fin de vida

Tasas de fallo y fiabilidad, redundancia, ensayos ambientales, calibración y verificación, operaciones y retirada responsable.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular la fiabilidad a partir de una tasa de fallo.
- Calcular el beneficio de la redundancia.
- Describir los ensayos ambientales.
- Planificar la retirada al final de vida.

Conceptos clave

- Con una tasa de fallo constante λ, la fiabilidad R(t) = e^(−λt) y el tiempo medio entre fallos es 1/λ.
- Dos unidades en paralelo: R = 1 − (1 − R_1)²; la redundancia cambia masa y coste por fiabilidad.
- «Ensaya como vuelas»: ensayos de vibración, acústicos, de choque, de vacío térmico y electromagnéticos antes del lanzamiento.
- La calibración mantiene exactos los datos científicos con el tiempo; la intercalibración con otros satélites enlaza los registros.
- Al final de vida, las naves deben desorbitarse o pasar a una órbita de descarte para limitar la basura espacial.

Ecuaciones clave

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

`R(t)=e^- t`

Fiabilidad

$$R_p = 1 - (1 - R)^2$$

`R_p=1-(1-R)^2`

Dos en paralelo

$$MTBF = 1/\lambda$$

`MTBF=1/`

Tiempo medio entre fallos

$$R_s = \prod R_i$$

R_s= R_i

Sistema en serie

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 10.1 Una unidad tiene λ = 10^{-5} por hora (valor de ejemplo). Halla su fiabilidad a 5 años.

1. t = 43,800 h.
2. e^(−0.438).

Respuesta: R = 0.645.

Ejemplo 10.2 Añade una unidad redundante en paralelo.

1. 1 − 0.355^2.

Respuesta: R = 0.874.

Ejemplo 10.3 Halla el MTBF.

1. $1/10^{-5}$ h.

Respuesta: 100000 h = 11.4 años.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Fiabilidad a 10 años de una unidad?

   0.416.

2. ¿Sistema en serie de 0.95 y 0.90?

   0.855.

3. Nombra un ensayo ambiental previo al lanzamiento.

   Vacío térmico o vibración.

4. ¿Por qué intercalibrar?

   Para mantener coherentes los registros entre satélites.

Ideas erróneas comunes

Mito: La redundancia es gratis.

En realidad: Cuesta masa, potencia y dinero.

Mito: Los ensayos demuestran riesgo cero.

En realidad: Reducen el riesgo.

Mito: La retirada es trabajo de otro.

En realidad: Se diseña desde el principio.

Tarjetas de estudio

Fiabilidad

Probabilidad de funcionar.

Tasa de fallo λ

Fallos por hora.

Redundancia

Unidades de respaldo.

Ensayo de vacío térmico

Condiciones espaciales en tierra.

Calibración

Mantener exactas las medidas.

Retirada

Desorbitado al final de vida.

Cuestionario de autoevaluación

1. R a 5 años...

0.645

0.95

0.5

0.1

0.645. e^(−0.438).

2. Par en paralelo…

0.874

0.645

0.416

1

0.874. 1 − 0.355².

3. MTBF…

100,000 h

10^{-5} h

1000 h

1 h

100,000 h. 1/λ.

4. Propósito del paso por debajo de Landsat…

intercalibración

un repostaje

acoplamiento

retirada

intercalibración. NASA.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA informa que justo después del lanzamiento, Landsat 9 voló directamente bajo Landsat 8 en un «paso por debajo» único en la misión, captando 2396 imágenes del 12 al 16 de noviembre de 2021, para que los expertos en calibración compararan las medidas de ambos satélites y garantizaran la continuidad de los datos.

La NASA señala que la calibración a bordo y la redundancia ayudan a Landsat 9 a captar datos exactos y fiables durante su vida de misión: ingeniería de fiabilidad al servicio de un registro planetario.

En Saving Planets: Observación de la Tierra · Soluciones

Fuentes: NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): Manual gratuito de la NASA.
- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Problemas

Estos problemas están dentro de cada unidad. Hazlos en papel y luego abre la respuesta.

1. Requisitos de misión e ingeniería de sistemas
   4 problemas
2. Órbitas y el entorno espacial
   4 problemas
3. Generación de energía: paneles solares
   4 problemas
4. Almacenamiento de energía y balance de potencia
   4 problemas
5. Control térmico
   4 problemas
6. Estructuras, mecanismos y cargas de lanzamiento
   4 problemas
7. Propulsión y el balance de delta-v
   4 problemas
8. Subsistema de determinación y control de actitud
   4 problemas
9. Comunicaciones y gestión de datos
   4 problemas
10. Fiabilidad, ensayos y fin de vida
    4 problemas

El laboratorio (Spacecraft design lab)

El laboratorio es la parte práctica del curso. Aquí es gratuito y solo para practicar, sin créditos.

Cada práctica se hace en una simulación gratuita o una hoja de cálculo, así que no hay riesgos físicos. No construyas, cargues ni modifiques paquetes de baterías para este curso. Haz pausas de pantalla, siéntate con buena postura y mantén los cables fuera de los pasillos.

Referencia de seguridad: OSHA: Walking-working surfaces (slip, trip and fall hazards) (https://www.osha.gov/walking-working-surfaces)

Práctica A: Balances de masa y potencia con margen

SEMANA 1

Objetivo: Construye en una hoja de cálculo un balance de masa y potencia para un pequeño satélite de observación de la Tierra y aplica márgenes.

$$m_{alloc} = m_{est}(1 + M)$$

`m_alloc=m_est(1+M)`

Asignación con margen

Procedimiento

1. Enumera los subsistemas: carga útil, estructura, potencia, térmico, ADCS, propulsión, comunicaciones, C&DH.
2. Introduce estimaciones de masa de ejemplo que sumen 800 kg y de potencia que sumen 500 W.
3. Aplica un margen del 20% a cada total.
4. Repite el compromiso ponderado de dos opciones de la unidad 1 y cambia los pesos.

Tabla de datos

Balance	Estimación	Con 20% de margen
Masa en seco	800 kg	960 kg
Potencia	500 W	600 W

Valores de ejemplo.

Cálculo de ejemplo

1. 800 × 1.2 = 960 kg.
2. 500 × 1.2 = 600 W.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/)

Vínculo con el planeta: NASA: Landsat 9 capta 740 escenas al día frente a un requisito de 400 escenas. NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica B: Calculadora de periodo orbital y eclipse

SEMANA 2

Objetivo: Calcula el periodo y el eclipse en el peor caso para varias altitudes de órbita baja.

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu}$$

T=2π^3/μ

Periodo orbital

Procedimiento

1. Introduce altitudes de 400, 705 y 1000 km.
2. Calcula a, T y las órbitas por día.
3. Calcula la fracción de eclipse y los minutos.
4. Compara 705 km con los valores de la NASA para Landsat 9.

Tabla de datos

Altitud (km)	T (min)	Eclipse (min)
400	92.6	36.1
705	98.9	35.3
1000	105.1	34.9

Valores calculados en el peor caso (Sol en el plano orbital).

Cálculo de ejemplo

1. T(400) = 2π√(6778.1³/398600.4) = 92.6 min.
2. Eclipse(705) = 0.357 × 98.9 = 35.3 min.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

Vínculo con el planeta: La NASA indica para Landsat 9 705 km y un periodo de 99 minutos. NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica C: Células solares en serie y en paralelo

SEMANA 3

Objetivo: Conecta fuentes como baterías en PhET Circuit Construction Kit para ver cadenas en serie y en paralelo, y luego dimensiona paneles a lo largo del sistema solar.

$$A = \frac{P}{S \eta f_d}$$

`A=(P)/(S f_d)`

Área del panel

Procedimiento

1. En PhET Circuit Construction Kit, conecta fuentes en serie y en paralelo y anota tensión y corriente.
2. En una hoja de cálculo, calcula el área de panel para 500 W con η = 0.30 y f_d = 0.85.
3. Repite a 1, 1.524 y 5.2 UA.
4. Explica por qué las misiones a los planetas exteriores necesitan paneles enormes.

Tabla de datos

Distancia (UA)	Área para 500 W (m²)
1	1.44
1.524	3.35
5.2	39.0

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. 500/(1361 × 0.3 × 0.85) = 1.44 m².
2. 1.44 × 5.2² = 39.0 m².

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier navegador y hoja de cálculo.

PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc) · NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/)

Vínculo con el planeta: NASA: los paneles desplegados de Europa Clipper miden más de 30 metros de envergadura. NASA Science: Europa Clipper (https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica D: Dimensionado de batería para el eclipse

SEMANA 4

Objetivo: Dimensiona baterías para distintas cargas durante un eclipse de 35.3 minutos.

$$E = \frac{P_e t_e}{DoD}$$

`E=(P_et_e)/(DoD)`

Energía de la batería

Procedimiento

1. Usa el eclipse a 705 km de la Práctica B.
2. Introduce cargas de 300, 500 y 800 W.
3. Calcula la energía de batería con 30% de DoD y la masa a 150 Wh/kg.
4. Repite con 20% de DoD y comenta la vida en ciclos.

Tabla de datos

Carga (W)	Batería (Wh)	Masa (kg)
300	588	3.92
500	980	6.53
800	1568	10.45

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. 300 × 0.588 h/0.3 = 588 Wh.
2. 1568/150 = 10.45 kg.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/)

Vínculo con el planeta: La NASA enumera celdas 18650 de 260 Wh/kg con herencia en su misión PACE. NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica E: Balance de radiación y dimensionado de radiadores

SEMANA 5

Objetivo: Explora la radiación térmica en PhET Blackbody Spectrum y luego calcula temperaturas de equilibrio y áreas de radiador.

$$T = \left(\frac{\alpha S}{4\varepsilon\sigma}\right)^{1/4}$$

T=((α S)/(4σ))^1/4

Equilibrio de una esfera

Procedimiento

1. En PhET Blackbody Spectrum, compara espectros a 250, 290 y 6000 K.
2. Calcula temperaturas de esfera para α/ε = 0.5, 1 y 2.
3. Calcula el área de radiador para 500 W a 250, 290 y 320 K con ε = 0.85.
4. Elige una temperatura de radiador y explica el compromiso.

Tabla de datos

Caso	Resultado
α/ε = 0.5	234.0 K
α/ε = 1	278.3 K
α/ε = 2	331.0 K
Radiador a 250 K	2.66 m²
Radiador a 320 K	0.99 m²

Valores calculados.

Cálculo de ejemplo

1. T = 278.3 × 0.5^¼ = 234.0 K.
2. A = 500/(0.85σ × 320⁴) = 0.99 m².

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier navegador y hoja de cálculo.

PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum) · NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: Thermal Control (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/thermal-control/)

Vínculo con el planeta: NASA: el TIRS de Landsat 9 usa un radiador del criorrefrigerador y un cuerpo negro a bordo. NASA Science: Landsat 9 (https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-overview/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica F: Balance del enlace descendente

SEMANA 11

Objetivo: Construye un balance de enlace en decibelios y observa cómo la distancia y el tamaño de la antena cambian el margen.

$$L = 20 \log_{10} \frac{4\pi d}{\lambda}$$

`L=20_10(4π d)/()`

Pérdida en espacio libre

Procedimiento

1. Usa f = 8.2 GHz y c = 3 × 10^8 m/s.
2. Calcula la pérdida a 1000, 2000 y 4000 km.
3. Suma la potencia de transmisión, las ganancias de ambas antenas y otras pérdidas.
4. Halla el tamaño de parábola que restablece el margen a 4000 km.

Tabla de datos

Distancia (km)	Pérdida (dB)
1000	170.7
2000	176.7
4000	182.8

Valores calculados.

Cálculo de ejemplo

1. λ = 0.03659 m.
2. 20 $\log_{10}$(4π × 10^6/0.03659) = 170.7 dB.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/)

Vínculo con el planeta: NASA: Europa Clipper lleva una antena de alta ganancia de 3 metros. NASA Science: Europa Clipper (https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Series de práctica para exámenes

Cronométrate: unos 10 minutos por problema. Luego compara con las soluciones completas.

Ejercicios de práctica para el parcial (unidades 1–5)

1. Asigna una estimación de 500 kg con un 30% de margen.
    1. 500 × 1.3.

    Respuesta: 650 kg.

2. Halla el periodo de una órbita circular de 550 km.
    1. a = 6928.1 km.
    2. $T = 2\pi\sqrt{(a^3/\mu)}$.

    Respuesta: 95.6 min.

3. ¿Área de panel para 1 kW a 1 UA, $\eta = 0.30$, $f_d = 0.85$?
    1. $1000/(1361 \times 0.3 \times 0.85)$.

    Respuesta: 2.88 m^2.

4. ¿Batería para 400 W durante 35 min con 25% de DoD?
    1. $400 \times 35/60/0.25$.

    Respuesta: 933 Wh.

5. ¿Radiador para 300 W a 300 K, $\varepsilon = 0.9$?
    1. $300/(0.9\sigma \times 300^4)$.

    Respuesta: 0.73 m^2.

Serie final de práctica (unidades 1–10)

1. ¿Frecuencia natural para $k = 4 \times 10^5$ N/m, m = 40 kg?
    1. $(1/2\pi)\sqrt{(10^4)}$.

Respuesta: 15.9 Hz.

2. ¿Propulsante para 200 m/s en 800 kg con Isp de 230 s?

    1. 800(1 − e^(−200/2255.5)).

    Respuesta: 67.9 kg.

3. ¿Error en tierra para 0.005° desde 600 km?

    1. 600,000 × 8.727 × 10⁻⁵.

    Respuesta: 52.4 m.

4. ¿Pérdida a 1500 km, 8.2 GHz?

    1. 20 $\log_{10}$(4π × 1.5 × 10⁶/0.03659).

    Respuesta: 174.2 dB.

5. ¿Fiabilidad para λ = 2 × 10⁻⁶ /h durante 7 años?

    1. e^(−0.1226).

    Respuesta: 0.885.

6. ¿Par en paralelo de unidades de 0.885?

    1. 1 − 0.115².

    Respuesta: 0.987.

Hoja de fórmulas

$$m_{alloc} = m_{est}(1+M),\ S = \sum w_i s_i$$

$$T = 2\pi\sqrt{a^3/\mu},\ v = \sqrt{\mu/a},\ f_e \approx \sin^{-1}(R_E/a)/\pi$$

$$P = S\eta A\cos\theta,\ S = 1361/r^2$$

$$E = P_e t_e / DoD,\ m_b = E/e_{sp}$$

$$Q = \varepsilon\sigma A T^4,\ T = (\alpha S/4\varepsilon\sigma)^{1/4}$$

$$F = nmg_0,\ f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{k/m}$$

$$m_p = m_0(1 - e^{-\Delta v/v_e})$$

$$\theta = x/h,\ e = h\theta,\ H = \tau t$$

$$L = 20\log_{10}(4\pi d/\lambda),\ G = \eta(\pi D/\lambda)^2$$

$$R = e^{-\lambda t},\ R_p = 1-(1-R)^2$$

Constantes

Constante	Valor
μ de la Tierra	398,600.4418 km^3/s^2
Radio terrestre (ecuatorial)	6378.137 km
Flujo solar a 1 UA (valor de libro)	1361 W/m^2
Constante de Stefan–Boltzmann	$\sigma = 5.670374419 \times 10^{-8}$ $W/(m^2 \cdot K^4)$
Velocidad de la luz	299792458 m/s (3×10^8 usado en los ejemplos)
Gravedad estándar	$g_0 = 9.80665$ m/s^2

Fuente: NIST: CODATA value, Stefan–Boltzmann constant (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?sigma)

Textos y simulaciones gratuitos

Usa estas clases gratuitas, referencias de la NASA y simulaciones junto con el curso.

- MIT OpenCourseWare 16.851 Satellite Engineering (Fall 2003) (https://ocw.mit.edu/courses/16-851-satellite-engineering-fall-2003/): Clases gratuitas del MIT sobre ingeniería de satélites.
- NASA Systems Engineering Handbook (https://www.nasa.gov/reference/systems-engineering-handbook/): Manual gratuito de la NASA.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/): Estudio tecnológico gratuito de la NASA.
- NASA Small Spacecraft Technology State of the Art: 3.0 Power (May 2026) (https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/power-subsystems/): Capítulo gratuito de la NASA sobre potencia.
- PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum): Radiación térmica de forma interactiva.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): Circuitos de forma interactiva.

Glosario

ADCS
Subsistema de determinación y control de actitud.

Ganancia de antena
Concentración del haz respecto a la isótropa.

Bus
Plataforma de la nave que lleva la carga útil.

C&DH
Mando y gestión de datos.

Profundidad de descarga
Fracción de la capacidad de la batería usada.

Eclipse
Tiempo en la sombra de un planeta.

Emisividad
Capacidad de radiar calor.

Final de vida
Prestaciones tras la degradación.

Asistencia gravitatoria
Sobrevuelo planetario que cambia la velocidad.

Herencia
Diseño probado en vuelo.

Balance de enlace
Suma de ganancias y pérdidas de un radioenlace.

Margen
Reserva por encima de la necesidad.

Aislamiento multicapa
Manta térmica que bloquea la radiación.

Pérdida de trayecto
Pérdida por dispersión de la señal.

Carga útil
Instrumentos para los que existe la misión.

Redundancia
Hardware de respaldo.

Requisito
Necesidad medible y verificable.

Flujo solar
Potencia solar por unidad de área.

Potencia específica
Potencia por unidad de masa.

Órbita heliosíncrona
Órbita que cruza a la misma hora local cada día.

Rúbrica de autoevaluación

No se otorga nota ni crédito. Úsala para valorar con honestidad dónde estás en cada unidad.

Nivel	Cómo se ve
4 · Dominio	Parte de los requisitos, mantiene balances coherentes con márgenes, comprueba unidades y órdenes de magnitud, y explica con palabras sencillas los compromisos entre subsistemas.
3 · Competente	Resuelve los problemas de práctica con fallos ocasionales en unidades o márgenes.
2 · En desarrollo	Sigue los ejemplos resueltos pero confunde potencia y energía, o dB y valores lineales.
1 · Inicial	Introduce números en fórmulas sin requisito ni balance; necesita repasar la unidad.

Ponderación sugerida si quieres una nota

Parte	Peso
Problemas de práctica	20%
Prácticas	25%
Serie de práctica de mitad de curso	25%
Serie de práctica final	30%

Apunta al nivel 3 o superior en cada unidad antes de pasar al siguiente curso.

Cursos relacionados

- Dinámica de vuelo y control AERO 420
- Transferencia de calor AERO 440
- Propulsión AERO 410
- Todos los cursos