Última actualización: November 1, 2026

🗺️ Ruta de cuatro años · Año 2, Otoño

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 estática de segundo año de ingeniería. Se basa en los temas y la profundidad de MIT 2.001 (la mitad de estática de Mechanics and Materials I, en MIT OpenCourseWare), Purdue ME 270 y Georgia Tech COE 2001, y en el libro abierto gratuito Engineering Statics: Open and Interactive y OpenStax University Physics Volume 1 (Chapter 12), que enlazamos en todo el curso. Ninguno de esos autores o centros respalda esta página.
>
> Lo que añadimos: cada unidad se vincula con trabajo real en energía limpia, infraestructura o el espacio con una fuente pública citada (aerogeneradores, eólica marina flotante, puentes, la presa Hoover, la estación espacial, deslizamientos de tierra, materiales de construcción), cada número de la página se recalcula con un script de verificación antes de publicarse, y cada práctica tiene una simulación gratuita o una versión casera económica.
>
> 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

La energía limpia y la infraestructura resiliente se apoyan en la estática. La torre de un aerogenerador debe resistir el momento de vuelco del viento sobre su rotor, una plataforma marina flotante se mantiene en su sitio con líneas de amarre en equilibrio, una presa convierte la presión del agua en fuerzas que su hormigón puede soportar, y cada puente se comprueba sumando fuerzas y momentos.

La estática es también la forma de construir más ligero y desperdiciar menos: una armadura o un bastidor bien diseñados usan menos acero, hormigón y madera para la misma tarea, y las estructuras que duran más evitan que los materiales acaben en vertederos. Cada unidad termina

con una breve sección con fuentes. Los valores que no provienen de una fuente se marcan como valores de ejemplo.

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 (ENGR 211).
- 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

- Física I: fuerzas, leyes de Newton, momento de torsión y diagramas de cuerpo libre.
- Cálculo I y II: derivadas e integrales (para cargas distribuidas, centroides y diagramas de momento).
- Vectores: componentes, productos escalar y vectorial (repasados en la unidad 1).
- Cálculo III y Álgebra lineal ayudan con los problemas 3D, pero no son obligatorios.

Cómo estudiar

- Dibuja primero un diagrama de cuerpo libre, siempre. La mayoría de los errores de estática son una fuerza que falta o sobra en el diagrama.
- Elige ejes y un punto de momentos que eliminen tantas incógnitas como sea posible.
- Resuelve primero con símbolos, luego sustituye números en unidades SI y comprueba unidades y signos al final.
- Cuenta incógnitas y ecuaciones independientes antes de resolver, para saber si el problema se puede resolver solo con estática.

- Comprueba la respuesta con una ecuación que no hayas usado (por ejemplo, un segundo punto de momentos).
- Haz cada ejercicio en papel antes de abrir la respuesta, y repite los cuestionarios unos días después.

Qué necesitas

- Una computadora o tableta para las simulaciones PhET gratuitas (funcionan en el navegador).
- Una báscula digital de equipaje o de cocina, cordel y algunas masas conocidas (sirven botellas de agua o bolsas de arroz con la masa en la etiqueta).
- Una regla de 30 cm, un lápiz, monedas o arandelas, y una app de transportador o inclinómetro en el teléfono.
- Palitos de madera o cartulina rígida, una pistola de silicona o cola blanca, y alfileres.
- Una lámina de cartón corrugado, tijeras, una chincheta y un hilo con un pequeño peso (una plomada).
- Un libro de tapa dura, una caja pequeña y una taza lisa o un poste redondo para la prueba de fricción de una cuerda.

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	Fuerzas y vectores en 2D y 3D	Unidades, fuerzas como vectores, componentes 2D y resultantes	Engineering Statics Ch. 1–2
2	Fuerzas y vectores en 2D y 3D	Vectores 3D, vectores de posición y unitarios, producto escalar; Práctica A	Ch. 2
3	Equilibrio de una partícula	Diagramas de cuerpo libre, equilibrio de partículas en 2D y 3D, resortes; Práctica B	Ch. 3; OpenStax UP1 12.1
4	Momentos, pares y sistemas equivalentes	Momentos en 2D y 3D, producto vectorial, Varignon	Ch. 4.1–4.4
5	Momentos, pares y sistemas equivalentes	Momento respecto a un eje, pares, sistemas equivalentes, cargas distribuidas; Práctica C	Ch. 4.5–4.8
6	Equilibrio del cuerpo rígido en 2D	Apoyos, equilibrio del cuerpo rígido en 2D, determinación estática	Ch. 5.1–5.4; UP1 12.2

Semana	Unidad	Temas	Lectura
7	Equilibrio del cuerpo rígido en 3D	Equilibrio del cuerpo rígido en 3D; práctica para el parcial	Ch. 5.5–5.6
8	Armaduras: método de los nodos y método de las secciones	Armaduras: nodos, barras de fuerza nula, secciones; Práctica D	Ch. 6.1–6.4
9	Bastidores y máquinas	Bastidores y máquinas	Ch. 6.5–6.6
10	Centroides, cargas distribuidas, presión de fluidos y momentos de inercia de área	Centroides y centros de gravedad, piezas compuestas; Práctica E	Ch. 7
11	Centroides, cargas distribuidas, presión de fluidos y momentos de inercia de área	Cargas distribuidas, presión de fluidos, momentos de inercia de área	Ch. 7, Ch. 10; UP1 14.1
12	Fuerzas internas: diagramas de cortante y momento flector, y cables	Fuerzas internas, diagramas de cortante y momento	Ch. 8.1–8.2
13	Fuerzas internas: diagramas de cortante y momento flector, y cables	Relaciones carga–cortante–momento, cables	Ch. 8.3
14	Fricción	Fricción seca, cuñas, escaleras, fricción en bandas; Práctica F	Ch. 9; UP1 6.2
15	Repaso	Repaso y serie de práctica final	Todas las unidades

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

Fuerzas y vectores en 2D y 3D

Qué es la estática, unidades, fuerzas como vectores, componentes, resultantes, vectores unitarios y de posición en 3D, y el producto escalar para ángulos y proyecciones.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Descomponer una fuerza en componentes en 2D y 3D.
- Sumar fuerzas para hallar una resultante y su dirección.
- Escribir una fuerza a lo largo de una línea a partir de dos puntos.
- Usar el producto escalar para hallar ángulos y proyecciones.

Conceptos clave

- La estática estudia cuerpos cuya aceleración es cero, de modo que las fuerzas sobre ellos se equilibran: ΣF = 0 y ΣM = 0.
- Una fuerza tiene magnitud, dirección y un punto (o línea) de aplicación. En el SI se mide en newtons; 1 kg pesa 9.81 N.
- En 2D, una fuerza F con ángulo θ respecto al eje x tiene componentes F cos θ y F sin θ. Las resultantes se suman componente a componente.
- En 3D, escribe F = F û, donde û es un vector unitario. A lo largo de una línea de A a B, û = (r_B − r_A)/|r_B − r_A|.
- El producto escalar A·B = |A||B| cos θ da el ángulo entre dos vectores y la componente de una fuerza a lo largo de cualquier línea.

Ecuaciones clave

$$F_x = F\cos\theta, \quad F_y = F\sin\theta$$

F_x=Fθ, F_y=Fθ

Componentes en 2D

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(R_y/R_x)$$

R=_x^2+R_y^2, θ=^-1(R_y/R_x)

Resultante

$$\vec{F} = F\,\hat{u}_{AB} = F\,\frac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$$

F=F u_AB=F (r_B- r_A)/(| r_B- r_A|)

Fuerza a lo largo de una línea

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \cos\theta$$

A· B=| A|| B|θ

Producto escalar

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 1.1 Una fuerza de 500 N actúa a 30° por encima del eje +x. Halla sus componentes.

1. F_x = 500 cos 30° = 433 N.
2. F_y = 500 sin 30° = 250 N.

Respuesta: F = (433, 250) N.

Ejemplo 1.2 Suma F_1 = 300 N a lo largo de +x y F_2 = 400 N a 120° de +x.

1. F_2 = (400 cos 120°, 400 sin 120°) = (−200, 346.4) N.
2. R = (100, 346.4) N, así que |R| = √(100² + 346.4²).
3. θ = $\tan^{-1}$(346.4/100).

Respuesta: 360.6 N a 73.9° de +x.

Ejemplo 1.3 Un cable tira con 1.2 kN desde A(0, 0, 0) hacia B(2, 3, 6) m. Escribe la fuerza como vector.

1. r_AB = (2, 3, 6) m, longitud √(4 + 9 + 36) = 7 m.
2. û = (2/7, 3/7, 6/7).
3. F = 1200 û.

Respuesta: F = (343, 514, 1029) N.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Halla el ángulo entre A = (3, 4, 0) y B = (4, 0, 3).

   A·B = 12, |A| = |B| = 5, cos θ = 0.48, θ = 61.3°.

2. Halla la componente de F = (100, 200, −50) N a lo largo de û = (0.6, 0.8, 0).

   F·û = 60 + 160 = 220 N.

3. Halla los ángulos directores de F = (200, −300, 600) N.

   |F| = 700 N; $\alpha = \cos^{-1}(2/7) = 73.4°$, $\beta = \cos^{-1}(-3/7) = 115.4°$, $\gamma = \cos^{-1}(6/7) = 31.0°$.

4. Valores de ejemplo: una fuerza de 50 kN sobre una estructura actúa 20° por encima de la horizontal. Halla sus partes horizontal y vertical.

   $F_x = 50 \cos 20° = 47.0$ kN; $F_y = 50 \sin 20° = 17.1$ kN.

Ideas erróneas comunes

Mito: Las fuerzas se suman como números: 300 N + 400 N = 700 N.

En realidad: Se suman como vectores; 300 N y 400 N en ángulo recto dan 500 N.

Mito: Un vector unitario tiene unidades de newtons.

En realidad: Un vector unitario es adimensional y de longitud 1; la magnitud lleva las unidades.

Mito: Masa y peso son lo mismo.

En realidad: La masa está en kg; el peso es una fuerza, mg, en newtons.

Tarjetas de estudio

Estática

Cuerpos en reposo o a velocidad constante: ΣF = 0, ΣM = 0.

Componentes

$F_x = F \cos \theta$, $F_y = F \sin \theta$.

Vector unitario

û = r/|r|, longitud 1.

Fuerza a lo largo de una línea

$F = F\,(r_B - r_A)/|r_B - r_A|$.

Producto escalar

A·B = |A||B| cos θ.

Peso

W = mg, 9.81 N por kg.

Cuestionario de autoevaluación

1. La resultante de 3 kN al este y 4 kN al norte es...

7 kN

5 kN

1 kN

12 kN

5 kN. $\sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5$.

2. Un vector unitario tiene longitud...

0

1

F

depende de las unidades

1. Por definición.

3. El producto escalar de vectores perpendiculares es...

1

0

|A||B|

negativo

0. $\cos 90° = 0$.

4. La unidad SI de fuerza es el...

kilogramo

newton

pascal

julio

newton. 1 N = 1 kg·m/s².

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Una pala de aerogenerador es una lección de vectores de fuerza. El Departamento de Energía de EE. UU. explica que el viento que fluye sobre una pala crea sustentación y arrastre, y que la sustentación es mayor que el arrastre, lo que hace girar el rotor. Los ingenieros descomponen esas fuerzas en componentes a lo largo del rotor y perpendiculares a él para dimensionar las palas, el buje y la torre.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · Engineering Statics, Chapter 2: Forces and other vectors (https://engineeringstatics.org/Chapter_02.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 2 Forces and other vectors (https://engineeringstatics.org/Chapter_02.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 2.1 Scalars and vectors (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/2-1-scalars-and-vectors): Fundamentos de vectores.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Interactivo.

☐ **Terminé esta unidad**

Equilibrio de una partícula

Diagramas de cuerpo libre, equilibrio de fuerzas concurrentes en 2D y 3D, cables, poleas y resortes.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Dibujar un diagrama de cuerpo libre completo de una partícula.
- Resolver equilibrio en 2D con dos incógnitas.
- Resolver equilibrio en 3D con fuerzas de cable escritas como vectores.
- Modelar resortes con F = kδ.

Conceptos clave

- Una partícula es un cuerpo tan pequeño que todas las fuerzas actúan en un punto, así que solo importa ΣF = 0 (dos ecuaciones en 2D, tres en 3D).
- Un diagrama de cuerpo libre (DCL) aísla el cuerpo y muestra todas las fuerzas externas sobre él, con las direcciones conocidas y las incógnitas rotuladas.
- Un cable o una cuerda solo puede tirar, a lo largo de su propia línea. En una polea ideal la tensión es igual a ambos lados.
- Un resorte lineal tira o empuja con F = kδ, donde δ es el cambio respecto a su longitud natural.
- Si obtienes una tensión negativa, el sentido supuesto era erróneo; un cable no puede empujar, así que hay que cambiar el planteamiento.

Ecuaciones clave

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

`F_x=0, F_y=0`

Equilibrio de una partícula en 2D

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \;\Rightarrow\; \sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

`F= 0\ \ F_x= F_y= F_z=0`

Equilibrio de una partícula en 3D

$$F = k\,\delta$$

Resorte lineal

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 2.1 Una masa de 100 kg cuelga de dos cables, cada uno a 30° sobre la horizontal. Halla la tensión.

1. $W = 100 \times 9.81 = 981$ N.
2. Vertical: $2T \sin 30° = 981$.

Respuesta: $T = 981$ N en cada cable.

Ejemplo 2.2 Una masa de 50 kg cuelga del cable B a 30° y del cable C a 45° sobre la horizontal, a lados opuestos. Halla ambas tensiones.

1. $W = 490.5$ N.
2. Horizontal: $T_B \cos 30° = T_C \cos 45°$.
3. Vertical: $T_B \sin 30° + T_C \sin 45° = 490.5$, así que $T_B\,(0.5 + 0.866) = 490.5$.

Respuesta: $T_B = 359.1$ N, $T_C = 439.8$ N.

Ejemplo 2.3 Un resorte con $k = 2000$ N/m sostiene en reposo una masa de 20 kg. ¿Cuánto se estira?

1. $k\delta = mg = 196.2$ N.
2. $\delta = 196.2/2000$.

Respuesta: 0.0981 m (98.1 mm).

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un bloque de 10 kg descansa en un plano liso inclinado 25°, sujeto por un cable paralelo a la pendiente. Halla la tensión y la fuerza normal.

   $T = mg \sin 25° = 41.5$ N; $N = mg \cos 25° = 88.9$ N.

2. Una carga de 600 N cuelga de tres cables unidos a los puntos (2, 0, 4), (−1, 1.732, 4) y (−1, −1.732, 4) m. Halla cada tensión.

   Cada cable mide $\sqrt{20} = 4.47$ m con fracción vertical $4/4.47 = 0.894$; por simetría $3T(0.894) = 600$, así que $T = 223.6$ N.

3. Dos eslingas, cada una a 60° sobre la horizontal, levantan una carga de 2000 kg. Halla la tensión en las eslingas.

   $T = 19620/(2 \sin 60°) = 11327$ N ≈ 11.3 kN.

4. ¿Por qué crece la tensión de las eslingas a medida que su ángulo se hace más plano?

   $T = W/(2 \sin \theta)$; cuando $\theta \to 0$, $\sin \theta \to 0$ y T crece sin límite.

Ideas erróneas comunes

Mito: La tensión en un cable es igual al peso que sostiene.

En realidad: Solo cuando el cable es vertical; inclinado debe ser mayor.

Mito: Las fuerzas que el cuerpo ejerce sobre sus apoyos van en su DCL.

En realidad: Solo las fuerzas que actúan sobre el cuerpo van en su DCL.

Mito: Un objeto más pesado en una cuerda de polea hace que la tensión sea distinta a cada lado.

En realidad: Una polea ideal sin fricción mantiene la misma tensión a ambos lados.

Tarjetas de estudio

Partícula

Todas las fuerzas se cortan en un punto; solo $\Sigma F = 0$.

Diagrama de cuerpo libre

El cuerpo aislado con todas las fuerzas externas que actúan sobre él.

Cable

Tira solo a lo largo de su propia línea.

Polea ideal

Misma tensión a ambos lados.

Resorte

$F = k\delta$.

Respuesta negativa

El sentido supuesto era erróneo.

Cuestionario de autoevaluación

1. En 3D, ¿cuántas ecuaciones independientes da una partícula en equilibrio?

1

2

3

6

3. $\Sigma F_x = \Sigma F_y = \Sigma F_z = 0$.

2. Un cable puede…

empujar

tirar

empujar o tirar

se retuercen

tirar. Los cables solo trabajan a tracción.

3. Dos cables sostienen un peso a 30° cada uno. Aplanarlos a 15° hace que la tensión sea…

menor

igual

mayor

cero

mayor. $T = W/(2 \sin \theta)$.

4. El primer paso de cualquier problema de estática es…

sustituir números

dibujar un diagrama de cuerpo libre

tomar momentos

adivinar

dibujar un diagrama de cuerpo libre. El DCL muestra qué sumar.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El Departamento de Energía de EE. UU. señala que gran parte del potencial eólico marino está en aguas demasiado profundas para cimentaciones fijas ancladas al fondo, así que allí las turbinas necesitan plataformas flotantes. Una plataforma flotante se mantiene en su sitio porque sus líneas de amarre, su flotabilidad y su peso se equilibran: es equilibrio de partícula y de cuerpo rígido a escala gigante.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: U.S. DOE: Floating Offshore Wind Shot (https://www.energy.gov/eere/wind/floating-offshore-wind-shot) · Engineering Statics, Chapter 3: Equilibrium of particles (https://engineeringstatics.org/Chapter_03.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 3 Equilibrium of particles (https://engineeringstatics.org/Chapter_03.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 12.1 Conditions for static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-1-conditions-for-static-equilibrium): Visión desde la física.
- PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics): Fuerzas equilibradas.
- PhET: Hooke's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/hookes-law): Resortes.

☐ **Terminé esta unidad**

Momentos, pares y sistemas equivalentes

Momento de una fuerza en 2D y 3D, producto vectorial, teorema de Varignon, momento respecto a un eje, pares, sistemas de fuerzas equivalentes y resultantes de cargas distribuidas.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Hallar el momento de una fuerza respecto a un punto en 2D (escalar) y en 3D (producto vectorial).
- Hallar el momento de una fuerza respecto a un eje.
- Trabajar con pares y reemplazar un sistema de fuerzas por una fuerza y un par equivalentes.
- Reemplazar una carga distribuida por su resultante.

Conceptos clave

- El momento de una fuerza respecto a un punto O es M_O = r × F, donde r va de O a cualquier punto de la línea de acción de la fuerza. En 2D su magnitud es F por la distancia perpendicular d.
- Teorema de Varignon: el momento de una fuerza es igual a la suma de los momentos de sus componentes, así que M_z = xF_y − yF_x.
- El momento respecto a un eje es la componente de M_O a lo largo de ese eje: M_a = û_a·(r × F).
- Un par son dos fuerzas iguales, opuestas y paralelas. Su momento Fd es el mismo respecto a cualquier punto, así que es un vector libre.
- Cualquier sistema de fuerzas puede reemplazarse por una fuerza y un par en cualquier punto. Una carga distribuida w(x) equivale a una fuerza igual a su área, aplicada en su centroide.

Ecuaciones clave

$$M_O = Fd, \quad \vec{M}_O = \vec{r} \times \vec{F}$$

`M_O=Fd, M_O= r× F`

Momento de una fuerza

$$M_z = xF_y - yF_x$$

`M_z=xF_y-yF_x`

Varignon en 2D

$$M_a = \hat{u}_a \cdot (\vec{r} \times \vec{F})$$

`M_a= u_a·( r× F)`

Momento respecto a un eje

$$F_R = \int w\,dx, \quad \bar{x} = \frac{\int x\,w\,dx}{\int w\,dx}$$

```
F_R= w dx, x=( x w dx)/( w dx)
```

Resultante de carga distribuida

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 3.1 Una fuerza de 200 N actúa en el extremo de una llave de 0.40 m, a 60° del mango. Halla el momento respecto al perno.

1. Parte perpendicular de la fuerza: 200 sin 60°.
2. M = 0.40 × 200 sin 60°.

Respuesta: 69.3 N·m.

Ejemplo 3.2 Halla M_O para r = (2, 1, 0) m y F = (0, 0, 500) N.

1. r × F = (1 × 500 − 0, 0 − 2 × 500, 0).
2. |M| = √(500² + 1000²).

Respuesta: M_O = (500, −1000, 0) N·m, de magnitud 1118 N·m.

Ejemplo 3.3 Una viga soporta una carga uniforme de 4 kN/m en 5 m y, en otra parte, una carga triangular que sube de 0 a 6 kN/m en 3 m. Halla cada resultante.

1. Uniforme: área 4 × 5 en el centro.
2. Triángulo: área ½ × 6 × 3 a dos tercios desde el extremo nulo.

Respuesta: 20 kN a 2.5 m; 9 kN a 2 m del extremo nulo.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Dos fuerzas de 150 N forman un par con brazos separados 0.25 m. Halla el momento del par.

   M = Fd = 37.5 N·m, el mismo respecto a cualquier punto.

2. F = (300, 400) N actúa en (2, 1.5) m. Halla M respecto al origen.

$M_z = xF_y - yF_x = 800 - 450 = 350$ N·m, antihorario.

3. Valores de ejemplo: el viento empuja el rotor de una turbina con 400 kN en un buje a 100 m del suelo. Halla el momento de vuelco en la base.

   $M = 400$ kN × 100 m = 40 MN·m (valores de ejemplo).

4. Reemplaza 2 kN en x = 3 m y 4 kN en x = 6 m (ambas hacia abajo) por una sola fuerza.

   $F_R = 6$ kN en $\bar{x} = (2 \times 3 + 4 \times 6)/6 = 5$ m.

Ideas erróneas comunes

Mito: Momento = fuerza × distancia al punto de aplicación.

En realidad: Usa la distancia perpendicular a la línea de acción.

Mito: Un par tiende a desplazar un cuerpo lateralmente.

En realidad: Un par tiene fuerza neta nula; solo hace girar.

Mito: r × F = F × r.

En realidad: El producto vectorial cambia de signo al invertir el orden.

Tarjetas de estudio

Momento

$M_O = r \times F$; magnitud Fd.

Varignon

Momento de una fuerza = suma de los momentos de sus componentes.

Momento respecto a un eje

$M_a = \hat{u} \cdot (r \times F)$.

Par

Fuerzas iguales, opuestas y paralelas; momento Fd en todas partes.

Sistema equivalente

Una fuerza más un par en cualquier punto.

Carga distribuida

Resultante = área, aplicada en el centroide.

Cuestionario de autoevaluación

1. Mover una fuerza a lo largo de su propia línea cambia su momento respecto a O...

duplicándolo

nada

invirtiéndolo

anulándolo

nada. La distancia perpendicular no cambia.

2. El momento de un par respecto a distintos puntos es...

distinto

igual

cero

indefinido

igual. Un par es un vector libre.

3. Una carga uniforme w sobre una longitud L tiene como resultante...

w

wL en L/2

wL en L

$wL^2/2$

wL en L/2. Área en el centroide.

4. La unidad de momento en el SI es...

N

N·m

N/m

Pa

N·m. Fuerza × distancia.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Torres altas significan momentos grandes. El Departamento de Energía de EE. UU. dice que las turbinas eólicas marinas suelen ser enormes y más altas que la Estatua de la Libertad, y que las turbinas más grandes son más rentables. El empuje del viento sobre un rotor muy por encima de la base genera un gran momento de vuelco, y la torre, la cimentación o la plataforma flotante debe aportar un momento igual y opuesto. Un cálculo de momento como el de los ejercicios es el punto de partida de todo diseño de torre.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · Engineering Statics, Chapter 4: Moments and static equivalence (https://engineeringstatics.org/Chapter_04.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 4 Moments and static equivalence (https://engineeringstatics.org/Chapter_04.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 10.6 Torque (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-6-torque): Momentos en física.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Interactivo.

Ver la clase

15.4 Momentum of a System of Point Particles (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/15-3/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

UNIDAD 4 · SEMANA 6

Equilibrio del cuerpo rígido en 2D

Apoyos y sus reacciones, diagramas de cuerpo libre de cuerpos rígidos, las tres ecuaciones de equilibrio plano, elementos de dos y tres fuerzas, y determinación estática.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Reemplazar cada apoyo (articulación, rodillo, empotramiento) por las reacciones correctas.
- Calcular reacciones en los apoyos con ΣF_x = ΣF_y = ΣM = 0.
- Reconocer elementos de dos fuerzas.
- Decidir si un cuerpo es estáticamente determinado, indeterminado o mal apoyado.

Conceptos clave

- Un cuerpo rígido necesita ΣF = 0 y ΣM = 0. En 2D son tres ecuaciones: ΣF_x = 0, ΣF_y = 0 y ΣM_A = 0 respecto a cualquier punto A.
- Apoyos: un rodillo da una fuerza normal a su superficie, una articulación da dos componentes de fuerza y un empotramiento da dos fuerzas y un par.
- Toma momentos respecto al punto donde concurren más incógnitas; a menudo da una incógnita por ecuación.
- Un elemento de dos fuerzas (fuerzas solo en dos puntos, sin momento) soporta fuerzas iguales y opuestas a lo largo de la recta que une esos puntos.
- Con más reacciones incógnitas que ecuaciones, el cuerpo es estáticamente indeterminado; con reacciones todas paralelas o concurrentes, está mal vinculado.

Ecuaciones clave

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum M_A = 0$$

```
F_x=0, F_y=0, M_A=0
```

Equilibrio del cuerpo rígido en 2D

$$\text{unknowns} = 3 \;\Rightarrow\; \text{determinate (if properly supported)}$$

```
unknowns=3\ \ determinate (if properly supported)
```

Determinación en 2D

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 4.1 Una viga simplemente apoyada de 6 m (articulación en A, rodillo en B) soporta 12 kN a 2 m de A. Halla las reacciones.

1. $\Sigma M_A = 0$: $6R_B = 12 \times 2$.
2. $\Sigma F_y = 0$: $R_A = 12 - R_B$.

Respuesta: $R_B = 4$ kN, $R_A = 8$ kN.

Ejemplo 4.2 Un voladizo de 3 m soporta 2 kN/m en toda su longitud más 5 kN en la punta. Halla las reacciones en el muro.

1. Resultante distribuida de 6 kN a 1.5 m.
2. $V = 6 + 5$; $M = 6 \times 1.5 + 5 \times 3$.

Respuesta: $V = 11$ kN hacia arriba, $M = 24$ kN·m en el muro.

Ejemplo 4.3 Una viga de 8 m tiene una articulación en $x = 0$, un rodillo en $x = 6$ m y una carga uniforme de 3 kN/m en toda su longitud. Halla las reacciones.

1. Resultante de 24 kN en $x = 4$ m.
2. ΣM_A: $6R_B = 24 \times 4$.
3. $R_A = 24 - R_B$.

Respuesta: $R_B = 16$ kN, $R_A = 8$ kN.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Una pluma horizontal de 4 m está articulada a un muro; un cable desde su punta al muro forma 30° con la pluma. Una carga de 500 kg cuelga de la punta. Halla la tensión del cable y las reacciones de la articulación (ignora el peso de la pluma).

   ΣM_{pin}: $T \sin 30° \times 4 = 4905 \times 4$, $T = 9810$ N; $A_x = T \cos 30° = 8496$ N; $A_y = 4905 - 4905 = 0$.

2. Una viga tiene una articulación y dos rodillos. ¿Es determinada?

   Cuatro reacciones incógnitas, tres ecuaciones: indeterminada de primer grado.

3. Valores de ejemplo: un vano de puente de 10 m soporta un grupo de ejes de camión de 80 kN a 4 m del apoyo A. Halla las reacciones.

R_B = 80 × 4/10 = 32 kN; R_A = 48 kN (valores de ejemplo).

4. ¿Por qué no es segura una viga sobre tres rodillos (todos verticales)?

   Nada resiste la fuerza horizontal: está mal vinculada aunque tenga tres reacciones.

Ideas erróneas comunes

Mito: Una articulación transmite momento.

En realidad: Una articulación deja girar al cuerpo; solo un empotramiento da un par.

Mito: Toma siempre momentos respecto al centro.

En realidad: Elige el punto que elimina más incógnitas.

Mito: Tres reacciones siempre significan determinado.

En realidad: No si son todas paralelas o concurren en un punto.

Tarjetas de estudio

Rodillo

Una reacción, normal a la superficie.

Pin

Dos reacciones de fuerza.

Empotramiento

Dos fuerzas y un par (2D).

Elemento de dos fuerzas

Fuerzas iguales y opuestas a lo largo de la recta entre sus extremos.

Estáticamente indeterminado

Más incógnitas que ecuaciones de equilibrio.

Vinculación impropia

Reacciones todas paralelas o concurrentes.

Cuestionario de autoevaluación

1. Un apoyo de rodillo proporciona...

una fuerza

dos fuerzas

una fuerza y un par

nada

una fuerza. Normal a la superficie de rodadura.

2. ¿Cuántas reacciones proporciona un empotramiento en 2D?

1

2

3

6

3. Dos fuerzas y un par.

3. Las fuerzas de un elemento de dos fuerzas actúan...

en cualquier dirección

a lo largo de la recta que une los dos puntos

perpendiculares al elemento

como un par

a lo largo de la recta que une los dos puntos. Si no, los momentos no se equilibrarían.

4. ¿Cuántas ecuaciones independientes da un cuerpo rígido en 2D?

2

3

4

6

3. Dos de fuerza y una de momento.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Toda evaluación de puentes empieza por las reacciones en los apoyos. El informe de la ASCE contabiliza 623218 puentes en EE. UU., de los cuales el 6.8% está en mal estado, y 63085 tenían restricción de carga en 2024, es decir, limitan el peso de los vehículos que pueden cruzarlos. Las restricciones de carga y las decisiones de reparación se basan en las mismas ecuaciones de equilibrio que esta unidad; mantener en servicio los puentes existentes más tiempo también ahorra el hormigón y el acero que requeriría reemplazarlos.

En Saving Planets: Soluciones

Fuentes: ASCE Report Card for America's Infrastructure: Bridges (https://infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges-infrastructure/) · Engineering Statics, Chapter 5: Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 5 Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 12.2 Examples of static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-2-examples-of-static-equilibrium): Ejemplos resueltos de física.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Interactivo.

☐ **Terminé esta unidad**

Equilibrio del cuerpo rígido en 3D

Apoyos en 3D (rótula, bisagra, cojinete, empotramiento), seis ecuaciones de equilibrio, momentos respecto a ejes para aislar incógnitas y determinación en 3D.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Modelar apoyos 3D con las reacciones correctas.
- Plantear y resolver las seis ecuaciones del equilibrio en 3D.
- Usar momentos respecto a ejes bien elegidos para hallar una incógnita cada vez.
- Contar incógnitas para juzgar la determinación en 3D.

Conceptos clave

- En 3D, un cuerpo rígido da seis ecuaciones: ΣF_x = ΣF_y = ΣF_z = 0 y ΣM_x = ΣM_y = ΣM_z = 0.
- Una rótula da tres fuerzas; una superficie lisa o un cable da una; una bisagra o cojinete da hasta cinco reacciones; un empotramiento da tres fuerzas y tres pares.
- Tomar momentos respecto a un eje que pasa por varias fuerzas incógnitas las elimina a todas de esa ecuación.
- Una placa plana sobre tres apoyos verticales con cargas verticales usa tres ecuaciones (ΣF_z, ΣM_x, ΣM_y); un cuarto apoyo la hace indeterminada.
- En 3D, el producto vectorial r × F es la forma fiable de obtener momentos; usa un determinante y mantén el orden r y luego F.

Ecuaciones clave

$$\sum \vec{F} = \vec{0}, \quad \sum \vec{M}_O = \vec{0}$$

`F= 0, M_O= 0`

Seis ecuaciones escalares en 3D

$$M_x = yF_z - zF_y,\ M_y = zF_x - xF_z,\ M_z = xF_y - yF_x$$

`M_x=yF_z-zF_y,\ M_y=zF_x-xF_z,\ M_z=xF_y-yF_x`

Componentes del momento

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 5.1 Una placa de 2 m × 1 m descansa sobre apoyos en (0, 0), (2, 0) y (0, 1) m. Una carga de 800 N actúa en (0.8, 0.4) m. Halla las tres reacciones.

1. Momentos respecto al eje x (recta y = 0): $R_3 \times 1 = 800 \times 0.4$.
2. Momentos respecto al eje y (recta x = 0): $R_2 \times 2 = 800 \times 0.8$.
3. ΣF_z: $R_1 = 800 - R_2 - R_3$.

Respuesta: $R_1 = 160$ N, $R_2 = 320$ N, $R_3 = 320$ N.

Ejemplo 5.2 F = (0, 0, −200) N actúa en (0.5, 0.3, 0) m. Halla sus momentos respecto a los ejes x e y que pasan por el origen.

1. $M_x = yF_z - zF_y = 0.3 \times (-200)$.
2. $M_y = zF_x - xF_z = -0.5 \times (-200)$.

Respuesta: $M_x = -60$ N·m, $M_y = +100$ N·m.

Ejemplo 5.3 Un soporte simétrico de tres patas carga 1.5 kN en su centro. Halla la fuerza en cada pata.

1. Por simetría, las tres reacciones verticales son iguales.
2. $3R = 1.5$ kN.

Respuesta: 500 N por pata.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Repite el ejemplo de la placa con la carga de 800 N en (0.5, 0.5) m.

   $R_3 = 400$ N, $R_2 = 200$ N, $R_1 = 200$ N.

2. ¿Cuántas reacciones da una rótula?

   Tres componentes de fuerza y ningún par.

3. Una mesa se apoya en cuatro patas. ¿Puede la estática por sí sola dar las cuatro fuerzas bajo una carga vertical?

   No: cuatro incógnitas pero solo tres ecuaciones útiles (ΣF_z, ΣM_x, ΣM_y), así que es indeterminada.

4. Halla M_z para F = (100, 50, 0) N en (0.2, 0.4, 0) m.

   $M_z = xF_y - yF_x = 10 - 40 = -30$ N·m.

Ideas erróneas comunes

Mito: Los problemas 3D siempre tienen seis incógnitas.

En realidad: Solo tantas como den los apoyos; una carga plana sobre una placa usa tres ecuaciones.

Mito: Los momentos respecto a un eje usan la distancia total a la fuerza.

En realidad: Solo importan la distancia perpendicular al eje y la componente de la fuerza no paralela a él.

Mito: Una bisagra siempre da un momento.

En realidad: Las bisagras bien alineadas se suelen modelar solo con fuerzas para evitar reacciones redundantes.

Tarjetas de estudio

Equilibrio en 3D

$\Sigma F = 0$ y $\Sigma M = 0$: seis ecuaciones.

Rótula

Tres fuerzas.

Empotramiento (3D)

Tres fuerzas, tres pares.

Momento respecto a un eje

$\hat{u} \cdot (r \times F)$.

Placa sobre tres apoyos

Determinada para cargas verticales.

Mesa de cuatro patas

Indeterminada para cargas verticales.

Cuestionario de autoevaluación

1. Ecuaciones de equilibrio de un cuerpo rígido en 3D:

3

4

6

9

6. Tres de fuerza y tres de momento.

2. ¿Cuántas reacciones da un cable?

1

2

3

6

1. Tensión a lo largo del cable.

3. Un eje que pasa por dos fuerzas incógnitas las elimina de...

ΣF

la ecuación de momentos respecto a ese eje

todas las ecuaciones

nada

la ecuación de momentos respecto a ese eje. Las fuerzas que pasan por un eje no tienen momento respecto a él.

4. Un empotramiento en 3D da...

3 reacciones

5 reacciones

6 reacciones

1 reacción

6 reacciones. Tres fuerzas y tres pares.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La Estación Espacial Internacional es un problema de estática 3D construido en órbita. La NASA indica una masa de 419725 kg y dice que el Canadarm2, de 55 pies, tiene siete articulaciones y se usa para mover módulos enteros. En tierra y durante el lanzamiento, cada módulo, articulación y anclaje tuvo que comprobarse para fuerzas y momentos en 3D, y los ocho paneles solares de la estación aportan de 75 a 90 kilovatios de energía limpia para su ciencia, incluida la observación de la Tierra.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/) · Engineering Statics, Chapter 5: Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 5 Rigid body equilibrium (3D) (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html): Capítulo de libro gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Apuntes y problemas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

UNIDAD 6 · SEMANA 8

Armaduras: método de los nodos y método de las secciones

Armaduras ideales, barras a tracción y a compresión, método de los nudos, barras de fuerza nula, método de las secciones y determinación de armaduras.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Enunciar las hipótesis de una armadura ideal.
- Hallar fuerzas en barras por el método de los nudos.
- Detectar a simple vista las barras de fuerza nula.
- Hallar rápidamente algunas fuerzas por el método de las secciones.

Conceptos clave

- Una armadura ideal tiene barras rectas unidas por pasadores sin fricción y cargadas solo en los nudos, así que cada barra es un elemento de dos fuerzas a tracción (T) o compresión (C).
- Método de los nudos: cada nudo es una partícula con dos ecuaciones; empieza por un nudo con no más de dos incógnitas.
- Barras de fuerza nula: en un nudo sin carga con dos barras no colineales, ambas son nulas; en un nudo sin carga con dos barras colineales y una tercera, la tercera es nula.
- Método de las secciones: corta no más de tres barras con fuerzas incógnitas y usa las tres ecuaciones del cuerpo rígido en un lado; toma momentos donde se cortan dos barras seccionadas.
- Una armadura plana con m barras, r reacciones y j nudos es determinada cuando m + r = 2j (y es estable).

Ecuaciones clave

$$m + r = 2j$$

`m+r=2j`

Determinación de armaduras planas

$$\sum F_x = \sum F_y = 0 \text{ at each joint}$$

`F_x= F_y=0\ at each joint`

Método de los nudos

$$F_{\text{chord}} = \frac{M}{h}$$

`F_chord=M/h`

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 6.1 Una armadura triangular salva 4 m con su vértice a 2 m de altura en el centro del vano; 10 kN cuelgan del vértice. Halla las fuerzas en las barras.

1. Reacciones: 5 kN en cada apoyo.
2. En A: $F_{AC} \sin 45° = 5$, así que $F_{AC} = 7.07$ kN.
3. Horizontal en A: $F_{AB} = F_{AC} \cos 45°$.

Respuesta: AC y BC: 7.07 kN (C); AB: 5 kN (T).

Ejemplo 6.2 Una armadura tiene 3 m de canto. En una sección, el momento de cargas y reacciones del lado izquierdo respecto al nudo inferior es 60 kN·m. Halla la fuerza en el cordón superior.

1. Momentos respecto al nudo inferior donde se cortan las otras dos barras seccionadas.
2. $F \times 3 = 60$.

Respuesta: 20 kN (C) en el cordón superior.

Ejemplo 6.3 En una armadura de puente, un nudo sin carga une dos barras colineales del cordón inferior y un montante. Halla la fuerza en el montante.

1. Suma fuerzas perpendiculares al cordón en ese nudo: solo el montante tiene componente.

Respuesta: Cero: es una barra de fuerza nula con esta carga.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Una armadura triangular salva 6 m con ángulos de base de 30°; 12 kN cuelgan del vértice. Halla las fuerzas.

   R = 6 kN cada una; $F_{AC} = 6/\sin 30° = 12$ kN (C); $F_{AB} = 12 \cos 30° = 10.39$ kN (T).

2. Una armadura plana tiene 9 barras, 6 nudos y 3 reacciones. ¿Es determinada?

   $m + r = 12 = 2j$, así que sí (si es estable).

3. ¿Por qué conservar barras de fuerza nula si no soportan nada?

Arriostran las barras comprimidas contra el pandeo y soportan carga cuando esta cambia.

4. La NASA indica que la armadura de la ISS mide 94 m y la estación 109 m de punta a punta. ¿Qué fracción de la longitud es armadura?

   94/109 = 0.86, alrededor del 86%.

Ideas erróneas comunes

Mito: Las barras de una armadura se flexionan.

En realidad: En una armadura ideal las barras solo se alargan o acortan (tracción o compresión pura).

Mito: Las barras de fuerza nula se pueden quitar.

En realidad: Estabilizan la armadura y soportan carga en otros casos.

Mito: Una respuesta negativa indica un error.

En realidad: Si supusiste tracción, una respuesta negativa indica compresión.

Tarjetas de estudio

Armadura ideal

Nudos articulados, cargas en los nudos, barras rectas.

Método de los nudos

ΣF = 0 en cada nudo.

Método de las secciones

Cortar ≤ 3 barras; usar las ecuaciones del cuerpo rígido.

Barra de fuerza nula

No soporta carga con la carga dada.

m + r = 2j

Determinación de armaduras planas.

T y C

La tracción tira de los nudos; la compresión empuja.

Cuestionario de autoevaluación

1. Cada barra de una armadura ideal es...

una viga

un elemento de dos fuerzas

un cable

un par

un elemento de dos fuerzas. Cargas solo en los nudos articulados.

2. ¿Cuántas barras con fuerzas incógnitas puede cortar como máximo el método de las secciones?

1

2

3

6

3. Tres ecuaciones para un cuerpo plano.

3. Para una armadura plana, la determinación requiere...

m = j

m + r = 2j

m = 3j

r = 3

m + r = 2j. Dos ecuaciones por nudo.

4. Una barra de la que tiran sus nudos está a...

compresión

tracción

cortante

torsión

tracción. Tirar de ella la alarga.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La columna vertebral de la estación espacial es una armadura. La NASA da para su armadura una longitud de 310 pies (94 metros), y sostiene paneles solares con una envergadura de 109 metros; los ocho paneles aportan de 75 a 90 kilovatios. Una armadura logra gran rigidez con poco material porque cada barra solo se alarga o se acorta; por eso también las armaduras sostienen puentes, torres de transmisión y torres de celosía de aerogeneradores con menos acero.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/) · Engineering Statics, Chapter 6: Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 6 Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html): Capítulo de libro de texto gratuito (armaduras, marcos, máquinas).
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Apuntes del MIT sobre armaduras.

☐ **Terminé esta unidad**

Bastidores y máquinas

Estructuras con elementos multifuerza: desmontar marcos, fuerzas en los pasadores sobre cada elemento, ventaja mecánica de máquinas y sistemas de poleas.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Distinguir un marco o máquina de una armadura.
- Desmontar un marco y aplicar la tercera ley de Newton en los pasadores compartidos.
- Hallar la fuerza de salida y la ventaja mecánica de máquinas simples.
- Analizar sistemas de poleas ideales.

Conceptos clave

- Los marcos y las máquinas tienen al menos un elemento multifuerza: un elemento con fuerzas en tres o más puntos, o con fuerzas y momentos, de modo que puede flexionarse.
- Desmonta la estructura. En cada pasador compartido, las fuerzas sobre los dos elementos son iguales y opuestas.
- Busca primero los elementos de dos fuerzas; se conoce la dirección de su fuerza, lo que reduce las incógnitas.
- Una máquina transforma una fuerza de entrada en una fuerza de salida; ventaja mecánica MA = F_out/F_in (ideal, sin fricción).
- En un sistema de poleas ideal la carga se reparte entre los tramos de cuerda que la sostienen, así que esfuerzo = carga/n.

Ecuaciones clave

$$MA = \frac{F_{\text{out}}}{F_{\text{in}}} = \frac{d_{\text{in}}}{d_{\text{out}}}$$

`MA=_outF_in=_ind_out`

Ventaja mecánica de una palanca (ideal)

$$F_{\text{effort}} = \frac{W}{n}$$

`F_effort=W/n`

Polea ideal con n tramos portantes

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 7.1 Una mano aprieta unos alicates con 100 N a 120 mm del pasador; las mordazas sujetan a 30 mm del pasador. Halla la fuerza de agarre.

1. Momentos respecto al pasador en un mango: F_jaw × 30 = 100 × 120.

Respuesta: 400 N (MA = 4).

Ejemplo 7.2 La carga de una carretilla de 600 N está a 0.4 m del eje de la rueda; los mangos están a 1.4 m del eje. Halla la fuerza para levantarla.

1. Momentos respecto al eje: F × 1.4 = 600 × 0.4.

Respuesta: 171.4 N.

Ejemplo 7.3 Un sistema de poleas ideal tiene 4 tramos de cuerda que sostienen una carga de 800 N. Halla el esfuerzo.

1. Cada tramo soporta la misma tensión T; 4T = 800.

Respuesta: 200 N.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un cortapernos compuesto tiene etapas con ventajas mecánicas 4 y 5. Las manos empujan con 150 N. Halla la fuerza de corte.

   MA total = 20; F = 3000 N.

2. Un polipasto ideal tiene 6 tramos portantes bajo una carga de 1200 N. Halla la tracción.

   200 N.

3. ¿Por qué no se puede usar el método de los nudos en un marco?

   Los elementos multifuerza soportan fuerzas que no van a lo largo del elemento, así que los nudos solos no dan suficientes ecuaciones.

4. Una palanca mide 2 m con el pivote a 0.25 m de la carga. ¿Qué fuerza levanta 1000 N?

   F × 1.75 = 1000 × 0.25, F = 142.9 N.

Ideas erróneas comunes

Mito: Todo elemento de un marco es un elemento de dos fuerzas.

En realidad: Al menos uno es multifuerza; eso es lo que lo hace un marco.

Mito: Las máquinas crean energía.

En realidad: Las máquinas ideales intercambian fuerza por distancia; el trabajo de entrada es igual al de salida.

Mito: Las fuerzas en los pasadores actúan en el mismo sentido sobre ambos elementos.

En realidad: Iguales y opuestas, por la tercera ley de Newton.

Tarjetas de estudio

Marco

Estructura fija con un elemento multifuerza.

Máquina

Piezas móviles que transforman una fuerza.

Elemento multifuerza

Fuerzas en tres o más puntos, o fuerzas más momentos.

Pasador compartido

Fuerzas iguales y opuestas sobre cada elemento.

Ventaja mecánica

F_out/F_in.

Sistema de poleas ideal

Esfuerzo = carga/n.

Cuestionario de autoevaluación

1. Un marco se diferencia de una armadura en que tiene...

ningún pasador

elementos multifuerza

solo cables

ningún apoyo

elementos multifuerza. Elementos con fuerzas en tres o más puntos.

2. En un pasador compartido, las fuerzas sobre los dos elementos son...

iguales y opuestas

del mismo sentido

cero

el doble

iguales y opuestas. Tercera ley.

3. MA ideal de una palanca con brazo de entrada de 0.8 m y brazo de salida de 0.2 m:

0.25

4

1.6

0.8

4. 0.8/0.2.

4. Esfuerzo ideal con 3 tramos de cuerda portantes y una carga de 900 N:

900 N

450 N

300 N

2700 N

300 N. 900/3.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los marcos que se pueden desmontar se pueden reutilizar. La EPA de EE. UU. informa que en 2018 se generaron en Estados Unidos 600 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición, de las cuales algo más de 455 millones de toneladas se destinaron a un uso posterior y algo menos de 145 millones de toneladas a vertederos. La EPA promueve recuperar y reutilizar componentes de edificios; los marcos diseñados con uniones atornilladas o articuladas, que analizas elemento por elemento en esta unidad, son más fáciles de desmontar y reutilizar.

En Saving Planets: Soluciones

Fuentes: U.S. EPA: Sustainable management of construction and demolition materials (https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials) · Engineering Statics, Chapter 6: Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 6 Frames and machines (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html): Capítulo de libro gratuito.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Palancas.

Terminé esta unidad

UNIDAD 8 · SEMANAS 10–11

Centroides, cargas distribuidas, presión de fluidos y momentos de inercia de área

Centro de gravedad y centroides por integración y por partes compuestas, cargas distribuidas, presión hidrostática sobre superficies sumergidas y momentos de inercia de área con el teorema de ejes paralelos.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Hallar centroides de áreas compuestas.
- Hallar la resultante y la línea de acción de la presión hidrostática sobre un muro o compuerta vertical.
- Calcular momentos de inercia de área de rectángulos y formas compuestas.
- Aplicar el teorema de ejes paralelos.

Conceptos clave

- El centro de gravedad es donde actúa el peso total. Para una placa uniforme coincide con el centroide del área: $\bar{x} = \Sigma x_i A_i / \Sigma A_i$.
- Partes compuestas: divide una forma en rectángulos, triángulos y círculos; los huecos cuentan como áreas negativas.
- La presión del agua crece linealmente con la profundidad, $p = \rho g h$. Sobre un muro vertical de ancho b y profundidad h, la resultante es $\tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$ y actúa a $h/3$ sobre el fondo.
- El momento de inercia de área $I = \int y^2 \, dA$ mide qué tan lejos de un eje está el área; controla la rigidez de una viga a flexión (siguiente curso).
- Teorema de ejes paralelos: $I = I_c + Ad^2$, donde I_c es respecto al eje centroidal y d es la distancia entre ejes.

Ecuaciones clave

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}_i A_i}{\sum A_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}_i A_i}{\sum A_i}$$

```
x=( x_iA_i)/( A_i), y=( y_iA_i)/( A_i)
```

Centroide compuesto

$$p = \rho g h, \quad F_R = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$$

```
p=ρ gh, F_R=12ρ g h^2 b
```

Presión hidrostática sobre un muro vertical

$$I_x = \int y^2\,dA, \quad I_{\text{rect}} = \frac{bh^3}{12}$$

`I_x= y^2 dA, I_rect=(bh^3)/(12)`

Momento de inercia de área

$$I = I_c + Ad^2$$

`I=I_c+Ad^2`

Teorema de ejes paralelos

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 8.1 Una forma en L es una barra de 100 × 20 mm a lo largo del eje x más una barra de 20 × 80 mm de pie sobre su extremo izquierdo (x de 0 a 20 mm, y de 20 a 100 mm). Halla el centroide.

1. A_1 = 2000 mm² en (50, 10); A_2 = 1600 mm² en (10, 60).
2. $\bar{x}$ = (2000 × 50 + 1600 × 10)/3600.
3. $\bar{y}$ = (2000 × 10 + 1600 × 60)/3600.

Respuesta: (32.2, 32.2) mm.

Ejemplo 8.2 Una compuerta vertical de 2 m de ancho retiene agua de 3 m de profundidad. Halla la fuerza resultante y dónde actúa.

1. F = ½ρgh²b = ½ × 1000 × 9.81 × 3² × 2.
2. Línea de acción: h/3 sobre el fondo.

Respuesta: 88.3 kN, a 1 m sobre el fondo (2 m bajo la superficie).

Ejemplo 8.3 Halla I de un rectángulo de 100 mm de ancho y 200 mm de alto respecto a su eje centroidal y respecto a su base.

1. I_c = bh³/12 = 100 × 200³/12.
2. I_base = I_c + A(100)² con A = 20000 mm².

Respuesta: I_c = 66.7 × 10⁶ mm⁴; I_base = 266.7 × 10⁶ mm⁴ (= bh³/3).

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Reclamation da como presión máxima del agua en la base de la presa Hoover 45000 lb/ft². Convierte a pascales y halla la profundidad de agua que produce esa presión.

   45000 × 47.88 = 2.15 MPa; h = p/(ρg) = 219.6 m, unos 721 ft, cerca de los 726.4 ft de altura de la presa.

2. Halla la altura del centroide de un semicírculo de radio 0.3 m sobre su diámetro.

   $\bar{y} = 4r/(3\pi) = 0.127$ m.

3. ¿Dónde está el centroide de un triángulo de altura h?

   A h/3 sobre la base.

4. Halla I_c de un cuadrado de 50 × 50 mm.

   $bh^3/12 = 50^4/12 = 520{,}833$ mm⁴ (5.21×10^5 mm⁴).

Ideas erróneas comunes

Mito: El centroide siempre está dentro de la forma.
En realidad: No en una L, una C o un anillo; puede quedar en el vacío.

Mito: El agua empuja igual de fuerte a cualquier profundidad.
En realidad: La presión crece linealmente con la profundidad.

Mito: I es el mismo respecto a cualquier eje.
En realidad: Crece con el cuadrado de la distancia al eje (teorema de ejes paralelos).

Tarjetas de estudio

Centroide

Posición media ponderada por el área.

Centro de gravedad

Donde actúa el peso total.

Presión hidrostática

$p = \rho g h$.

Fuerza sobre un muro

$\frac{1}{2}\rho g h^2 b$ a h/3 sobre el fondo.

Momento de inercia de área

$I = \int y^2\, dA$; $bh^3/12$ para un rectángulo.

Teorema de ejes paralelos

$I = I_c + Ad^2$.

Cuestionario de autoevaluación

1. La resultante de la presión del agua sobre un muro vertical actúa...

en la superficie

a media profundidad

a h/3 sobre el fondo

en el fondo

a h/3 sobre el fondo. Centroide de la carga triangular.

2. Un hueco en un área compuesta se trata como...

ignorado

área negativa

el doble del área

un punto

área negativa. Réstalo.

3. Duplicar el canto de un rectángulo multiplica I_c por...

2

4

8

16

8. $I \propto h^3$.

4. La presión del agua a profundidad h es...

ρg/h

ρgh

ρh^2

gh/ρ

ρgh. Hidrostática.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La presa Hoover es estática de fluidos hecha de hormigón. El Bureau of Reclamation dice que la presa mide 726.4 pies desde la roca de cimentación hasta la coronación, que la presión máxima del agua en su base es de 45000 libras por pie cuadrado y que es una presa de arco-gravedad de hormigón, en la que la carga del agua se soporta tanto por acción de gravedad como por acción de arco horizontal. El ejercicio muestra que 45000 lb/ft^2 es más o menos lo que producen 220 m de agua. El peso y la forma de la presa mantienen la resultante de esa presión dentro de su base, de modo que ni desliza ni vuelca, mientras su embalse alimenta una central hidroeléctrica.

En Saving Planets: Física II

Fuentes: U.S. Bureau of Reclamation: Hoover Dam frequently asked questions (https://www.usbr.gov/lc/hooverdam/faqs/damfaqs.html) · Engineering Statics, Chapter 7: Centroids and centers of gravity (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 7 Centroids and centers of gravity (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html): Capítulo de libro gratuito.
- Engineering Statics, Ch. 10 Moments of inertia (https://engineeringstatics.org/Chapter_10.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 9.6 Center of mass (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-6-center-of-mass): Visión desde la física.
- OpenStax UP1, 14.1 Fluids, density and pressure (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-1-fluids-density-and-pressure): Presión con la profundidad.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Interactivo.

Ver la clase

29.2 Moment of Inertia of a Rod (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/29-1/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

UNIDAD 9 · SEMANAS 12–13

Fuerzas internas: diagramas de cortante y momento flector, y cables

Fuerza normal interna, cortante y momento flector, convenios de signos, diagramas de cortante y momento a partir del equilibrio y de las relaciones carga–cortante–momento, y cables bajo cargas distribuidas.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Hallar las fuerzas internas en cualquier sección de una viga.
- Dibujar diagramas de cortante y momento flector para cargas puntuales y distribuidas.
- Usar dV/dx = −w y dM/dx = V para comprobar los diagramas.
- Hallar la tensión en un cable parabólico.

Conceptos clave

- Corta una viga en x: la cara expuesta soporta una fuerza normal N, una fuerza cortante V y un momento flector M, que se obtienen del equilibrio de cualquiera de los trozos.
- Convenio de signos usado aquí: el cortante positivo hace girar un tramo en sentido horario; el momento positivo flexiona la viga en forma de sonrisa (flexión positiva).
- Relaciones: dV/dx = −w (carga por unidad de longitud, positiva hacia abajo) y dM/dx = V. Una carga puntual produce un salto en V; un par produce un salto en M.
- El momento máximo se da donde V = 0 (o en un salto de V); es el valor que dimensiona la viga.
- Un cable bajo una carga horizontal uniforme cuelga en forma de parábola; la tensión horizontal es H = wL²/(8s) para un vano L y una flecha s, y la tensión es máxima en los apoyos.

Ecuaciones clave

$$\frac{dV}{dx} = -w, \quad \frac{dM}{dx} = V$$

`dV/dx=-w, dM/dx=V`

Relaciones carga–cortante–momento

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$$

`M_=(wL^2)/(8)`

Viga simplemente apoyada, carga uniforme

$$H = \frac{wL^2}{8s}, \quad T_{\max} = \sqrt{H^2 + \left(\frac{wL}{2}\right)^2}$$

H=(wL^2)/(8s), T_=^2+(2)^2

Cable parabólico

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 9.1 Una viga simplemente apoyada de 6 m soporta 4 kN/m. Halla V(x), M(x) y el momento máximo.

1. Reacciones: 12 kN cada una.
2. V = 12 − 4x; M = 12x − 2x².
3. V = 0 en x = 3 m.

Respuesta: M_max = wL²/8 = 18 kN·m en el centro del vano.

Ejemplo 9.2 La viga de la unidad 4 (6 m, 12 kN a 2 m de A). Dibuja V y M.

1. R_A = 8 kN, R_B = 4 kN.
2. V = +8 kN para 0 < x < 2, luego −4 kN.
3. M crece linealmente hasta 8 × 2 bajo la carga y luego baja a 0 en B.

Respuesta: M_max = 16 kN·m bajo la carga.

Ejemplo 9.3 Un cable salva 100 m con una flecha de 10 m y soporta 2 kN/m a lo largo del vano. Halla las tensiones horizontal y máxima.

1. H = wL²/(8s) = 2 × 100²/80.
2. Vertical en cada apoyo = wL/2 = 100 kN.
3. T_max = √(250² + 100²).

Respuesta: H = 250 kN; T_max = 269.3 kN.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un voladizo de 3 m tiene 5 kN en la punta. Da V y el momento máximo.

V = 5 kN en todo el voladizo; |M_max| = 15 kN·m en el muro (flexión negativa).

2. ¿Cuánto valen V y M en el centro del vano de la viga de 6 m con 4 kN/m?

   V = 0, M = 18 kN·m.

3. Si la flecha del cable se reduce a la mitad, a 5 m, ¿qué le pasa a H?

   H se duplica a 500 kN: los cables más planos tiran más fuerte.

4. Una viga simplemente apoyada de 5 m soporta 6 kN/m. Halla M_max.

   6 × 25/8 = 18.75 kN·m.

Ideas erróneas comunes

Mito: El momento máximo siempre está en el centro del vano.
En realidad: Solo con cargas simétricas; en general está donde V = 0 o donde V salta.

Mito: Los diagramas de cortante y momento tienen la misma forma.
En realidad: M es la integral de V, así que es un grado mayor.

Mito: Un cable más tenso (más plano) soporta menos tensión.
En realidad: Menos flecha implica más tensión, $H = wL^2/(8s)$.

Tarjetas de estudio

Fuerzas internas

N, V y M en un corte.

dV/dx = −w

La carga fija la pendiente del cortante.

dM/dx = V

El cortante fija la pendiente del momento.

M_max

Donde V = 0 o salta.

wL²/8

Momento máximo, carga uniforme, vano simple.

Cable parabólico

$H = wL^2/(8s)$.

Cuestionario de autoevaluación

1. dM/dx es igual a...

w

V

N

0

V. Relación momento–cortante.

2. Una carga puntual produce un salto en…

M

V

ambos

ninguno

V. El cortante salta en el valor de la carga.

3. M_max de una viga simplemente apoyada con carga uniforme w sobre L:

wL/2

$wL^2/2$

$wL^2/8$

$wL^3/12$

$wL^2/8$. Resultado clásico.

4. Reducir a la mitad la flecha de un cable hace que H…

la mitad

igual

el doble

cuatro veces mayor

el doble. $H \propto 1/s$.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los puentes tienen que durar más que nunca. El informe de la ASCE dice que, al ritmo actual de reemplazo, un puente construido hoy tendrá que durar 126 años, que cerca del 45% de los puentes ha superado su vida de diseño de 50 años y que camiones más pesados que aquellos para los que se diseñaron muchos puentes pueden sobresolicitar sus elementos. Los diagramas de cortante y momento son la forma en que los ingenieros comprueban si una viga antigua aún puede soportar las cargas actuales, lo que permite conservar buenos puentes en lugar de reconstruirlos.

En Saving Planets: Soluciones

Fuentes: ASCE Report Card for America's Infrastructure: Bridges (https://infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges-infrastructure/) · Engineering Statics, Chapter 8: Internal forces (https://engineeringstatics.org/Chapter_08.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 8 Internal forces (https://engineeringstatics.org/Chapter_08.html): Capítulo de libro gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Apuntes del MIT sobre vigas.

Ver la clase

16.2 Momentum Diagrams (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/16-1/) (en inglés)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

Fricción

Rozamiento seco (de Coulomb), movimiento inminente, ángulo de reposo, deslizamiento frente a vuelco, cuñas, escaleras y rozamiento en correas o cuerdas.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Decidir si un cuerpo desliza, se queda quieto o vuelca.
- Resolver problemas de movimiento inminente con F = μ_sN.
- Usar el ángulo de reposo y el problema de la escalera.
- Usar la ecuación del rozamiento en correas $T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$.

Conceptos clave

- El rozamiento estático se ajusta a lo que haga falta, hasta un máximo F_max = μ_sN. Cuando empieza el deslizamiento, el rozamiento cinético es de unos μ_kN, normalmente algo menos.
- Un bloque en una pendiente se queda quieto si $\tan\theta \le \mu_s$; el ángulo más empinado, $\tan^{-1}\mu_s$, es el ángulo de reposo.
- Comprueba tanto el deslizamiento como el vuelco: una caja alta empujada por arriba puede volcar antes de deslizar.
- Las cuñas y los tornillos usan el rozamiento para sostener cargas; resuelve cada pieza como cuerpo rígido con el rozamiento opuesto al movimiento inminente.
- Una cuerda enrollada en un poste un ángulo β (en radianes) sostiene $T_2 = T_1 e^{\mu\beta}$, así que unas pocas vueltas sostienen una gran carga con un tirón pequeño.

Ecuaciones clave

$$F \le \mu_s N, \quad F_{\max} = \mu_s N$$

`Fμ_sN, F_=μ_sN`

Rozamiento estático

$$\tan\theta_r = \mu_s$$

`θ_r=μ_s`

Ángulo de reposo

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\beta}$$

`(T_2)/(T_1)=e^μβ`

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 10.1 Una caja de 50 kg está en una pendiente de 20° con μ_s = 0.4. ¿Desliza?

1. tan 20° = 0.364 < 0.4, así que se sostiene.
2. Rozamiento necesario = mg sin 20° = 167.8 N; disponible = 0.4 × mg cos 20° = 184.4 N.

Respuesta: Se queda quieta; necesita 167.8 N de rozamiento de los 184.4 N disponibles.

Ejemplo 10.2 ¿Qué fuerza paralela a la pendiente pone en movimiento hacia arriba la misma caja?

1. Ahora el rozamiento actúa pendiente abajo, en su máximo.
2. P = mg sin 20° + 0.4 mg cos 20°.

Respuesta: 352.2 N.

Ejemplo 10.3 Una cuerda da 1.5 vueltas a un poste (β = 3π) con μ = 0.3. ¿Qué carga puede sostener un tirón de 100 N?

1. $T_2/T_1 = e^{0.3 \times 3\pi} = e^{2.83}$.

Respuesta: Relación 16.9, así que unos 1690 N.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Halla el ángulo de reposo para μ_s = 0.6.

   $\tan^{-1} 0.6 = 31.0°$.

2. Una escalera de 5 m que pesa 200 N se apoya a 60° del suelo contra una pared lisa. Halla el μ_s mínimo del suelo que la sostiene.

   Fuerza de la pared N_w: N_w × 5 sin 60° = 200 × 2.5 cos 60°, N_w = 57.7 N; suelo N = 200 N; μ_min = 57.7/200 = 0.289.

3. Se empuja por su borde superior una caja de 0.5 m de ancho y 1.5 m de alto (μ_s = 0.4). ¿Desliza o vuelca primero?

Desliza cuando $P > 0.4W$; vuelca cuando $P \times 1.5 > W \times 0.25$, $P > 0.167W$. Vuelca primero.

4. Una cuerda da 2 vueltas ($\beta = 4\pi$) con $\mu = 0.2$. Halla T_2/T_1.

   $e^{0.8\pi} = 12.3$.

Ideas erróneas comunes

Mito: El rozamiento siempre es igual a μN.

En realidad: Solo con deslizamiento inminente o real; antes es lo que el equilibrio necesite.

Mito: El rozamiento depende del área de contacto.

En realidad: En el modelo simple de Coulomb solo depende de μ y N.

Mito: El rozamiento siempre se opone al movimiento, así que apunta pendiente abajo.

En realidad: Se opone al movimiento relativo inminente; en un bloque a punto de deslizar hacia abajo, apunta pendiente arriba.

Tarjetas de estudio

Rozamiento estático

$F \leq \mu_s N$.

Rozamiento cinético

$F \approx \mu_k N$, normalmente algo menor.

Ángulo de reposo

$\tan \theta = \mu_s$.

Comprobación de vuelco

Compara momentos respecto a la arista de vuelco.

Ecuación del cabrestante

$T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$.

Movimiento inminente

Rozamiento en su máximo, opuesto al movimiento a punto de producirse.

Cuestionario de autoevaluación

1. Un bloque se queda en una pendiente si...

$\tan \theta \leq \mu_s$

$\sin \theta \leq \mu_s$

θ < 45°

N > W

tan θ ≤ μ_s. Compara mg sin θ con μ_s mg cos θ.

2. Antes de deslizar, el rozamiento estático es...

siempre μ_sN

lo que el equilibrio necesite, hasta μ_sN

cero

μ_kN

lo que el equilibrio necesite, hasta μ_sN. Se ajusta.

3. Añadir una vuelta de cuerda alrededor de un poste multiplica la relación de sujeción por...

μ

2π

e^{2πμ}

1

e^{2πμ}. Exponencial en β.

4. Una caja alta y estrecha empujada por arriba tiende a...

deslizar primero

volcar primero

no moverse nunca

float

volcar primero. Base pequeña, empuje alto.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Una ladera se mantiene por la misma razón que un bloque en una rampa: el rozamiento y la resistencia del suelo se oponen al tirón de la gravedad pendiente abajo. El programa Landslide Hazards del USGS trabaja para reducir las pérdidas a largo plazo por deslizamientos comprendiendo las causas de la rotura del terreno, y señala que los incendios forestales pueden aumentar la susceptibilidad a deslizamientos en terreno montañoso. Mantener las laderas con vegetación y estables protege tanto a las personas como a las cuencas.

En Saving Planets: Deforestación

Fuentes: USGS Landslide Hazards Program (https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards) · Engineering Statics, Chapter 9: Friction (https://engineeringstatics.org/Chapter_09.html)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- Engineering Statics, Ch. 9 Friction (https://engineeringstatics.org/Chapter_09.html): Capítulo de libro gratuito.
- OpenStax UP1, 6.2 Friction (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): Visión desde la física.
- PhET: Friction (https://phet.colorado.edu/en/simulations/friction): Interactivo.
- PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp): Fuerzas en una pendiente.

☐ **Terminé esta unidad**

Problemas

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

1. Fuerzas y vectores en 2D y 3D
   4 problemas
2. Equilibrio de una partícula
   4 problemas
3. Momentos, pares y sistemas equivalentes
   4 problemas
4. Equilibrio del cuerpo rígido en 2D
   4 problemas
5. Equilibrio del cuerpo rígido en 3D
   4 problemas
6. Armaduras: método de los nodos y método de las secciones
   4 problemas
7. Bastidores y máquinas

4 problemas

8. Centroides, cargas distribuidas, presión de fluidos y momentos de inercia de área
   4 problemas
9. Fuerzas internas: diagramas de cortante y momento flector, y cables
   4 problemas
10. Fricción
    4 problemas

El laboratorio (Statics lab)

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

Cada laboratorio puede hacerse en una simulación gratuita de PhET o con objetos caseros baratos. Usa cargas pequeñas (unos pocos kilogramos como máximo), no pongas pies ni manos bajo cargas colgantes y nunca te subas a una estructura de prueba.

Referencia de seguridad: OSHA: Hand and power tools (https://www.osha.gov/hand-power-tools)

Laboratorio A: Mesa de fuerzas y la equilibrante

SEMANA 2

Objetivo: Suma dos fuerzas por componentes, predice la única fuerza que las equilibra y comprueba la predicción en simulación y con dinamómetros o básculas de equipaje.

$$\vec{E} = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$$

E=-(F_1+ F_2)

La equilibrante es igual y opuesta a la resultante

Procedimiento

1. Abre PhET Vector Addition. Haz F_1 = 2.0 N a 0° y F_2 = 3.0 N a 90°, y lee la magnitud y el ángulo de la resultante.
2. Predice la equilibrante (misma magnitud, sentido opuesto) por componentes.
3. En casa: ata tres cuerdas a un aro pequeño. Tira de dos con básculas de equipaje o dinamómetros a 0° y 90° hasta que marquen 2.0 N y 3.0 N (unos 204 g y 306 g), y mide el tirón y el ángulo de la tercera cuerda con un transportador en el móvil.
4. Repite con F_2 a 60° y compara.

Tabla de datos

Fuerza	Magnitud (N)	Ángulo (°)
F_1	2.00	0
F_2	3.00	90
Resultante	3.61	56.3
Equilibrante	3.61	236.3

Valores calculados por componentes para las fuerzas elegidas (valores de ejemplo); las lecturas caseras suelen coincidir con unos pocos por ciento de diferencia.

Cálculo de ejemplo

1. R = $\sqrt{(2^2 + 3^2)}$ = 3.61 N a $\tan^{-1}(3/2)$ = 56.3°.
2. La equilibrante apunta al revés: 56.3° + 180° = 236.3°.
3. Con F_2 a 60°: R = (3.5, 2.60) N, magnitud 4.36 N a 36.6°.

> **Seguridad**

- Usa cuerdas cortas y tirones suaves; una cuerda que se rompe puede dar un latigazo en los ojos.

Alternativa en casa o virtual

- El paso del aro y las básculas es la versión casera; una báscula de cocina y una cuerda sobre el respaldo de una silla también sirven.

PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition)

Vínculo con el planeta: Los ingenieros equilibran las cargas de viento en las palas y torres de los aerogeneradores exactamente con este tipo de suma vectorial. DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Laboratorio B: Tensión en cables y ángulo de eslinga

SEMANA 3

Objetivo: Mide cómo crece la tensión en dos cuerdas simétricas que sostienen un peso a medida que se vuelven más planas, y compara con T = W/(2 sin θ).

$$T = \frac{W}{2 \sin \theta}$$

`T=(W)/(2θ)`

θ medido desde la horizontal

Procedimiento

1. Cuelga una masa de 1.0 kg (una botella de agua de 1 L) del centro de una cuerda; ata cada extremo a una báscula de equipaje sostenida por un ayudante o sujeta a dos respaldos de silla.
2. Mueve los apoyos para fijar ángulos de cuerda de unos 90°, 60°, 45°, 30° y 15° respecto a la horizontal (usa un transportador en el móvil).
3. Anota ambas lecturas en cada ángulo y promédialas.
4. Grafica T frente a 1/sin θ; la pendiente debería ser W/2 = 4.9 N.

Tabla de datos

θ desde la horizontal (°)	T (N) para 9.81 N
90	4.91
60	5.66
45	6.94
30	9.81
15	18.95

Valores calculados con T = W/(2 sin θ) para una masa de 1.0 kg.

Cálculo de ejemplo

1. A 30° cada cuerda soporta todo el peso, 9.81 N.
2. A 15° cada una soporta casi el doble del peso: 18.95 N.
3. Pendiente de T frente a 1/sin θ = W/2 = 4.91 N.

> **Seguridad**
>
> - Mantén la masa baja sobre una superficie blanda y no pongas los pies debajo.

- Usa solo una masa ligera; con ángulos pequeños la tensión de la cuerda se hace grande.

Alternativa en casa o virtual

- Todo el laboratorio es casero; dos lecturas de báscula de cocina con una cuerda sobre una varilla lisa también sirven.

PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics)

Vínculo con el planeta: Las líneas de amarre de las plataformas eólicas marinas flotantes se dimensionan con la misma geometría: ángulos de línea pequeños implican tensiones altas. U.S. DOE: Floating Offshore Wind Shot (https://www.energy.gov/eere/wind/floating-offshore-wind-shot)

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

Laboratorio C: Momentos y una masa desconocida en una balanza

SEMANA 5

Objetivo: Usa ΣM = 0 en una balanza de regla para hallar una masa desconocida y prueba las reglas del equilibrio en PhET.

$$m_1 d_1 = m_2 d_2$$

`m_1d_1=m_2d_2`

Los momentos se equilibran respecto al pivote

Procedimiento

1. En PhET Balancing Act, equilibra un ladrillo conocido con un objeto misterioso y calcula su masa a partir de las distancias.
2. En casa: equilibra una regla de 30 cm sobre un lápiz en su marca de 15 cm.
3. Coloca una pila conocida de monedas de 20 g (pésala en una báscula de cocina) a 4, 6 y 8 cm del pivote y desliza el objeto desconocido hasta que la regla se equilibre; anota su distancia cada vez.
4. Calcula la masa desconocida en cada prueba y promedia.

Tabla de datos

20 g conocidos a (cm)	El desconocido equilibra a (cm)
4.0	6.4
6.0	9.6
8.0	12.8

Valores de ejemplo para un desconocido de 12.5 g.

Cálculo de ejemplo

1. m = 20 × 4.0/6.4 = 12.5 g, y cada fila da el mismo valor.
2. La relación de distancias es constante (1.6), que es la relación inversa de las masas.

> **Seguridad**
>
> - Ninguna, salvo mantener las monedas pequeñas lejos de niños pequeños.

Alternativa en casa o virtual

- El paso de la regla y las monedas es la versión casera.

PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act)

Vínculo con el planeta: El mismo equilibrio de momentos determina el tamaño que debe tener la cimentación de un aerogenerador para resistir el momento de vuelco del viento. DOE de EE. UU.: ¿cómo funcionan los aerogeneradores? (en inglés) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

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

Laboratorio D: Construir y analizar una armadura pequeña

SEMANA 8

Objetivo: Construye una armadura triangular con palitos de manualidades, predice las fuerzas en las barras por el método de los nudos y observa qué barras trabajan a tracción y cuáles a compresión.

$$F_{AC} = \frac{P/2}{\sin\theta}, \quad F_{AB} = F_{AC}\cos\theta$$

F_AC=(P/2)/(θ), F_AB=F_ACθ

Armadura triangular simétrica con carga P en el vértice

Procedimiento

1. Pega palitos formando un triángulo de 30 cm de ancho y 10 cm de alto (ángulo de base 33.7°).
2. Apóyalo sobre dos libros y cuelga 5, 10 y 20 N (botellas de agua de 0.5, 1 y 2 L) del vértice.
3. Calcula las fuerzas en las barras por el método de los nudos para cada carga.
4. Sustituye la barra inferior por una cuerda: se mantiene tensa (tracción). Prueba lo mismo con una barra inclinada y verás que se dobla (compresión).

Tabla de datos

Carga P (N)	Barras inclinadas (N, C)	Barra inferior (N, T)
5	4.51	3.75
10	9.01	7.50
20	18.0	15.0

Valores calculados para la geometría de 30 cm × 10 cm (valores de ejemplo).

Cálculo de ejemplo

1. θ = $\tan^{-1}(10/15)$ = 33.7°.
2. Con 10 N: F_AC = 5/sin 33.7° = 9.01 N (C); F_AB = 9.01 cos 33.7° = 7.50 N (T).
3. Las fuerzas en las barras son proporcionales a la carga.

> **Seguridad**
>
> - La cola caliente quema; deja enfriar las uniones.
> - No pongas manos ni pies bajo las botellas colgantes.

Alternativa en casa o virtual

- Todo el laboratorio es casero; también sirven tiras de cartulina rígida y cinta adhesiva.

Engineering Statics: interactive truss examples (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Vínculo con el planeta: La armadura de 94 m de la estación espacial y toda torre de celosía eólica o eléctrica soportan cargas mediante barras a tracción y compresión como estas. NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/)

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

Laboratorio E: Hallar un centroide con una plomada

SEMANA 10

Objetivo: Halla el centroide de una forma en L de cartón colgándola de dos puntos y compara con el cálculo por áreas compuestas.

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}_i A_i}{\sum A_i}$$

x=(x_iA_i)/(A_i)

Centroide compuesto

Procedimiento

1. Recorta una L de cartón: una barra de 20 × 4 cm abajo y una barra de 4 × 16 cm de pie sobre su extremo izquierdo.
2. Clava un alfiler cerca de una esquina, deja colgar libremente la forma y una plomada, y dibuja la línea de la plomada en el cartón.
3. Repite desde una segunda esquina. Las líneas se cruzan en el centroide; mide su x e y desde la esquina inferior izquierda.
4. Calcula el centroide a partir de los dos rectángulos y compara.

Tabla de datos

Parte	Área (cm²)	x̃ (cm)	ỹ (cm)
Barra inferior	80	10	2
Barra vertical	64	2	12
Forma en L	144	6.44	6.44

Valores calculados para las dimensiones indicadas; el cruce de tus plomadas debería quedar a pocos milímetros.

Cálculo de ejemplo

1. x̄ = (80 × 10 + 64 × 2)/144 = 6.44 cm.
2. ȳ = (80 × 2 + 64 × 12)/144 = 6.44 cm.
3. El centroide queda fuera del cartón, en la zona vacía de la esquina, como confirman las plomadas.

> **Seguridad**
>
> - Corta alejando la cuchilla de tu mano; usa una base de corte.

Alternativa en casa o virtual

- Todo el laboratorio es casero.

Engineering Statics, Chapter 7: centroids (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html)

Vínculo con el planeta: Una presa de gravedad debe mantener la resultante de su peso y de la presión del agua dentro de su base; ubicar los centroides es el primer paso. U.S. Bureau of Reclamation: Hoover Dam frequently asked questions (https://www.usbr.gov/lc/hooverdam/faqs/damfaqs.html)

☐ **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Laboratorio F: Medir el rozamiento en una pendiente y alrededor de un poste

SEMANA 14

Objetivo: Mide el coeficiente de rozamiento estático a partir del ángulo de deslizamiento de una caja sobre un libro inclinado, y mide cómo crece la capacidad de sujeción de una cuerda con las vueltas alrededor de una taza.

$$\mu_s = \tan\theta_{\text{slip}}, \quad \frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\beta}$$

μ_s=θ_slip, (T_2)/(T_1)=e^μβ

Ángulo de deslizamiento y rozamiento de cabrestante

Procedimiento

1. Pon una caja pequeña sobre un libro de tapa dura e inclina el libro lentamente; lee el ángulo de deslizamiento con un inclinómetro en el móvil. Repite tres veces.
2. Calcula μ_s = tan θ en cada prueba y promedia.
3. Enrolla una cuerda 0.5, 1 y 1.5 vueltas alrededor de una taza lisa. Cuelga un peso pequeño de un extremo y mide con una báscula de equipaje el tirón necesario en el otro para apenas sostenerlo.
4. Compara la relación con e^{μβ}, β = 2π × vueltas, usando el μ obtenido en una prueba.

Tabla de datos

Prueba o vueltas	Lectura	Resultado
Prueba 1	22°	μ_s = 0.404
Prueba 2	24°	μ_s = 0.445
Prueba 3	23°	μ_s = 0.424
0.5 vuelta, μ = 0.25	—	relación 2.19
1 vuelta	—	relación 4.81
1.5 vueltas	—	relación 10.55

Valores de ejemplo; tus ángulos dependen de las superficies de la caja y el libro, y el μ de 0.25 de la cuerda sobre la taza es un valor de ejemplo.

Cálculo de ejemplo

1. μ_s medio = (0.404 + 0.445 + 0.424)/3 = 0.424.
2. Cada media vuelta extra multiplica la relación de sujeción por e^{0.25π} = 2.19.
3. Una vuelta completa: e^{0.5π} = 4.81.

> **Seguridad**
>
> - Usa un peso ligero y mantenlo sobre una superficie blanda.

Alternativa en casa o virtual

- Todo el laboratorio es casero.

PhET: Friction (https://phet.colorado.edu/en/simulations/friction) · PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp)

Vínculo con el planeta: La idea del ángulo de deslizamiento es el punto de partida para evaluar la estabilidad de laderas, que el USGS estudia para reducir las pérdidas por deslizamientos. USGS Landslide Hazards Program (https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards)

☐ **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. Halla la resultante de 400 N según +x y 300 N según +y.
    1. $R = \sqrt{(400^2 + 300^2)}$; $\theta = \tan^{-1}(300/400)$.

    Respuesta: 500 N a 36.9°.

2. Una masa de 80 kg cuelga de dos cables, cada uno a 40° sobre la horizontal. Halla la tensión.
    1. $2T \sin 40° = 784.8$ N.

    Respuesta: 610.5 N.

3. F = (0, −250) N actúa en (3, 2) m. Halla su momento respecto al origen.
    1. $M_z = xF_y - yF_x = 3(-250) - 0$.

    Respuesta: −750 N·m (750 N·m en sentido horario).

4. Una viga simplemente apoyada de 5 m soporta 10 kN a 1.5 m de A. Halla las reacciones.
    1. $\Sigma M_A: 5R_B = 10 \times 1.5$.

    Respuesta: $R_B = 3$ kN, $R_A = 7$ kN.

5. Un voladizo de 2 m soporta 3 kN/m. Halla las reacciones en el muro.

    1. Resultante de 6 kN a 1 m.

    Respuesta: V = 6 kN, M = 6 kN·m.

Serie de práctica final (todas las unidades)

1. Una armadura triangular salva 8 m con su vértice a 3 m de altura en el centro del vano; 20 kN cuelgan del vértice. Halla las fuerzas en las barras.

    1. R = 10 kN cada una; sin θ = 0.6, cos θ = 0.8.
    2. F_AC = 10/0.6; F_AB = F_AC × 0.8.

    Respuesta: Barras inclinadas 16.67 kN (C); inferior 13.33 kN (T).

2. Una sección en T tiene un ala de 120 × 20 mm sobre un alma de 20 × 100 mm. Halla la altura del centroide desde la base.

    1. Alma: 2000 mm² a 50 mm; ala: 2400 mm² a 110 mm.

    Respuesta: 82.7 mm.

3. Una compuerta vertical de 3 m de ancho retiene agua de 4 m de profundidad. Halla la resultante y su altura sobre el fondo.

    1. $F = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$.

    Respuesta: 235.4 kN a 1.33 m sobre el fondo.

4. Una viga simplemente apoyada de 8 m soporta 5 kN/m. Halla las reacciones y el momento máximo.

    1. $R = wL/2$; $M = wL^2/8$.

    Respuesta: 20 kN cada una; 40 kN·m.

5. Una caja de 30 kg está en una pendiente de 25° con μ_s = 0.5. ¿Desliza?

    1. tan 25° = 0.466 < 0.5.
    2. Necesario mg sin 25° frente a disponible 0.5 mg cos 25°.

    Respuesta: No: se necesitan 124.4 N y hay 133.4 N disponibles.

6. Una cuerda da 2 vueltas a un poste con μ = 0.2. Halla la relación de sujeción.

    1. $T_2/T_1 = e^{0.2 \times 4\pi}$.

    Respuesta: 12.3.

Hoja de fórmulas

$$F_x = F\cos\theta,\ F_y = F\sin\theta$$

$$\vec{F} = F\,\hat{u}_{AB}$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = |A||B|\cos\theta$$

$$\sum \vec{F} = \vec{0},\ \sum \vec{M} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_O = \vec{r}\times\vec{F},\ M = Fd$$

$$M_a = \hat{u}_a\cdot(\vec{r}\times\vec{F})$$

$$F_R = \int w\,dx \text{ at the centroid}$$

$$m + r = 2j$$

$$\bar{x} = \sum \tilde{x}_i A_i / \sum A_i$$

$$p = \rho g h,\ F_R = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$$

$$I = bh^3/12,\ I = I_c + Ad^2$$

$$dV/dx = -w,\ dM/dx = V$$

$$M_{\max} = wL^2/8$$

$$H = wL^2/(8s)$$

$$F \le \mu_s N,\ \tan\theta_r = \mu_s$$

$$T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$$

Constantes

Constante	Valor
Aceleración estándar de la gravedad, g	9.80665 m/s² (usamos 9.81 m/s²)
Peso de 1 kg con gravedad estándar	9.81 N
Densidad del agua dulce (valor redondeado usado aquí)	1000 kg/m³
Peso específico del agua, ρg	9.81 kN/m³
1 pie	0.3048 m (exacto)
1 libra-fuerza	4.448 N
1 libra por pie cuadrado	47.88 Pa

Fuente: NIST: Standard acceleration of gravity (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn)

Textos y simulaciones gratuitos

Usa estos libros, clases y simulaciones gratuitos junto con el curso.

- Engineering Statics: Open and Interactive (Baker and Haynes) (https://engineeringstatics.org/): Libro de texto de estática interactivo, completo y gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Apuntes y problemas gratuitos del MIT.
- OpenStax University Physics Volume 1, Chapter 12: Static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-1-conditions-for-static-equilibrium): Visión gratuita del equilibrio desde la física.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Sumar y descomponer vectores.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Momentos y equilibrio.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Presión de un fluido con la profundidad.

Glosario

Ángulo de reposo
Ángulo de pendiente más empinado en el que un cuerpo se queda quieto, $\tan^{-1} \mu_s$.

Momento flector
Momento interno en una sección de viga.

Centroide
Centro geométrico de un área o volumen.

Par
Dos fuerzas iguales, opuestas y paralelas; un momento puro.

Equilibrante
La fuerza que equilibra un conjunto de fuerzas.

Empotramiento
Apoyo que impide la traslación y la rotación.

Marco
Estructura con al menos un elemento multifuerza.

Diagrama de cuerpo libre
Esquema de un cuerpo aislado con todas las fuerzas externas que actúan sobre él.

Ventaja mecánica
Fuerza de salida dividida entre fuerza de entrada.

Método de los nudos
Análisis de armaduras con $\Sigma F = 0$ en cada nudo.

Método de las secciones
Análisis de armaduras con el equilibrio de cuerpo rígido de un trozo cortado.

Momento
Efecto de giro de una fuerza, $r \times F$.

Teorema de ejes paralelos
$I = I_c + Ad^2$.

Apoyo articulado
Apoyo que impide la traslación pero permite la rotación.

Resultante
Fuerza única equivalente a un conjunto de fuerzas.

Apoyo de rodillo
Apoyo que da una fuerza normal a su superficie.

Fuerza cortante
Fuerza interna a través de una sección de viga.

Estáticamente indeterminado
Más incógnitas que ecuaciones de equilibrio.

Armadura
Estructura de elementos de dos fuerzas articulados en los nudos.

Elemento de dos fuerzas
Elemento cargado solo en dos puntos; las fuerzas siguen la recta que los une.

Barra de fuerza nula
Barra de armadura que no soporta fuerza con una carga dada.

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	Dibuja diagramas de cuerpo libre completos, elige bien ejes y puntos de momento, comprueba la determinación y verifica las respuestas con una ecuación no usada.
3 · Competente	Resuelve los ejercicios con algún error ocasional de signo o de unidades.
2 · En desarrollo	Sigue los ejemplos resueltos pero omite fuerzas en los diagramas de cuerpo libre o elige puntos de momento que dejan demasiadas incógnitas.
1 · Inicial	Sustituye números en fórmulas sin diagrama de cuerpo libre; necesita repasar la unidad.

Ponderación sugerida si quieres una nota

Parte	Peso
Problemas de práctica	25%

Parte	Peso
Prácticas	20%
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

- Física II PHYS 210 + PHYS 210L
- Dinámica ENGR 212
- Cálculo III MATH 210
- Todos los cursos