Última actualización: November 1, 2026

🗺️ Ruta de cuatro años · Año 1, Otoño

# Sobre este curso

Este curso gratuito tiene 9 unidades y 4 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 los cursos de dibujo y diseño de ingeniería de primer año como MIT 2.007 y 2.00b, los cursos de ingeniería y gráficos por computadora de Purdue, el ME 1770 de Georgia Tech y la secuencia de dibujo de ingeniería de Embry-Riddle, con herramientas gratuitas: el plan Onshape Free y FreeCAD. Enlazamos materiales gratuitos en todo el curso. Ninguna de estas organizaciones respalda esta página.
>
> Lo que añadimos: cada unidad conecta las decisiones de diseño con el material, la energía y los residuos, cada número de la página lo recalcula un script de verificación antes de publicarse, y cuatro prácticas te llevan de un boceto a una pieza impresa más ligera.
>
> 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 mayor parte del material, la energía y los residuos de un producto queda fijada en la mesa de dibujo. Los ingenieros que modelan y dibujan bien pueden quitar material que no trabaja, elegir piezas duraderas y reparables, y especificar tolerancias no más estrictas de lo necesario.

Cada unidad termina con una breve sección con fuentes que muestra cómo sus ideas ayudan a las personas y al planeta.

## 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: 9 unidades y 4 laboratorios (ENGR 120).
- 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

- Geometría y trigonometría de bachillerato.
- Soltura con una computadora y un ratón; un ratón de tres botones ayuda en 3D.
- No hace falta talento para dibujar: bocetar es una habilidad que practicarás.

## Cómo estudiar

- Boceta a mano antes de modelar. Cinco minutos en papel ahorran una hora en CAD.
- Reconstruye tú mismo en CAD cada ejemplo resuelto.
- Nombra tus bocetos y operaciones; tu yo futuro te lo agradecerá.
- Revisa cada plano como si tuvieras que fabricar la pieza solo a partir de él.
- Haz cada ejercicio antes de abrir la respuesta.
- Repite los cuestionarios unos días después. La práctica espaciada es mejor que una sesión larga.

## Qué necesitas

- Una computadora con navegador web (Onshape funciona en el navegador; se necesita una cuenta gratuita) o FreeCAD instalado.
- Papel cuadriculado o isométrico, un lápiz, una goma y una regla.
- Un calibre (vale uno digital económico).
- Opcional: acceso a una impresora 3D en una biblioteca, escuela o makerspace.

# 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 | Bocetos y visualización | Bocetos, tipos de línea, escala | MIT 2.00b |
| 2 | Proyección ortográfica e isométrica | Proyección ortográfica; primer y tercer diedro | Convenciones ASME Y14 |
| 3 | Proyección ortográfica e isométrica | Dibujo isométrico; verdadera magnitud | Onshape Learning Center |
| 4 | Cortes y vistas auxiliares | Cortes y vistas auxiliares | FreeCAD TechDraw |
| 5 | Acotación y fundamentos de GD&T | Reglas de acotación; referencias | ASME Y14.5 |
| 6 | Acotación y fundamentos de GD&T | GD&T: forma, orientación, posición; MMC | ASME Y14.5 |
| 7 | Tolerancias y ajustes | Límites, ajustes ISO, cadenas de cotas; práctica para el parcial | ISO 286 |
| 8 | Modelado 3D paramétrico | Bocetos, restricciones, extrusión y revolución | Onshape / FreeCAD |
| 9 | Modelado 3D paramétrico | Operaciones, variables, propiedades de masa; práctica A | Onshape Learning Center |
| 10 | Ensamblajes y planos | Ensamblajes, relaciones, mecanismos | Wiki de FreeCAD |
| 11 | Ensamblajes y planos | Planos de detalle y de conjunto, lista de materiales; práctica B | FreeCAD TechDraw |
| 12 | Impresión 3D y diseño para la fabricación | Procesos de fabricación; DFM/DFA | MIT 2.007 |
| 13 | Impresión 3D y diseño para la fabricación | Diseño y estimaciones para impresión 3D; práctica C | NIST AM |
| 14 | Diseño sostenible y aligeramiento | Aligeramiento y diseño sostenible; práctica D | DOE; EPA |
| 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

# Bocetos y visualización

El boceto a mano alzada como herramienta de ingeniería: líneas, círculos, proporción y ver objetos 3D en tu cabeza.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Bocetar a mano alzada líneas rectas, círculos y arcos con buena proporción.
- Usar cajas de construcción para bocetar objetos en proporción.
- Leer y bocetar objetos sencillos en vistas pictóricas oblicuas e isométricas.
- Explicar el papel del boceto en el proceso de diseño.

## Conceptos clave

- Los ingenieros bocetan para pensar, para explorar muchas ideas rápido y para comunicar. Un boceto rápido cuesta minutos; un modelo CAD equivocado puede costar horas.
- Encaja primero el tamaño general con una caja de construcción tenue, luego añade los detalles y después remarca las líneas finales.
- En un boceto importa más la proporción que el tamaño exacto: estima razones como ancho : alto.
- La visualización espacial, la capacidad de girar y cortar objetos mentalmente, es una habilidad que mejora con la práctica.
- Los grosores de línea tienen significado: líneas visibles gruesas, ocultas finas (discontinuas), ejes finos (trazo largo y corto).

## Ecuaciones clave

$$\text{scale} = \frac{\text{drawing size}}{\text{real size}}$$

`scale= sizereal size`

Escala del dibujo

$$\frac{w}{h} = \frac{w'}{h'}$$

`w/h=(w')/(h')`

Mantener las proporciones al escalar

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 1.1** Un bloque mide 120 mm de ancho y 80 mm de alto. Bocetas su ancho como 60 mm. ¿Qué alto debe tener el boceto?

1. Escala = 60/120 = 0.5.
2. Alto = 80 × 0.5.

**Respuesta:** 40 mm (un boceto a 1:2).

**Ejemplo 1.2** Una pieza mide 450 mm de largo. ¿Qué escala normalizada la hace caber en un área de dibujo de 250 mm: 1:1, 1:2 o 1:5?

1. 1:1 → 450 mm (demasiado grande).
2. 1:2 → 225 mm (cabe).

**Respuesta:** 1:2, la escala más grande que cabe, para que los detalles sigan siendo legibles.

**Ejemplo 1.3** A escala 2:1, ¿de qué tamaño se dibuja un agujero de 3 mm?

1. 3 × 2.

**Respuesta:** 6 mm en el papel (la cota sigue indicando los 3 mm reales).

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. A 1:5, ¿cuánto mide en el papel una viga de 1200 mm?

   240 mm.

2. Un boceto está a 1:2. Una línea mide 35 mm. ¿Cuál es la longitud real?

   70 mm.

3. ¿Qué tipo de línea muestra una arista oculta?

   Una línea fina discontinua.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Bocetar es solo para artistas.

**En realidad:** Es una habilidad de ingeniería que se aprende y mejora rápido con la práctica.

**Mito:** Las cotas de un dibujo a escala muestran el tamaño dibujado.

**En realidad:** Siempre muestran el tamaño real.

**Mito:** Empezar por los detalles.

**En realidad:** Encajar primero la envolvente general y después añadir los detalles.

## Tarjetas de estudio

**Líneas de construcción**

Líneas guía tenues, borradas o dejadas suaves.

**Línea visible**

Gruesa, continua.

**Línea oculta**

Fina, discontinua.

**Línea de eje**

Fina, de trazo largo y corto.

**Escala**

Tamaño dibujado ÷ tamaño real.

**Visualización espacial**

Girar y cortar mentalmente objetos 3D.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. Una línea de eje se dibuja...**

gruesa continua

fina discontinua

fina de trazo largo y corto

en zigzag

fina de trazo largo y corto. Convención normalizada de líneas.

**2. A 1:2, una pieza de 100 mm se dibuja...**

200 mm

50 mm

100 mm

25 mm

50 mm. A la mitad de su tamaño.

**3. El primer paso para bocetar un objeto es...**

remarcar las aristas

encajar una caja de construcción tenue

añadir cotas

sombrearlo

encajar una caja de construcción tenue. Primero la envolvente.

**4. Las aristas ocultas usan...**

líneas discontinuas

líneas gruesas

ninguna línea

líneas rojas

líneas discontinuas. Líneas finas discontinuas.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El lugar más barato para ahorrar material es el boceto. Ideas como menos piezas, fijaciones estándar y uniones reparables son fáciles de explorar en papel y caras de cambiar una vez fabricado el utillaje.

El enfoque de gestión sostenible de materiales de la EPA considera los materiales a lo largo de todo su ciclo de vida, empezando por el diseño.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- MIT OpenCourseWare 2.00b: Toy Product Design (https://ocw.mit.edu/courses/2-00b-toy-product-design-spring-2008/): El curso de diseño de productos del MIT, con muchos bocetos.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Diseño y fabricación en el MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

# Proyección ortográfica e isométrica

El lenguaje del dibujo técnico: proyección de vistas múltiples (ortográfica) y vistas isométricas.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Crear vistas frontal, superior y lateral derecha con la alineación correcta.
- Conocer los símbolos de proyección del primer y del tercer diedro.
- Dibujar vistas isométricas de piezas sencillas.
- Hallar la verdadera magnitud y el escorzo.

## Conceptos clave

- La proyección ortográfica muestra un objeto con proyectantes paralelas perpendiculares a cada plano de vista. Tres vistas (frontal, superior, derecha) suelen describir completamente una pieza.
- La proyección del tercer diedro (EE. UU., ASME) coloca la vista superior encima de la frontal; la del primer diedro (gran parte de Europa y Asia, ISO) la coloca debajo. Un símbolo en el cajetín indica cuál.
- Las vistas se mantienen alineadas: el ancho lo comparten frontal y superior, el alto frontal y lateral, la profundidad superior y lateral.
- Una vista isométrica inclina el objeto para que sus tres ejes queden a 120° entre sí. Las aristas en dirección de los ejes se acortan por √(2/3) ≈ 0.816; un dibujo isométrico lo ignora y las dibuja a longitud completa.
- Una línea muestra su verdadera magnitud solo en una vista paralela a ella.

## Ecuaciones clave

$$k = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

`k=2/3≈0.816`

Factor de escorzo isométrico

$$L_{true} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

`L_true=Δ x^2+Δ y^2+Δ z^2`

Longitud real de una arista a partir de coordenadas

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 2.1** La arista de un cubo mide 100 mm. ¿Cuánto mide en una proyección isométrica verdadera y en un dibujo isométrico?

1. Proyección: 100 × 0.816.
2. Dibujo: tamaño completo por convención.

**Respuesta:** 81.6 mm en proyección; 100 mm en un dibujo isométrico.

**Ejemplo 2.2** Una arista va de (0, 0, 0) a (30, 40, 0) mm. ¿Cuál es su longitud real y en qué vista aparece en verdadera magnitud?

1. $\sqrt{(30^2 + 40^2)} = 50$.

**Respuesta:** 50 mm; en verdadera magnitud en la vista según z (está en el plano x–y).

**Ejemplo 2.3** Una arista va de (0, 0, 0) a (20, 20, 10). Halla su longitud real.

1. $\sqrt{(400 + 400 + 100)} = \sqrt{900}$.

**Respuesta:** 30 mm. Ninguna vista principal la muestra en verdadera magnitud; necesitas una vista auxiliar (unidad 3).

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. En la proyección del tercer diedro, ¿dónde se coloca la vista lateral derecha?

   A la derecha de la vista frontal.

2. ¿Qué dos vistas comparten la profundidad?

   La superior y la lateral.

3. Halla la longitud real de una arista de (0, 0, 0) a (12, 16, 0).

   20.

4. En una proyección isométrica verdadera, ¿cuánto parece medir una arista de 50 mm a lo largo de un eje?

   ≈ 40.8 mm.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Los dibujos isométricos se dibujan al 81.6%.

**En realidad:** Los dibujos isométricos usan la longitud completa; solo la proyección isométrica tiene escorzo.

**Mito:** Primer y tercer diedro son solo estilos distintos.

**En realidad:** Intercambian la posición de las vistas; leer mal el símbolo produce una pieza simétrica.

**Mito:** Más vistas siempre es mejor.

**En realidad:** Usa las mínimas vistas que describan completamente la pieza.

## Tarjetas de estudio

**Proyección ortográfica**

Proyectantes paralelas y perpendiculares; varias vistas.

**Tercer diedro**

Superior encima de la frontal (EE. UU.).

**Primer diedro**

Superior debajo de la frontal (ISO en gran parte del mundo).

**Isométrica**

Ejes a 120° entre sí.

**Escorzo**

La arista parece más corta que su longitud real.

**Verdadera magnitud**

Solo se ve en una vista paralela.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. En la proyección del tercer diedro la vista superior está...**

debajo de la vista frontal

encima de la vista frontal

a la izquierda de la vista frontal

no se usa

encima de la vista frontal. Convención ASME.

**2. Los ejes isométricos están separados por...**

90°

120°

45°

60°

120°. Ángulos iguales.

**3. Factor de escorzo isométrico ≈**

0.5

0.707

0.816

1

0.816. √(2/3).

**4. Las vistas frontal y superior comparten...**

el alto

el ancho

la profundidad

nada

el ancho. Están alineadas verticalmente.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los planos claros evitan desechos. Un símbolo de proyección mal leído puede producir una pieza simétrica, y cada pieza desechada desperdicia el material y la energía invertidos en ella.

Las normas internacionales de proyección y tolerancias permiten fabricar correctamente un mismo plano en cualquier lugar, de modo que las piezas pueden obtenerse localmente y los repuestos encajan.

En Saving Planets: Cálculo I

Fuentes: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Cursos de dibujo y modelado.
- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): La norma de dibujo de EE. UU.

☐ **Terminé esta unidad**

# Cortes y vistas auxiliares

Abrir las piezas para mostrar su interior y girar la vista para ver caras inclinadas en verdadera magnitud.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Dibujar cortes totales, semicortes, cortes quebrados y cortes parciales con rayado.
- Aplicar las convenciones de corte (nervios, ejes y fijaciones sin rayar a lo largo).
- Construir una vista auxiliar primaria de una superficie inclinada.
- Hallar la verdadera magnitud y la longitud real.

## Conceptos clave

- Una vista en corte imagina un plano de corte que atraviesa la pieza; la mitad retirada deja ver los elementos interiores como líneas visibles en lugar de confusas líneas ocultas.
- El material cortado se raya con líneas finas, normalmente a 45°. Los nervios delgados, ejes, pernos y pasadores cortados a lo largo, por convención, no se rayan.
- Una línea de plano de corte con flechas y letras (A–A) muestra dónde está el corte y hacia dónde se mira.
- Una superficie inclinada aparece acortada en las vistas principales. Una vista auxiliar proyecta sobre un plano paralelo a ella y muestra su verdadera magnitud.
- Longitud inclinada = √(horizontal² + vertical²) en la vista donde aparece como arista.

## Ecuaciones clave

$$L = \sqrt{a^2 + b^2}$$

`L=^2+b^2`

Longitud real de una arista inclinada

$$A_{true} = \frac{A_{proj}}{\cos\theta}$$

`A_true=_projθ`

Área real de una cara inclinada θ respecto al plano de vista

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 3.1** Una cara inclinada aparece como arista en la vista frontal y sube 30 mm en 40 mm. La pieza tiene 25 mm de profundidad. Halla la verdadera magnitud de la cara.

1. Longitud de la arista = $\sqrt{(30^2 + 40^2)} = 50$ mm.
2. Verdadera magnitud = 50 × 25.

**Respuesta:** 50 mm × 25 mm = 1,250 mm².

**Ejemplo 3.2** Esa cara se proyecta en la vista superior. ¿Qué área parece tener allí?

1. La vista superior ve el tramo horizontal de 40 mm × 25 mm.

**Respuesta:** 1000 mm², que es 1250 × cos θ con cos θ = 40/50 = 0.8.

**Ejemplo 3.3** Un tubo tiene 40 mm de diámetro exterior y paredes de 3 mm. En un corte total, ¿qué ancho tiene cada banda rayada?

1. Espesor de pared = 3 mm a cada lado.
2. Diámetro interior = 40 − 6 = 34 mm.

**Respuesta:** Dos bandas rayadas de 3 mm, con un hueco abierto de 34 mm entre ellas.

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Por qué no se rayan los nervios cortados a lo largo?

   El rayado haría que un nervio delgado pareciera una masa sólida y representaría mal la pieza.

2. Una cara sube 5 mm en 12 mm. ¿Longitud real de su arista?

   13 mm.

3. Una cara de 60 mm de largo está inclinada de modo que cos θ = 0.6 en la vista superior. ¿Qué longitud muestra la vista superior?

   36 mm.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Los cortes también muestran líneas ocultas.

**En realidad:** Normalmente las líneas ocultas se omiten en los cortes.

**Mito:** Las vistas auxiliares deben mostrar toda la pieza.

**En realidad:** Las vistas auxiliares parciales que solo muestran el elemento inclinado son habituales.

**Mito:** Toda superficie cortada se raya.

**En realidad:** Los nervios, ejes y fijaciones cortados a lo largo se dejan sin rayar por convención.

## Tarjetas de estudio

**Vista en corte**

Corte imaginario para mostrar el interior.

**Línea de plano de corte**

Línea gruesa con flechas y letras.

**Rayado**

Líneas finas sobre el material cortado.

**Semicorte**

Se quita un cuarto; la mitad muestra el interior.

**Vista auxiliar**

Vista paralela a una cara inclinada.

**Verdadera magnitud**

Forma y área sin deformar.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. El rayado muestra...**

aristas ocultas

material cortado

roscas

acabado superficial

material cortado. El material que atraviesa el plano de corte.

**2. Una vista auxiliar es paralela a...**

la vista frontal

la superficie inclinada

el suelo

el cajetín

la superficie inclinada. Para mostrar la verdadera magnitud.

**3. Un semicorte muestra...**

la mitad de la pieza retirada

un cuarto retirado

solo el exterior

una vista girada

un cuarto retirado. Interior y exterior a la vez en piezas simétricas.

**4. La longitud real de una arista que sube 9 en 12 es...**

21

15

10.5

3

15. √(81 + 144).

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los cortes son la forma en que los diseñadores comprueban los espesores de pared, y paredes más delgadas donde las cargas lo permiten significan menos material. Eso es aligerar desde la mesa de dibujo (unidad 9).

El DOE informa que sustituir piezas pesadas de acero por materiales más ligeros puede reducir el peso de los componentes un 10–60% a corto plazo.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Cortes en FreeCAD TechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Cursos de planos de Onshape.

☐ **Terminé esta unidad**

# Acotación y fundamentos de GD&T

Decir exactamente qué tamaño y forma debe tener una pieza: reglas de acotación, referencias y tolerancias geométricas.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Acotar piezas con claridad siguiendo las convenciones de ASME Y14.5.
- Elegir las referencias según la función.
- Leer marcos de control de tolerancias de planitud, perpendicularidad, posición y perfil.
- Calcular el error de posición y la tolerancia adicional en MMC.

## Conceptos clave

- Cada elemento se acota una sola vez, en la vista que mejor lo muestra, sin cotas redundantes ni encadenadas que acumulen errores.
- El dimensionamiento y tolerado geométrico (GD&T), normalizado en ASME Y14.5 (edición vigente 2018), controla forma, orientación, ubicación y perfil respecto a referencias, las superficies de referencia que se acoplan en el ensamblaje.
- Un marco de control se lee: símbolo | tolerancia (con Ø para una zona cilíndrica) | modificador | referencias, p. ej. ⌖ Ø0.1 Ⓜ A B C.
- Error de posición de un agujero = 2√(Δx² + Δy²); debe quedar dentro de la zona de tolerancia cilíndrica.
- En condición de máximo material (MMC), un agujero recibe una bonificación: a medida que se aleja del MMC (se agranda), su tolerancia de posición permitida crece en la misma cantidad.

## Ecuaciones clave

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

```
_pos=2Δ x^2+Δ y^2
```

Error de posición medido (diámetro)

$$t_{allowed} = t_{MMC} + (d_{actual} - d_{MMC})$$

```
t_allowed=t_MMC+(d_actual-d_MMC)
```

Tolerancia adicional para un agujero en MMC

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 4.1** Un agujero debería estar en (50, 30). Se mide en (50.03, 29.98). La tolerancia de posición es Ø0.1. ¿Pasa?

1. $\Delta x = 0.03$, $\Delta y = 0.02$.
2. $\text{Ø} = 2\sqrt{(0.0009 + 0.0004)} = 0.072$.

**Respuesta:** Ø0.072 ≤ Ø0.1: pasa.

**Ejemplo 4.2** El agujero es Ø10.0–10.2 con posición Ø0.1 en MMC. Mide Ø10.15. ¿Qué tolerancia de posición se permite?

1. MMC de un agujero = tamaño más pequeño = 10.0.
2. Bonificación = 10.15 − 10.0 = 0.15.
3. Permitida = 0.1 + 0.15.

**Respuesta:** Ø0.25.

**Ejemplo 4.3** Tres cotas encadenadas de 20 ± 0.1 cada una sitúan un elemento. ¿Cuál es la variación del total en el peor caso?

1. Las tolerancias se suman: 3 × 0.1.

**Respuesta:** ± 0.3 mm. Acotar cada una desde una sola referencia la mantendría en ± 0.1.

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un agujero está desviado 0.04 en x y 0.03 en y. ¿Error de posición?

   Ø0.10.

2. Con Ø0.1 en MMC, ¿qué tolerancia de posición se permite a un agujero Ø10.0–10.2 medido en Ø10.05?

   Ø0.15.

3. ¿Qué representa una referencia?

   Una referencia teóricamente exacta, normalmente donde la pieza se acopla o se sujeta.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** El error de posición es igual a la desviación.

**En realidad:** La zona de tolerancia es un diámetro, así que el error = 2 × la desviación radial.

**Mito:** Tolerancias más estrictas siempre dan mejores piezas.

**En realidad:** Aumentan el costo y los desechos; tolera solo lo que la función necesita.

**Mito:** El MMC de un agujero es su tamaño más grande.

**En realidad:** El máximo material de un agujero es el agujero más pequeño.

## Tarjetas de estudio

**GD&T**

Dimensionamiento y tolerado geométrico.

**Referencia**

Elemento de referencia exacto.

**Marco de control**

Símbolo | tolerancia | modificadores | referencias.

**Posición**

Tolerancia de ubicación, normalmente una zona de diámetro.

**MMC**

Condición de máximo material.

**Tolerancia adicional**

Tolerancia extra a medida que un elemento se aleja del MMC.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. ASME Y14.5 trata de...**

soldadura

acotación y tolerancias

símbolos eléctricos

materiales

acotación y tolerancias. La norma de GD&T.

**2. Un agujero desviado 0.03 y 0.04 tiene un error de posición de...**

Ø0.05

Ø0.07

Ø0.10

Ø0.14

Ø0.10. 2 × 0.05.

**3. El MMC de un eje es...**

el tamaño más pequeño

el tamaño más grande

el nominal

cero

el tamaño más grande. El máximo de material.

**4. Las cotas encadenadas...**

reducen el error

acumulan tolerancias

son obligatorias

eliminan referencias

acumulan tolerancias. Los errores se suman a lo largo de la cadena.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Tolerar bien es una herramienta para reducir residuos. El GD&T funcional y la tolerancia adicional en MMC aceptan piezas que se ensamblarán y funcionarán, en lugar de desecharlas por números

arbitrariamente estrictos.

El NIST trabaja en la definición basada en modelos, que pone las tolerancias directamente en el modelo 3D para que máquinas e inspectores las lean correctamente, lo que reduce errores y retrabajos.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing) · NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- ASME Y14.5: Dimensioning and Tolerancing (https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-5-dimensioning-tolerancing): La norma.
- NIST: Model-based enterprise and PMI testing (https://www.nist.gov/el/systems-integration-division-73400/mbe-pmi-validation-and-conformance-testing): Tolerancias en modelos 3D.

☐ **Terminé esta unidad**

# Tolerancias y ajustes

Cuánto puede variar el tamaño de las piezas y aun así encajar: límites, ajustes ISO y cadenas de tolerancias.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular límites, holgura e interferencia.
- Leer ajustes ISO de agujero base como H7/g6 y H7/p6.
- Hacer cadenas de tolerancias de peor caso y de raíz de la suma de cuadrados (RSS).
- Elegir un ajuste según la función.

## Conceptos clave

- Los límites son los tamaños máximo y mínimo permitidos. Tolerancia = límite superior − límite inferior.
- Los ajustes con holgura siempre dejan un hueco; los ajustes con apriete siempre se solapan (montados a presión); los ajustes de transición pueden hacer cualquiera de las dos cosas.
- La ISO 286 codifica los ajustes como letra/número del agujero sobre letra/número del eje. Los agujeros H empiezan en el tamaño nominal; el número es el grado IT. Para tamaños de 18–30 mm, IT7 = 21 µm e IT6 = 13 µm.
- La cadena de peor caso suma todas las tolerancias; la RSS supone variación aleatoria independiente: √(Σtᵢ²), menor y más realista cuando hay muchas piezas.

## Ecuaciones clave

$$c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}, \quad c_{\min} = H_{\min} - s_{\max}$$

`c_=H_-s_, c_=H_-s_`

Límites de holgura

$$T_{wc} = \sum t_i$$

`T_wc= t_i`

Cadena de peor caso

$$T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

`T_RSS= t_i^2`

Cadena de raíz de la suma de cuadrados

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 5.1** Un ajuste Ø25 H7/g6: agujero 25.000–25.021, eje 24.980–24.993. Halla el rango de holgura.

1. c_min = 25.000 − 24.993 = 0.007.
2. c_max = 25.021 − 24.980 = 0.041.

**Respuesta:** Holgura de 0.007–0.041 mm: un ajuste deslizante preciso.

**Ejemplo 5.2** Un ajuste Ø25 H7/p6: agujero 25.000–25.021, eje 25.022–25.035. Halla el ajuste.

1. Solape mínimo = 25.022 − 25.021 = 0.001.
2. Máximo = 25.035 − 25.000 = 0.035.

**Respuesta:** Interferencia de 0.001–0.035 mm: un ajuste a presión.

**Ejemplo 5.3** Piezas de 20 ± 0.10, 30 ± 0.05 y 10 ± 0.05 mm se apilan. Halla la tolerancia de peor caso y la RSS.

1. Peor caso: 0.10 + 0.05 + 0.05 = 0.20.
2. RSS: √(0.01 + 0.0025 + 0.0025) = 0.122.

**Respuesta:** 60 ± 0.20 mm en el peor caso; 60 ± 0.12 mm RSS.

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un agujero mide 12.000–12.018 y un eje 11.984–11.995. ¿Rango de holgura?

   0.005–0.034 mm.

2. ¿Cuál es la tolerancia del agujero H7 anterior?

   0.021 mm = 21 µm.

3. Cuatro piezas de ± 0.05 cada una: ¿peor caso y RSS?

   ± 0.20 y ± 0.10.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** La RSS siempre es segura.

**En realidad:** Supone variación independiente y centrada; para ajustes críticos para la seguridad usa el peor caso.

**Mito:** Los ajustes con apriete no necesitan cálculo.

**En realidad:** Demasiada interferencia puede agrietar las piezas; calcula el rango.

**Mito:** El número de tolerancia está en milímetros.

**En realidad:** Los grados IT corresponden a valores en micrómetros que dependen del tamaño.

## Tarjetas de estudio

**Límites**

Tamaños máximo y mínimo permitidos.

**Ajuste con holgura**

Siempre hay hueco.

**Ajuste con apriete**

Siempre hay solape.

**Ajuste de transición**

Hueco o solape.

**Cadena de peor caso**

$\Sigma t_i$.

**Cadena RSS**

$\sqrt{\Sigma t_i^2}$.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. H7/g6 es un...**

ajuste a presión

ajuste con holgura

ajuste de transición

rosca

ajuste con holgura. Los ejes g quedan por debajo del agujero H.

**2. La RSS para ±0.3 y ±0.4 es...**

±0.7

±0.5

±0.35

±0.1

±0.5. √(0.09 + 0.16).

**3. IT7 para tamaños de 18–30 mm es...**

7 µm

13 µm

21 µm

0.7 mm

21 µm. Tabla ISO 286.

**4. El límite inferior de un agujero H está...**

por encima del nominal

exactamente en el nominal

por debajo del nominal

al azar

exactamente en el nominal. Sistema de agujero base.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los buenos ajustes hacen los productos reparables: los ajustes ISO normalizados permiten sustituir rodamientos, pasadores y casquillos por piezas comerciales años después, manteniendo una máquina en servicio en lugar de en un vertedero.

Elegir RSS cuando corresponde permite tolerancias individuales más holgadas, lo que significa procesos más baratos y menos desechos con la misma calidad de ensamblaje.

En Saving Planets: Cálculo II

Fuentes: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html) · EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html): El sistema de ajustes ISO.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Ajustes en el diseño de máquinas.

☐ **Terminé esta unidad**

# Modelado 3D paramétrico

Construir modelos sólidos a partir de bocetos restringidos y operaciones en Onshape o FreeCAD, y hacerlos fáciles de cambiar.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Crear bocetos 2D totalmente restringidos.
- Usar operaciones de extrusión, revolución, redondeo, chaflán, agujero, vaciado y patrón.
- Controlar los modelos con variables y ecuaciones (intención de diseño).
- Calcular propiedades de masa y usarlas en el diseño.

## Conceptos clave

- Un modelo paramétrico es una receta: bocetos más operaciones en un árbol de historial. Cambia una cota y el modelo se reconstruye.
- Un boceto está totalmente restringido cuando las restricciones geométricas (paralelo, tangente, coincidente) y las cotas fijan todos los grados de libertad. Cada punto 2D libre tiene 2 grados de libertad.
- Intención de diseño: acota según cómo funciona la pieza. Si los agujeros deben seguir centrados, restríngelos al punto medio, no a una arista.
- Las variables (Onshape) y las hojas de cálculo o expresiones (FreeCAD) permiten que un número controle muchas operaciones.
- El CAD calcula el volumen, la masa, el centro de masa y los momentos de inercia a partir de la densidad del material.

## Ecuaciones clave

$$m = \rho V$$

`m=ρ V`

Masa a partir del volumen

$$\mathrm{DOF}_{sketch} = 2n_{pts} - \sum \text{constraints}$$

`DOF_sketch=2n_pts-`

Grados de libertad de un boceto (solo puntos)

$$V_{rev} = 2\pi \bar{r} A$$

$V_{rev} = 2\pi\, r\, A$

Pappus: volumen de revolución

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 6.1** Una placa de aluminio mide 100 × 60 × 5 mm con cuatro agujeros pasantes Ø6. Halla su masa (ρ = 2.70 g/cm³).

1. V = 100 × 60 × 5 − 4 × π × 3² × 5 = 30,000 − 565.5 = 29,434.5 mm³.
2. m = 29.43 cm³ × 2.70.

**Respuesta:** ≈ 79.5 g.

**Ejemplo 6.2** Un rectángulo dibujado con la herramienta rectángulo tiene 4 vértices (8 GDL) y trae 2 restricciones horizontales y 2 verticales. ¿Cuántas cotas o restricciones más lo restringen totalmente?

1. Quedan 8 − 4 = 4 GDL: ancho, alto y posición en x e y.
2. Añade ancho y alto, y luego haz un vértice coincidente con el origen (elimina 2).

**Respuesta:** 4 más: dos cotas más dos para la posición (p. ej. un vértice coincidente con el origen).

**Ejemplo 6.3** Un anillo se hace revolucionando un rectángulo de 10 × 4 mm cuyo centroide está a 25 mm del eje. Halla su volumen.

1. A = 40 mm².
2. V = 2π × 25 × 40.

**Respuesta:** ≈ 6,283 mm³ (6.28 cm³).

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Un bloque de acero de 50 × 50 × 20 mm (ρ = 7.85 g/cm³). ¿Masa?

   50 cm³ × 7.85 ≈ 392.5 g.

2. ¿Por qué restringir totalmente los bocetos?

Para que los cambios se reconstruyan de forma predecible; los bocetos subrestringidos se desplazan al editarlos.

3. Un cubo de PLA de 20 mm de lado, macizo ($\rho = 1.24$ g/cm³). ¿Masa?

   8 cm³ × 1.24 ≈ 9.9 g.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Un modelo que parece correcto es correcto.

**En realidad:** Revisa bocetos subrestringidos y referencias frágiles; se rompen al editar.

**Mito:** Acota desde cualquier arista que tengas a mano.

**En realidad:** Acota desde referencias funcionales para captar la intención.

**Mito:** Las propiedades de masa son exactas.

**En realidad:** Solo son tan buenas como la densidad y el modelo que introduces.

## Tarjetas de estudio

**Modelo paramétrico**

Operaciones controladas por cotas editables.

**Restricción**

Relación geométrica, p. ej. tangente.

**Intención de diseño**

El modelo se comporta como exige la función.

**Operación**

Extrusión, revolución, redondeo, agujero, patrón…

**Árbol de historial**

Lista ordenada de operaciones.

**Propiedades de masa**

Volumen, masa, centro de masa, inercia.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. Un boceto totalmente restringido tiene…**

ninguna cota

cero GDL restantes

solo restricciones

solo cotas

cero GDL restantes. Todos los GDL fijados.

**2. El árbol de historial registra...**

correos electrónicos

la secuencia de operaciones

solo materiales

ajustes de renderizado

la secuencia de operaciones. La receta paramétrica.

**3. Revolucionar un área A con radio del centroide $\bar{r}$ da un volumen...**

$\pi\bar{r}A$

$2\pi\bar{r}A$

$\bar{r}A$

$2\pi A$

$2\pi\bar{r}A$. Teorema de Pappus.

**4. Onshape funciona...**

solo en Linux

en un navegador web

solo sin conexión

solo en teléfonos

en un navegador web. CAD nativo en la nube.

Repetir este cuestionario

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los modelos paramétricos hacen barato probar versiones más ligeras: cambia una variable de espesor de pared y toda la pieza se actualiza, con su nueva masa. Así el aligeramiento pasa de ser una conjetura a un estudio rápido (práctica D).

El plan gratuito de Onshape y FreeCAD ponen el modelado profesional al alcance de cualquiera, de modo que los diseños abiertos de repuestos y tecnología apropiada pueden compartirse y mejorarse.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) · FreeCAD (gratuito, de código abierto) (https://www.freecad.org/)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Cursos de modelado gratuitos a tu ritmo.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Fundamentos de FreeCAD Part Design.
- Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free): Regístrate en el plan gratuito.

☐ **Terminé esta unidad**

# Ensamblajes y planos

Unir piezas con relaciones, comprobar movimiento e interferencias y producir planos con los que alguien pueda fabricar.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Ensamblar piezas con relaciones (fija, de revolución, deslizante) y contar grados de libertad.
- Comprobar interferencias y holguras.
- Producir planos de detalle y de conjunto con cajetín, lista de materiales y globos.
- Usar la ecuación de Grübler para mecanismos planos.

## Conceptos clave

- Un sólido rígido libre tiene 6 grados de libertad (3 traslaciones, 3 rotaciones). Una relación de revolución deja 1; una deslizante deja 1; una fija deja 0.
- El ensamblaje ascendente inserta piezas terminadas; el diseño descendente diseña las piezas en el contexto del ensamblaje.
- La movilidad de un mecanismo plano es M = 3(n − 1) − 2$j_1$ − $j_2$ (Grübler), con n eslabones incluido el bastidor, $j_1$ pares completos y $j_2$ semipares.
- Los planos salen del modelo: vistas, cortes, cotas y notas, un cajetín (pieza, material, escala, símbolo de proyección, unidades, tolerancias) y, para ensamblajes, una lista de materiales (BOM) con globos.
- Las comprobaciones de interferencia detectan piezas que se solapan antes de fabricar nada.

## Ecuaciones clave

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

`M=3(n-1)-2j_1-j_2`

Ecuación de Grübler (plana)

$$\mathrm{DOF}_{3D} = 6 - \mathrm{removed}$$

`DOF_3D=6-removed`

GDL restantes de una pieza relacionada

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 7.1** Halla la movilidad de un mecanismo de cuatro barras (4 eslabones incluido el bastidor, 4 articulaciones).

1. $M = 3(4 - 1) - 2(4) = 9 - 8$.

**Respuesta:** M = 1: una sola entrada lo acciona.

**Ejemplo 7.2** Un biela-manivela: bastidor, manivela, biela, corredera; 3 articulaciones y 1 par deslizante.

1. $n = 4$, $j_1 = 4$ (articulaciones y corredera son pares completos).
2. $M = 9 - 8$.

**Respuesta:** M = 1, como en un motor.

**Ejemplo 7.3** Una lista de materiales incluye 4 × tornillos M5 de 1.2 g, 1 placa de 79.5 g y 2 soportes de 15.0 g. ¿Masa total del ensamblaje?

1. 4.8 + 79.5 + 30.0.

**Respuesta:** 114.3 g.

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Movilidad con 5 eslabones y 5 articulaciones?

   $M = 12 - 10 = 2$.

2. ¿Movilidad con 3 eslabones y 3 articulaciones?

   $M = 6 - 6 = 0$: una estructura rígida (un triángulo).

3. ¿Qué debe indicar todo cajetín?

   Nombre/número de pieza, material, escala, unidades, método de proyección, tolerancias generales, autor y revisión.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Más relaciones es más seguro.

**En realidad:** Las relaciones redundantes sobrerrestringen y pueden impedir la resolución u ocultar errores.

**Mito:** Los planos de conjunto necesitan todas las cotas.

**En realidad:** Los planos de detalle llevan las cotas de las piezas; los de conjunto muestran cómo se unen las piezas.

**Mito:** Si el modelo encaja, las piezas reales también.

**En realidad:** Solo si se comprueban las tolerancias (unidad 5).

## Tarjetas de estudio

**Relación**

Vínculo que posiciona las piezas.

**De revolución**

Articulación; 1 GDL de rotación.

**Grübler**

$M = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$.

**BOM**

Lista de materiales.

**Globo**

Llamada numerada que vincula una pieza con la lista de materiales.

**Cajetín**

Identidad, escala, unidades y tolerancias del plano.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. Un sólido rígido libre en 3D tiene...**

3 DOF

6 DOF

1 DOF

12 DOF

6 DOF. 3 traslaciones, 3 rotaciones.

**2. Un mecanismo de cuatro barras tiene movilidad...**

0

1

2

3

1. Grübler.

**3. Una lista de materiales incluye...**

tolerancias

piezas y cantidades

solo colores

relaciones

piezas y cantidades. Lista de materiales.

**4. Una relación de revolución deja...**

0 DOF

1 DOF

2 DOF

6 DOF

1 DOF. Una rotación.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Un plano de conjunto claro y una lista de materiales son un manual de reparación. Los diseños que usan fijaciones estándar y pueden desmontarse son más fáciles de reparar, reacondicionar y reciclar, una idea central de la gestión sostenible de materiales.

Contar las piezas de la lista de materiales es también una comprobación de diseño para el ensamblaje: menos piezas suele significar menos material, menos energía y menos fallos.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): Ensamblajes de FreeCAD y TechDraw.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Ensamblajes y planos de Onshape.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Mecanismos en MIT 2.007.

☐ **Terminé esta unidad**

# Impresión 3D y diseño para la fabricación

Cómo se fabrican realmente las piezas y cómo diseñarlas para que sean fáciles, baratas y con poco desperdicio de fabricar, incluida la impresión 3D.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Describir los procesos aditivos (impresión 3D), sustractivos (mecanizado) y de conformado.
- Diseñar para impresión FDM: voladizos, soportes, espesor de pared, orientación.
- Estimar la masa, la longitud de filamento y el tiempo de una impresión.
- Aplicar las reglas de diseño para fabricación y ensamblaje (DFM/DFA).

## Conceptos clave

- La fabricación aditiva construye las piezas capa a capa; el NIST trabaja en metrología y normas para que las piezas AM sean fiables. El mecanizado quita material; el moldeo y la fundición le dan forma.
- Impresión por filamento fundido (FDM): los voladizos de más de unos 45° respecto a la vertical suelen necesitar soportes; orienta las piezas para que las cargas no separen las capas, porque la unión entre capas es la dirección débil.
- El relleno (a menudo 10–20%) y unas pocas paredes perimetrales hacen ligeras las impresiones; las impresiones macizas desperdician material y tiempo.
- Longitud de filamento por gramo = 1/(ρπr²). Para PLA de 1.75 mm (ρ = 1.24 g/cm³) son unos 33.5 cm por gramo.
- DFM/DFA: menos piezas, elementos y fijaciones estándar, radios generosos, elementos autoposicionantes y evitar tolerancias innecesariamente estrictas.

## Ecuaciones clave

$$\ell = \frac{m}{\rho \, \pi r^2}$$

```
=(m)/(ρ π r^2)
```

Longitud de filamento para una impresión de masa m

$$t \approx \frac{V}{w \, h \, v}$$

Tiempo de impresión a partir del volumen, el ancho de línea w, la altura de capa h y la velocidad v

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 8.1** ¿Cuánto filamento PLA de 1.75 mm usa una impresión de 10 g?

1. Sección $\pi(0.0875\ \text{cm})^2 = 0.02405\ \text{cm}^2$.
2. Longitud por gramo = $1/(1.24 \times 0.02405) = 33.5$ cm.
3. × 10.

**Respuesta:** ≈ 3.35 m.

**Ejemplo 8.2** Estima el tiempo de impresión de 10 g de PLA con una línea de 0.4 mm y capas de 0.2 mm a 50 mm/s.

1. $V = 10/1.24 = 8.065\ \text{cm}^3 = 8{,}065\ \text{mm}^3$.
2. Caudal = $0.4 \times 0.2 \times 50 = 4\ \text{mm}^3/\text{s}$.
3. $t = 8{,}065/4 = 2{,}016$ s.

**Respuesta:** ≈ 34 minutos de extrusión (las impresiones reales tardan más por los desplazamientos).

**Ejemplo 8.3** Un cubo macizo de PLA de 20 mm pesa 9.9 g. Con un relleno de alrededor del 15% y paredes, pesa unos 3.5 g. ¿Qué fracción de material se ahorra?

1. $(9.9 - 3.5)/9.9$.

**Respuesta:** ≈ 65% menos plástico (estimación de ejemplo; tu laminador da la cifra real).

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Cuántos gramos pesa 1 m de PLA de 1.75 mm?

   $100/33.5 \approx 2.98$ g.

2. ¿Por qué imprimir un soporte de modo que las capas sigan la trayectoria de la carga?

   La unión entre capas es más débil que las líneas extruidas.

3. Nombra dos reglas DFA.

   Reducir el número de piezas; usar elementos autoposicionantes y fijaciones estándar.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** La impresión 3D siempre es más ecológica.

**En realidad:** Puede ahorrar material, pero importan la energía, las impresiones fallidas y los residuos no reciclados; compara pieza por pieza.

**Mito:** Las impresiones son igual de resistentes en todas las direcciones.

**En realidad:** Las piezas FDM son más débiles entre capas.

**Mito:** Un relleno del 100% es el más resistente, así que siempre es mejor.

**En realidad:** Las paredes soportan la mayor parte de la flexión; más relleno añade masa y tiempo con poco beneficio.

## Tarjetas de estudio

**Fabricación aditiva**

Construcción capa a capa.

**FDM**

Impresión 3D por filamento fundido.

**Relleno**

Porcentaje de retícula interna.

**Soporte**

Estructura temporal bajo los voladizos.

**DFM**

Diseño para la fabricación.

**DFA**

Diseño para el ensamblaje.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. Las piezas FDM son más débiles...**

a lo largo del filamento

entre capas

en la superficie

en ningún sitio

entre capas. Adhesión entre capas.

**2. Los voladizos de más de unos 45° suelen necesitar...**

soportes

más relleno

más velocidad

pintura

soportes. No hay nada sobre lo que imprimir.

**3. Filamento por gramo para PLA de 1.75 mm ≈**

3.4 cm

33.5 cm

3.35 m

335 m

33.5 cm. $1/(\rho\pi r^2)$.

**4. Una regla clave de DFA es...**

añadir piezas

reducir el número de piezas

ajustar todas las tolerancias

usar tornillos a medida

reducir el número de piezas. Menos piezas, menos pasos.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

Los plásticos son un gran flujo de residuos: la EPA informa que la generación de plásticos en EE. UU. fue de 35.7 millones de toneladas en 2018, el 12.2% de los residuos sólidos urbanos, y solo se recicló

el 8.7%. Diseñar impresiones con poco relleno, pocos soportes y menos intentos fallidos reduce directamente esos residuos.

La fabricación aditiva puede poner material solo donde las cargas lo necesitan, lo que permite piezas más ligeras; el trabajo del NIST busca que esas piezas sean lo bastante fiables para usos exigentes.

En Saving Planets: Introducción a la ingeniería aeroespacial

Fuentes: EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data) · NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

## Recursos de aprendizaje gratuitos

- NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing): Normas y metrología para la impresión 3D.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): Procesos de fabricación.
- EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data): Datos sobre plásticos.

☐ **Terminé esta unidad**

# Diseño sostenible y aligeramiento

Usar tus habilidades de CAD para hacer piezas más ligeras, duraderas y fáciles de reparar y reciclar, y estimar el beneficio.

## Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Comparar secciones por masa y rigidez (momento de inercia de área).
- Estimar el ahorro de combustible y de $CO_2$ por aligerar vehículos.
- Aplicar principios de diseño para la reparación, el desmontaje y el reciclaje.
- Elegir materiales pensando en todo su ciclo de vida.

## Conceptos clave

- La rigidez a flexión depende de EI. Alejar el material del eje neutro (tubos, vigas en I) aumenta I con menos masa.
- El DOE informa que una reducción del 10% del peso del vehículo puede mejorar el rendimiento de combustible un 6–8%, y que los materiales ligeros pueden reducir el peso de los componentes un 10–60% a corto plazo.
- La EPA informa que cada galón de gasolina quemado genera unos 8887 g de $CO_2$ (unos 2.35 kg por litro).
- Diseño para el desmontaje: tornillos en vez de pegamento, materiales únicos cuando sea posible y plásticos etiquetados.
- Lo más ligero no siempre es lo más ecológico: compara los materiales a lo largo del ciclo de vida, incluida la energía de producción y la reciclabilidad.

## Ecuaciones clave

$$I_{rect} = \frac{bh^3}{12}, \quad I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_rect=(bh^3)/(12), I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

Momento de inercia de área: barra maciza y tubo cuadrado

$$\Delta \mathrm{CO_2} = \Delta \mathrm{fuel} \times 2.35\ \mathrm{kg/L}$$

```
ΔCO_2=Δfuel×2.35\ kg/L
```

$CO_2$ ahorrado de gasolina

## Ejemplos resueltos paso a paso

**Ejemplo 9.1** Compara una barra cuadrada maciza de 20 × 20 mm con un tubo cuadrado de 25 × 25 mm con paredes de 2 mm: área (masa) e I.

1. Barra: $A = 400\ mm^2$, $I = 20^4/12 = 13333\ mm^4$.
2. Tubo: $A = 625 - 441 = 184\ mm^2$, $I = (25^4 - 21^4)/12 = 16345\ mm^4$.

**Respuesta:** El tubo usa un 54% menos de material y es un 23% más rígido a flexión.

**Ejemplo 9.2** Un coche de 1500 kg se aligera un 10% (150 kg). Consume 8 L/100 km y recorre 15000 km al año. Con el 6–8% del DOE, estima el combustible ahorrado al año.

1. Combustible anual = 15000/100 × 8 = 1200 L.
2. 6%: 72 L; 8%: 96 L.

**Respuesta:** Unos 72–96 L al año.

**Ejemplo 9.3** Convierte eso a $CO_2$ con los 8887 g por galón de la EPA.

1. 8.887 kg / 3.785 L = 2.35 kg/L.
2. 72 × 2.35 = 169; 96 × 2.35 = 225.

**Respuesta:** ≈ 170–225 kg de $CO_2$ por coche al año (una estimación simplificada).

## Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿I de una barra maciza de 10 × 30 mm que flexiona respecto a su eje de 10 mm de ancho (h = 30)?

   $10 \times 30^3/12 = 22{,}500\ mm^4$.

2. ¿La misma barra puesta en plano (h = 10, b = 30)?

   $30 \times 10^3/12 = 2500\ mm^4$: 9 veces menos rígida.

3. ¿Cuántos litros de gasolina producen 1 tonelada de $CO_2$?

   1,000/2.35 ≈ 426 L.

## Ideas erróneas comunes

**Mito:** Más ligero siempre significa más ecológico.

**En realidad:** Algunos materiales ligeros necesitan mucha más energía para producirse; juzga a lo largo del ciclo de vida.

**Mito:** La rigidez depende solo de la cantidad de material.

**En realidad:** Importa más dónde está el material (I).

**Mito:** El pegamento mejora los productos.

**En realidad:** A menudo impide la reparación y el reciclaje.

## Tarjetas de estudio

**Momento de inercia de área**

I; rigidez geométrica a flexión.

**Aligeramiento**

Quitar masa sin perder función.

**Regla del DOE**

10% más ligero → 6–8% mejor rendimiento de combustible.

**$CO_2$ de la gasolina**

≈ 8887 g/gal ≈ 2.35 kg/L.

**Diseño para el desmontaje**

Fácil de desmontar para reparar y reciclar.

**Ciclo de vida**

Materiales, fabricación, uso y fin de vida.

## Cuestionario de autoevaluación

**1. La rigidez a flexión depende de...**

solo E

EI

solo la masa

el color

EI. Módulo × momento de inercia de área.

**2. DOE: un vehículo un 10% más ligero → el rendimiento de combustible mejora...**

1–2%

6–8%

20–30%

50%

6–8%. Cifra del DOE.

**3. Un galón de gasolina quemado genera unos…**

889 g $CO_2$

8,887 g $CO_2$

88 kg $CO_2$

2 g $CO_2$

8,887 g $CO_2$. Cifra de la EPA.

**4. Una decisión de diseño para el desmontaje es…**

adhesivo por todas partes

tornillos y materiales únicos

plásticos laminados mezclados

tapas soldadas

tornillos y materiales únicos. Reparación y reciclaje más fáciles.

**Repetir este cuestionario**

## Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El aligeramiento es una de las herramientas climáticas más directas de quien usa CAD. El DOE informa que un vehículo un 10% más ligero puede mejorar un 6–8% su rendimiento de combustible, y la EPA cifra cada galón de gasolina en unos 8887 g de $CO_2$.

Diseñar para la reparación y el reciclaje mantiene los materiales en uso; la EPA describe la gestión sostenible de materiales como un enfoque sistemático para usar y reutilizar los materiales de forma más productiva a lo largo de todo su ciclo de vida.

En Saving Planets: Física I

Fuentes: U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

### Recursos de aprendizaje gratuitos

- U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks): Datos de materiales ligeros.
- EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle): Cifras de $CO_2$ de vehículos.
- EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics): Pensamiento de ciclo de vida.

☐ **Terminé esta unidad**

## Problemas

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

1. Bocetos y visualización
   3 problemas
2. Proyección ortográfica e isométrica
   4 problemas
3. Cortes y vistas auxiliares
   3 problemas
4. Acotación y fundamentos de GD&T
   3 problemas
5. Tolerancias y ajustes
   3 problemas
6. Modelado 3D paramétrico
   3 problemas
7. Ensamblajes y planos
   3 problemas
8. Impresión 3D y diseño para la fabricación
   3 problemas
9. Diseño sostenible y aligeramiento
   3 problemas

## Prácticas

Cuatro prácticas llevan una pieza del papel al plástico: un soporte paramétrico en Onshape, un ensamblaje y un plano en FreeCAD, una estimación e impresión 3D, y un estudio de aligeramiento.

Los datos de ejemplo están señalados como tales. Tus propias mediciones serán distintas, y explicar por qué es parte de la práctica.

Referencia de seguridad: NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

## Práctica A: un soporte paramétrico en Onshape

SEMANA 9

**Objetivo:** Modelar un soporte en L controlado por variables, luego cambiar una variable y ver cómo se actualizan el modelo y su masa.

$$m = \rho V$$

`m=ρ V`

Masa a partir del volumen

### Procedimiento

1. Crea una cuenta gratuita de Onshape (plan Free) o usa FreeCAD.
2. Define las variables: placa de 100 × 60 mm, espesor t = 5 mm, agujero Ø6, distancia del agujero al borde 10 mm.
3. Boceta, extruye, añade cuatro agujeros con un patrón y asigna aluminio como material (2.70 g/cm³).
4. Anota la masa. Cambia t a 4 mm y anótala de nuevo.

### Tabla de datos

| Espesor t (mm) | Volumen (mm³) | Masa (g) |
|---|---|---|
| 5 | 29,434 | 79.5 |
| 4 | 23,548 | 63.6 |
| 3 | 17,661 | 47.7 |

*Valores calculados para la placa plana con cuatro agujeros Ø6; tu soporte completo será distinto.*

### Cálculo de ejemplo

1. V = (100 × 60 − 4π × 3²) × t = 5,886.9 × t mm³.
2. Masa = V × 2.70 g/cm³: 79.5 g con 5 mm. Cada milímetro de espesor cuesta 15.9 g.

> **Seguridad**
>
> - Ninguna más allá del uso normal de una computadora.

### Alternativa en casa o virtual

- Funciona en un navegador web.

Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free) · Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/)

**Vínculo con el planeta:** Los estudios paramétricos de espesor son la forma más rápida de encontrar la pieza más ligera que sigue funcionando. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

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

## Práctica B: ensamblaje y plano en FreeCAD

SEMANA 11

**Objetivo:** Ensamblar un mecanismo de cuatro barras, comprobar su movimiento y movilidad, y producir un plano con cajetín y lista de materiales.

$$M = 3(n-1) - 2j_1$$

```
M=3(n-1)-2j_1
```

Ecuación de Grübler

**Procedimiento**

1. Modela un bastidor (100 mm), una manivela (40 mm), un acoplador (120 mm) y un balancín (80 mm), cada uno de 10 mm de ancho con agujeros Ø6 en los extremos.
2. Ensambla con articulaciones (de revolución) y acciona la manivela.
3. Comprueba si la manivela gira por completo (Grashof: más corta + más larga ≤ suma de las otras dos).
4. Haz un plano: vistas, cotas, cajetín, lista de materiales y globos.

**Tabla de datos**

| Comprobación | Valor |
|---|---|
| Movilidad M | 1 |
| Más corta + más larga (mm) | 160 |
| Las otras dos (mm) | 180 |
| ¿Puede la manivela girar por completo? | Yes |

*Valores calculados para las longitudes dadas.*

**Cálculo de ejemplo**

1. M = 3(4 − 1) − 2 × 4 = 1.
2. Grashof: 40 + 120 = 160 ≤ 100 + 80 = 180, y el eslabón más corto es la manivela, así que puede girar por completo.

> **Seguridad**
>
> - Ninguna más allá del uso normal de una computadora.

**Alternativa en casa o virtual**

- FreeCAD es gratuito para Windows, Mac y Linux.

FreeCAD (gratuito, de código abierto) (https://www.freecad.org/) · FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started)

**Vínculo con el planeta:** Los planos con listas de materiales claras hacen que los productos sean más fáciles de reparar y mantener. EPA: Sustainable materials management basics (https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-basics)

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

## Práctica C: imprímelo (o estímalo)

SEMANA 13

**Objetivo:** Laminar un cubo de calibración de 20 mm con distintos rellenos, comparar masa y tiempo, imprimir uno si puedes y medirlo.

$$\ell = \frac{m}{\rho \pi r^2}$$

```
=(m)/(ρπ r^2)
```

Longitud de filamento

**Procedimiento**

1. Exporta tu cubo como STL y ábrelo en un laminador gratuito.
2. Anota la masa y el tiempo del laminador con relleno del 100%, 20% y 10%.
3. Imprime un cubo si tienes acceso; mídelo con un calibre en x, y y z.
4. Calcula el error dimensional y la longitud de filamento.

**Tabla de datos**

| Eje medido | Nominal (mm) | Medido (mm) |
|---|---|---|
| x | 20.00 | 20.12 |
| y | 20.00 | 20.08 |
| z | 20.00 | 19.90 |

*Mediciones de ejemplo para practicar, no una impresión real.*

**Cálculo de ejemplo**

1. Errores: +0.12, +0.08 y −0.10 mm, es decir, +0.6%, +0.4% y −0.5%.
2. Un cubo macizo pesa 9.9 g ≈ 3.32 m de filamento de 1.75 mm; los valores del laminador con poco relleno serán mucho menores.

> **Seguridad**
>
> - Las boquillas y camas de impresora están calientes (a menudo 200 °C+ y 60 °C): no las toques durante la impresión ni justo después.
> - Imprime en una sala ventilada y sigue las normas de la impresora y del makerspace.

**Alternativa en casa o virtual**

- Sirve una impresora de biblioteca o makerspace; o haz solo la parte del laminador.

NIST: Additive manufacturing (https://www.nist.gov/additive-manufacturing)

**Vínculo con el planeta:** Poco relleno y una buena orientación reducen el uso de plástico y las impresiones fallidas. EPA: Plastics, material-specific data (https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data)

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

## Práctica D: estudio de aligeramiento

SEMANA 14

**Objetivo:** Comparar secciones de viga por masa y rigidez en CAD y a mano, y luego estimar cuánto vale aligerar un coche.

$$I_{tube} = \frac{B^4 - b^4}{12}$$

```
I_tube=(B^4-b^4)/(12)
```

Momento de inercia de área de un tubo cuadrado

### Procedimiento

1. Modela vigas de 500 mm: una barra maciza de 20 × 20 mm y tubos de 25 × 25 mm con paredes de 2 mm y 1.5 mm.
2. Lee en el CAD la masa de cada viga (acero, 7.85 g/cm³) y las propiedades de la sección.
3. Calcula I a mano y compara.
4. Usa la regla del 6–8% del DOE y la cifra de $CO_2$ de la EPA para estimar el ahorro anual del coche de la unidad 9.

### Tabla de datos

| Sección | Área (mm²) | I (mm⁴) | Masa, acero de 500 mm (g) |
|---|---|---|---|
| Maciza 20 × 20 | 400 | 13,333 | 1,570 |
| Tubo 25 × 25 × 2 | 184 | 16,345 | 722 |
| Tubo 25 × 25 × 1.5 | 141 | 13,031 | 553 |

*Valores calculados.*

### Cálculo de ejemplo

1. El tubo de 1.5 mm queda a un 2% aproximado de la rigidez de la barra maciza (13031 frente a 13333 mm⁴) con el 35% de la masa.
2. Masa = área × 500 mm × 7.85 g/cm³: 400 mm² → 1570 g.

> **Seguridad**
>
> - Ninguna más allá del uso normal de una computadora.

### Alternativa en casa o virtual

- Basta con una hoja de cálculo y un CAD.

U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks)

**Vínculo con el planeta:** DOE: un vehículo un 10% más ligero puede mejorar un 6–8% su rendimiento de combustible. U.S. DOE: Lightweight materials for cars and trucks (https://www.energy.gov/eere/vehicles/lightweight-materials-cars-and-trucks) · EPA: Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle (https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle)

- [ ] **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. A 1:5, ¿cuánto mide en el papel una viga de 1200 mm?

    1. 1,200/5.

    **Respuesta:** 240 mm.

2. Halla la longitud real de una arista de (0, 0, 0) a (20, 20, 10).

    1. √(400 + 400 + 100).

    **Respuesta:** 30 mm.

3. Un agujero está desviado 0.04 en x y 0.03 en y. ¿Error de posición?

    1. 2√(0.0016 + 0.0009).

    **Respuesta:** Ø0.10.

4. Agujero 25.000–25.021, eje 24.980–24.993. ¿Rango de holgura?

    1. 25.000 − 24.993; 25.021 − 24.980.

    **Respuesta:** 0.007–0.041 mm.

5. Cadena 20 ± 0.10, 30 ± 0.05, 10 ± 0.05: ¿peor caso y RSS?

    1. 0.20; √0.015.

    **Respuesta:** ± 0.20 y ± 0.12 mm.

## Serie de práctica final (todas las unidades)

1. ¿Masa de una placa de aluminio de 100 × 60 × 5 mm con cuatro agujeros Ø6?

    1. V = 29,434.5 mm³; × 2.70 g/cm³.

    **Respuesta:** ≈ 79.5 g.

2. ¿Movilidad de un mecanismo plano con 5 eslabones y 5 articulaciones?

    1. 3(4) − 10.

    **Respuesta:** 2.

3. ¿Longitud de filamento para una impresión de PLA de 10 g (1.75 mm)?

    1. 10 × 33.5 cm.

    **Respuesta:** ≈ 3.35 m.

4. Compara I de una barra maciza de 20 × 20 y un tubo de 25 × 25 × 2.

    1. 13,333 vs 16,345 mm⁴.

    **Respuesta:** El tubo es un 23% más rígido con un 54% menos de material.

5. Un coche ahorra 72 L de gasolina al año. ¿$CO_2$ ahorrado?

    1. 72 × 2.35.

    **Respuesta:** ≈ 169 kg.

# Hoja de fórmulas

$$\text{scale} = \text{drawing}/\text{real}$$

$$k_{iso} = \sqrt{2/3} \approx 0.816$$

$$L = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$A_{true} = A_{proj} / \cos\theta$$

$$\varnothing_{pos} = 2\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$t_{allowed} = t_{MMC} + |d - d_{MMC}|$$

$$c_{\min} = H_{\min} - s_{\max},\ c_{\max} = H_{\max} - s_{\min}$$

$$T_{wc} = \sum t_i,\ T_{RSS} = \sqrt{\sum t_i^2}$$

$$m = \rho V$$

$$V = 2\pi \bar{r} A$$

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2$$

$$\ell = m/(\rho \pi r^2)$$

$$t \approx V/(whv)$$

$$I = bh^3/12$$

$$I_{tube} = (B^4 - b^4)/12$$

$$\mathrm{CO_2} \approx 2.35\ \mathrm{kg\ per\ L\ gasoline}$$

### Constantes

| Constante | Valor |
|---|---|
| Escorzo isométrico | √(2/3) ≈ 0.816 |
| Ángulos de los ejes isométricos | A 120° entre sí (30° respecto a la horizontal) |
| Proporción de los formatos ISO serie A | √2 ≈ 1.414 |
| Hoja A4 | 210 × 297 mm |
| Densidad del PLA (típica) | 1.24 g/cm³ |
| Diámetro de filamento habitual | 1.75 mm |
| Tolerancia IT7, tamaños de 18–30 mm | 21 µm |
| Tolerancia IT6, tamaños de 18–30 mm | 13 µm |

Fuente: ISO 286-1: ISO code system for tolerances and fits (https://www.iso.org/standard/45975.html)

## Herramientas y referencias gratuitas

Usa estas herramientas gratuitas junto con el curso.

- Onshape Free plan (https://www.onshape.com/en/products/free): CAD profesional en el navegador, gratuito para proyectos públicos no comerciales.
- Onshape Learning Center (https://learn.onshape.com/): Cursos gratuitos de Onshape a tu ritmo.
- FreeCAD (gratuito, de código abierto) (https://www.freecad.org/): CAD paramétrico gratuito y de código abierto para Windows, Mac y Linux.
- FreeCAD wiki: Getting started (https://wiki.freecad.org/Getting_started): La guía oficial de FreeCAD para principiantes.
- MIT OpenCourseWare 2.007: Design and Manufacturing I (https://ocw.mit.edu/courses/2-007-design-and-manufacturing-i-spring-2009/): El curso de diseño y fabricación del MIT.

## Glosario

**Vista auxiliar**
Vista proyectada paralela a una superficie inclinada.

**Lista de materiales**
Lista de piezas y cantidades de un ensamblaje.

**Ajuste con holgura**
Ajuste que siempre deja holgura.

**Referencia**
Elemento de referencia exacto para medir.

**Diseño para el ensamblaje**
Diseñar piezas fáciles de unir.

**Intención de diseño**
Cómo debe comportarse un modelo al cambiarlo.

**Marco de control**
Marco de control de GD&T.

**GD&T**
Dimensionamiento y tolerado geométrico.

**Relleno**
Porcentaje de relleno interno de una impresión 3D.

**Ajuste con apriete**
Ajuste con solape garantizado.

**Isométrica**
Vista pictórica con ejes a 120° entre sí.

**Aligeramiento**
Reducir masa manteniendo la función.

**MMC**
Condición de máximo material.

**Proyección ortográfica**
Dibujo de vistas múltiples con proyectantes perpendiculares.

**Modelo paramétrico**
Modelo CAD controlado por cotas y operaciones editables.

**Cadena de tolerancias RSS**
Suma estadística de tolerancias $\sqrt{\Sigma t^2}$.

**Momento de inercia de área**
Propiedad geométrica I que fija la rigidez a flexión.

**Vista en corte**
Vista de un corte imaginario.

**Proyección del tercer diedro**
Convención de EE. UU.: vista superior encima de la frontal.

**Cajetín**
Zona de información del plano.

# 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 | Los planos y modelos son completos, inequívocos y captan la intención de diseño; las decisiones se justifican con números. |
| 3 · Competente | Trabajo correcto con omisiones ocasionales. |
| 2 · En desarrollo | Sigue tutoriales, pero los planos están incompletos o los modelos se rompen al editarlos. |
| 1 · Inicial | Vistas desalineadas o cotas que faltan; repasa la unidad. |

### Ponderación sugerida si quieres una nota

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

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

# Cursos relacionados

- Introducción a la ingeniería aeroespacial AERO 101
- Introducción a la programación ENGR 130
- Química General I + Laboratorio CHEM 110 + CHEM 110L
- Todos los cursos