

Unidad 7: Estructuras

Tecnología e Ingeniería II - 2º Bachillerato

José Luis García Jiménez

10/01/2026

Índice de contenidos

Introducción	4
Contenidos de la unidad	4
1 Descripción y elementos de estructuras sencillas	5
1.1 Conceptos básicos sobre las estructuras	5
Cargas	5
Reacciones	5
Esfuerzos	5
Condiciones a cumplir por las estructuras	6
1.2 Elementos resistentes en edificación	7
Cimientos o cimentación	7
Soportes	7
Muros de carga o portantes	7
Vigas	7
Cerchas	7
Forjados	7
Tirantes	9
Arcos, bóvedas y cúpulas	10
Dinteles	10
1.3 Elementos resistentes en maquinaria	10
Chasis y Bastidor	10
Bancada	10
2 Cargas. Tipos de apoyos y uniones	12
2.1 Cargas aplicadas y reacciones	12
2.2 Tipos de apoyos y restricciones	12
Apoyo Deslizante	13
Apoyo Fijo (Articulado)	13
Empotramiento	13
Resumen de reacciones en apoyos	13
2.2.1 Ejemplos reales	13
3 Cálculos básicos en estructuras	15
3.1 Centro de gravedad	15
3.1.1 Ejercicio propuesto	17
3.2 Componentes vectoriales de una fuerza	17
3.3 Fuerza resultante	18
3.4 Momento de una fuerza	20
3.5 Condiciones de equilibrio	20
4 Cálculo de esfuerzos en vigas	23
4.1 Cálculo de esfuerzos en vigas. Diagramas de esfuerzos	23
4.2 Ejemplo 1: carga puntual	23
4.3 Ejemplo 2: carga uniformemente repartida	23

4.4	Ejemplo 3: empotramiento con carga uniformemente repartida	23
4.5	Otros ejemplos	23
5	Estructuras de barras articuladas	24
5.1	Cálculo de esfuerzos en estructuras de barras articuladas	24
5.2	Método de los nudos	24
5.3	Método de las secciones (Ritter)	24
5.4	Método gráfico de Cremona	24

Introducción

En esta unidad de **Tecnología e Ingeniería II**, veremos desde los conceptos básicos de cargas y apoyos hasta el cálculo de estructuras articuladas y vigas.

Contenidos de la unidad

A continuación se detallan las secciones que componen esta unidad:

1. **Descripción y elementos de estructuras sencillas:** Una visión general sobre la función de las estructuras.
2. **Cargas. Tipos de apoyos y uniones:** Clasificación de las fuerzas externas a las estructuras.
3. **Cálculos básicos en estructuras:** Aplicación de los principios fundamentales.
4. **Cálculo de esfuerzos en vigas:** Análisis del comportamiento de vigas sometidas a flexión, axil y cortante.
5. **Cálculo de esfuerzos en estructuras de barras articuladas:** Resolución de celosías mediante métodos analíticos y gráficos.

Última actualización: 10/01/2026

1 Descripción y elementos de estructuras sencillas

1.1 Conceptos básicos sobre las estructuras

Definición

Las estructuras son conjuntos de elementos unidos entre sí capaces de soportar las fuerzas que actúan sobre ellas, conservando su forma.

Recordamos algunos conceptos básicos sobre las estructuras, que utilizaremos en esta unidad.

Cargas

Las **fuerzas** que actúan sobre las estructuras se denominan **cargas o acciones**.

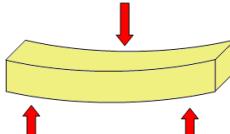
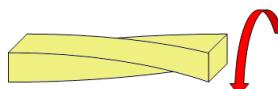
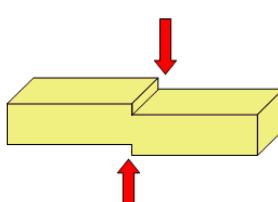
Reacciones

Para mantenerse en equilibrio con las fuerzas que actúan sobre ellas, las estructuras, según el principio físico de acción y reacción, tienen que contraponer otras fuerzas iguales y de sentido contrario. **Al conjunto de fuerzas con las que las estructuras reaccionan ante las cargas se las denomina reacciones.** Las fuerzas de reacción se ejercen en los puntos por donde las estructuras están sujetas (apoyos), o bien por donde se unen los diferentes elementos de las mismas (uniones).

Esfuerzos

Al aplicar cargas sobre una estructura, aparecen unas **tensiones o fuerzas internas** en los elementos de la estructura que se denominan esfuerzos. Los diferentes esfuerzos que puede soportar una estructura son los siguientes:

Esfuerzo	Efecto y Descripción	Esquema	Ejemplos
Tracción	Estirar. Dos fuerzas opuestas tiran del elemento para alargarlo.		Cadenas de columpio, cables de grúa.

Esfuerzo	Efecto y Descripción	Esquema	Ejemplos
Compresión	Comprimir. Dos fuerzas opuestas aplastan el elemento para acortarlo.		Patas de silla, columnas, pilares.
Flexión	Doblar. Las fuerzas tienden a curvar el elemento.		Tablero de mesa, vigas de suelo, estanterías.
Torsión	Retorcer. Las fuerzas giran en sentidos opuestos sobre el eje.		Eje de destornillador, llave al girar, grifos.
Cortante	Cortar/Cizallar. Dos fuerzas paralelas y opuestas muy próximas.		Tijeras, guillotina, sujeción de cuadros.

Condiciones a cumplir por las estructuras

A las estructuras se les exige **soportar cargas, mantener la forma, proteger** partes delicadas, ser **ligeras** y sobre todo, ser **estables**.

Para ello, toda estructura tiene que cumplir las siguientes condiciones:

- **Estabilidad:** Para que la estructura se mantenga erguida y no vuelque, **su centro de gravedad tiene que estar dentro de su base** y lo más cercano al suelo posible. Para conseguirlo a veces se tiene que recurrir a acciones como ampliar la base, poner tirantes o empotrar su base inferior al suelo.
- **Resistencia:** Tienen que ser capaces de **soportar las distintas cargas sin romperse**, esto depende de la forma de la estructura y del tipo y de la cantidad de material con que se ha construido.
- **Rigidez:** La **deformación** de los elementos no puede ser grande.

Importante: Triangulación

Esto se consigue cuando la forma de las estructuras es adecuada, soldando las uniones para reforzarlas y con triangulaciones, ya que **el triángulo es el único polígono indeformable**. Es por ello que son las formas más empleadas en las estructuras.

Las diagonales usadas para triangular se llaman **arriostramientos**.

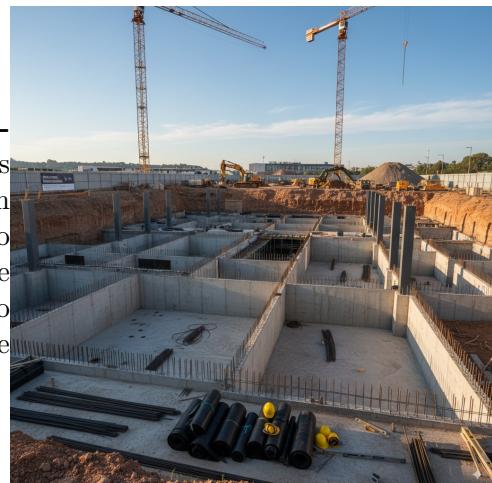
Aún así, toda estructura tiene que tener cierto grado de flexibilidad, ya que tienen que ser capaces de soportar las variaciones debidas a la dilatación y a la contracción de materiales, así como de absorber vibraciones y movimientos sísmicos.

1.2 Elementos resistentes en edificación

Las estructuras de edificación se componen de lo que denominamos elementos resistentes, que se pueden clasificar en:

Cimientos o cimentación

Conjunto de elementos estructurales cuya misión es **transmitir las cargas** de la edificación o de elementos apoyados en éste **al suelo**, distribuyéndolas de forma que no superen una serie de valores máximos del terreno de apoyo. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será mucho más grande que los elementos soportados (zapatas).



(a) Cimientos

Soportes

Muros de carga o portantes

Vigas

Cerchas

Forjados

Se denomina forjado al **elemento estructural, horizontal o inclinado** (en cubiertas), que **soporta su propio peso y las sobrecargas de uso**, tabiquería, dinámicas, etc. Transmite cargas verticales y horizontales, aportando rigidez.

Elementos **verticales** que soportan fundamentalmente esfuerzos de **compresión**, aunque también parte de cortante y, sobre todo, en los elementos más esbeltos, **pandeo**.

- **Pilares**: son habitualmente de hormigón armado, normalmente ejecutados “in situ” (encofrado). También pueden ser de acero.
- **Pie derecho**: soporte de **madera**.
- **Columna**: soporte de **sección circular**.



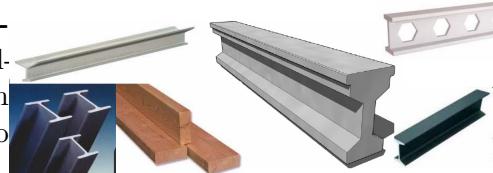
(a) Pilares

Se trata de **paredes** de una edificación que poseen función estructural, es decir, aquellas que **soportan otros elementos** estructurales del edificio, como arcos, bóvedas, vigas o viguetas de forjados o de la cubierta. Soportan fundamentalmente esfuerzos **axiles de compresión**. Cuando soportan cargas horizontales (presiones del terreno) se denominan **muros de contención**.



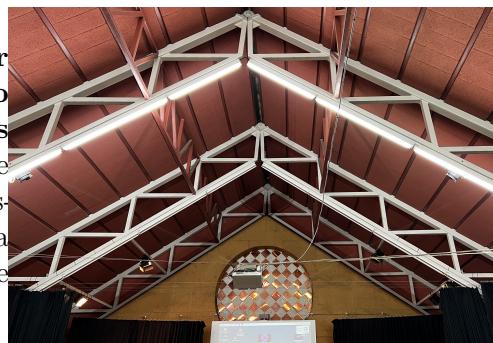
(a) Muros de carga

Elemento estructural que normalmente se coloca en **posición horizontal** destinado a soportar esfuerzos principalmente de **flexión** y de **cortante**. Las vigas que forman parte de un forjado se denominan **viguetas**. El conjunto vigas-pilares forma lo que denominan **pórticos**.



(a) Tipos de vigas

Una cercha es una **celosía**, una **estructura reticular** de **barras rectas** interconectadas en nodos formando **triángulos planos** (en celosías planas) o **pirámides tridimensionales** (en celosías espaciales). También se les conoce como **armaduras**. El interés de este tipo de estructuras es que las barras trabajan predominantemente a **compresión y tracción**, presentando comparativamente flexiones pequeñas.



(a) Cercha

Un tipo muy habitual es el forjado de viguetas y bovedillas, cuya construcción se detalla en el recurso adjunto.

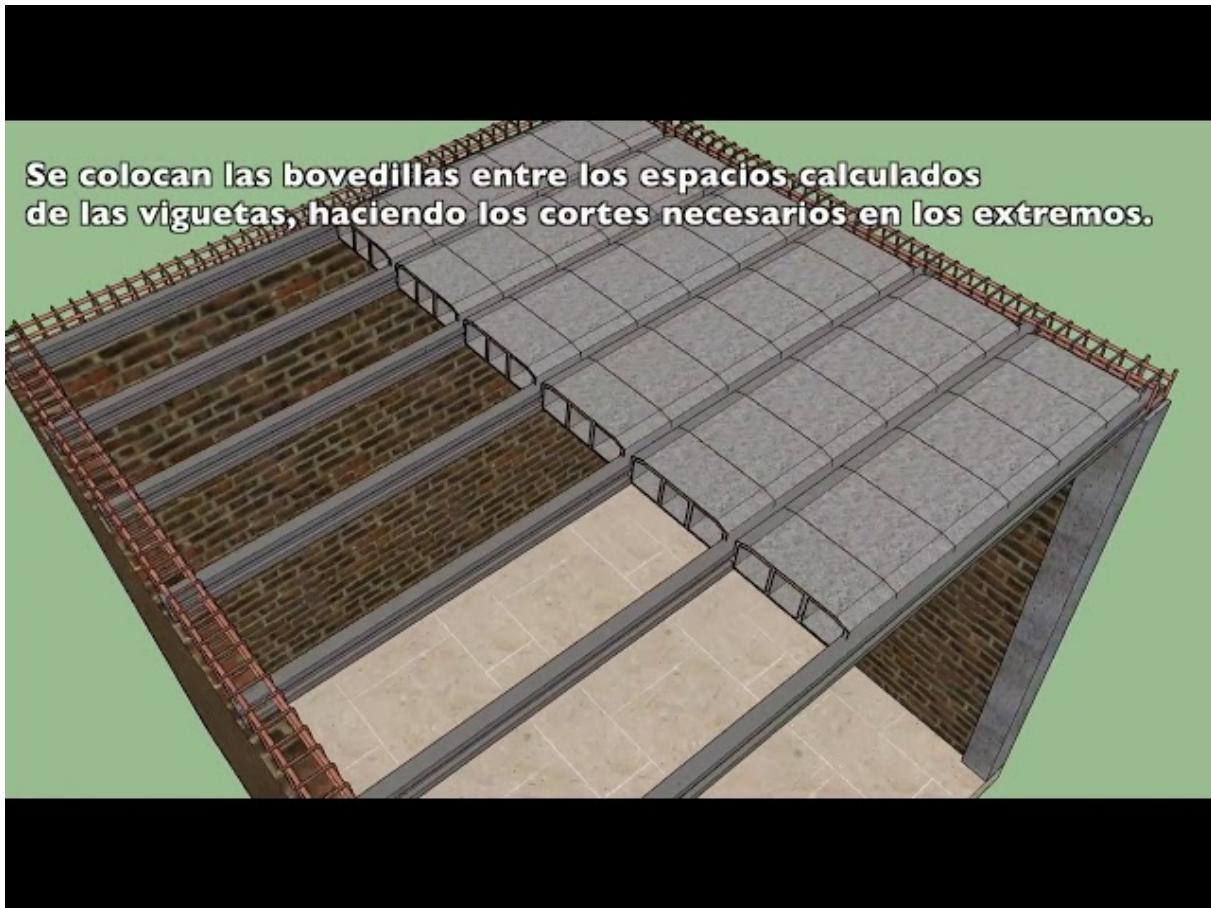
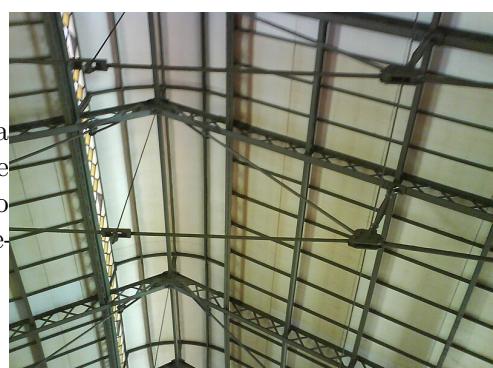


Figure 1.6: Ver vídeo: Construcción de forjado

([Click para ver vídeo](#))

Tirantes

Se usan para unir dos elementos de una estructura o una estructura al terreno. Su principal característica es que trabajan **siempre a tracción** y no soportan ningún otro esfuerzo. Se fabrican habitualmente de acero, dada su excelente resistencia a la tracción.



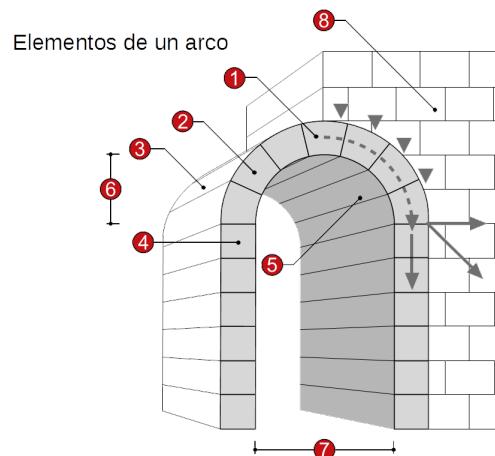
(a) Tirantes (Mercado del Val)

Arcos, bóvedas y cúpulas

Arco: Elemento curvo que salva el espacio entre dos pilares. Trabaja predominantemente a **compresión**, transmitiendo cargas oblicuas (empuje) a los apoyos.

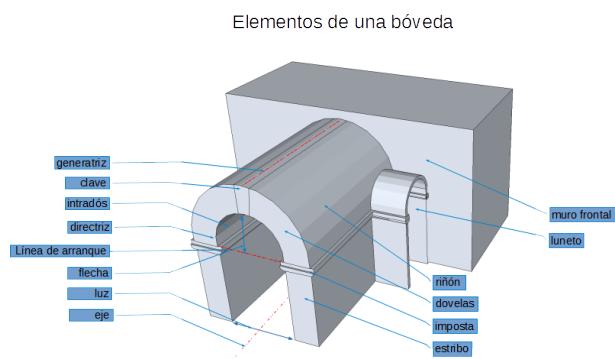
Bóveda: Elemento **superficial** generado por el **movimiento de un arco** a lo largo de un eje. Cubre espacios entre muros o pilares trabajando a **compresión**.

Cúpula: Elemento para **cubrir un espacio** circular o poligonal mediante arcos rotados respecto a un punto central. Los esfuerzos son de **tracción** en los **paralelos** y de **compresión** en los **meridianos**.



1. Clave 2. Dovela 3. Trasdós 4. Imposta 5. Intradós 6. Flecha 7. Luz, Vano 8. Contrafuerte.

(a) Elementos del arco



(a) Elementos de la bóveda

Dinteles

Es el **elemento superior que permite crear vanos en los muros** para conformar puertas y ventanas. La construcción que utiliza dinteles se llama **adintelada**. A diferencia de los arcos, trabaja fundamentalmente a **flexión**, por lo que requiere materiales resistentes a la tracción.



(a) Dintel de piedra (Año 1780)

1.3 Elementos resistentes en maquinaria

Chasis y Bastidor

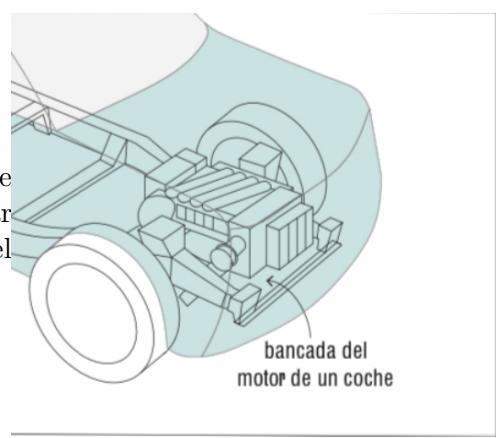
Bancada

El **chasis** es el **armazón metálico** que soporta los elementos de un vehículo (motor, carrocería). El **bastidor** es la parte más importante del chasis. Es una estructura compuesta por largueros y travesaños donde se fijan los elementos mecánicos. En los turismos modernos ha sido sustituido por **carrocerías monocasco**, integrando bastidor y carrocería en una única estructura.



(a) Chasis rodante

Es la estructura de una máquina herramienta, sobre la que se construye ésta. Sus principales funciones son soportar vibraciones y movimientos, mantener la precisión en el mecanizado de piezas y alojar los mecanismos.



(a) Bancada

2 Cargas. Tipos de apoyos y uniones

2.1 Cargas aplicadas y reacciones

Las **fuerzas** que actúan sobre la estructura se llaman **cargas estructurales** y son causantes de **esfuerzos, deformaciones y desplazamientos**. Todas tienen que ser incluidas en el cálculo estructural.

- **Tipos:** Las cargas pueden ser **fijas** (como el peso propio) o **variables** (como el viento).
- **Unidades:** Se miden en **newtons (N)** en el Sistema Internacional.
- **Distribución:** Pueden ser **puntuales** (un punto), **distribuidas** (sobre una longitud) o **momentos** (giros en una sección).

Para mantener el equilibrio estático, es necesario que se produzcan **reacciones**. La viga no está aislada, sino sujeta a otros elementos que generan una reacción opuesta a las cargas.

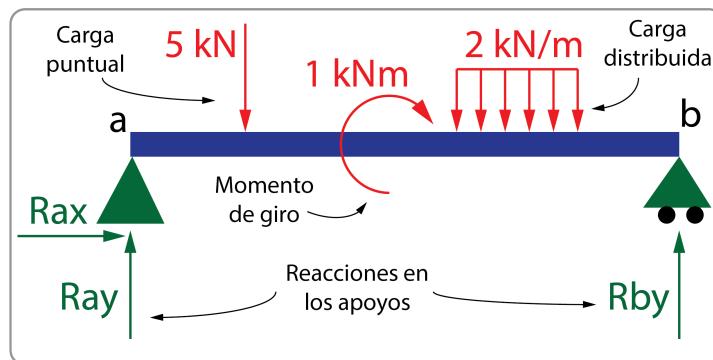


Figure 2.1: Esquema de cargas y reacciones

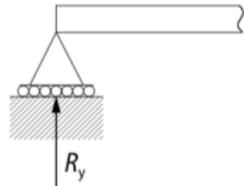
2.2 Tipos de apoyos y restricciones

El valor de las reacciones depende de las cargas y de las **restricciones** de la viga. No es lo mismo un apoyo simple que un empotramiento. Las **limitaciones de movimiento** que introducen los **apoyos** definen estas restricciones.

Para el cálculo de vigas identificamos tres tipos principales:

Apoyo Deslizante

Permite la rotación y el movimiento en una dirección (generalmente horizontal).

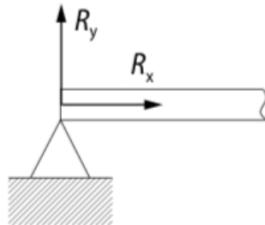


(a) Apoyo Deslizante

- Reacción (R_y):** Aparece solo una fuerza vertical, ya que se impide la translación vertical.
- Momento:** No hay, la rotación está permitida.

Apoyo Fijo (Articulado)

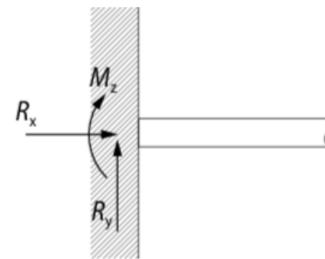
Permite la rotación pero impide movimiento en una dirección (cualquier traslación).



(a) Apoyo Fijo

Empotramiento

Impide cualquier movimiento (traslación o rotación).



(a) Empotramiento

- Reacciones (R_x, R_y):** Aparecen fuerzas en ambos ejes, ya que se impide la translación en cualquier dirección.
- Momento:** No hay, la rotación está permitida.

- Reacciones (R_x, R_y):** Aparecen fuerzas en ambos ejes.
- Momento (M_z):** Aparece un momento de reacción ya que se impide la rotación.

Resumen de reacciones en apoyos

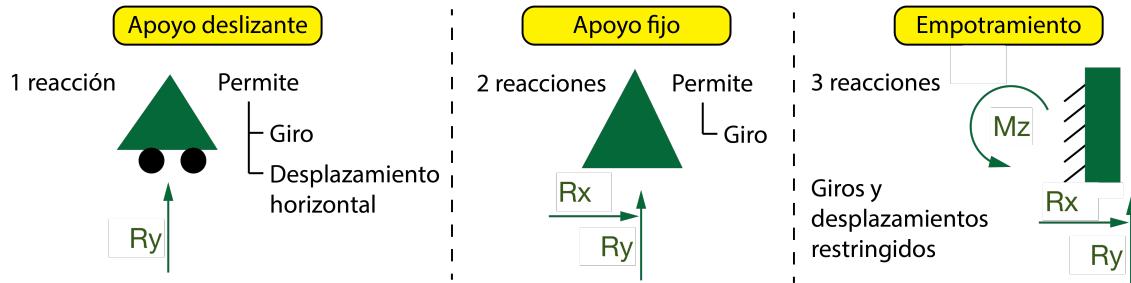


Figure 2.5: Tabla resumen de apoyos

2.2.1 Ejemplos reales

En el siguiente vídeo puedes ver ejemplos en el mundo real de estos tipos de apoyos:

¿Cómo se ve un apoyo en la vida real?

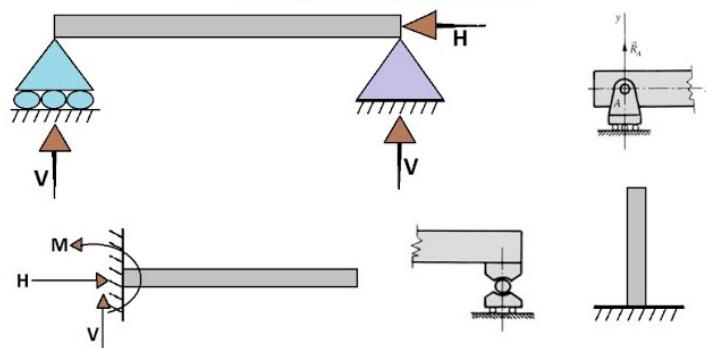


Figure 2.6: Ver vídeo: Tipos de apoyos

(Click para ver vídeo)

3 Cálculos básicos en estructuras

El análisis estructural es un proceso importante en ingeniería. Las estructuras deben conseguir que las construcciones se sostengan y perduren en el tiempo, es decir, que tengan **estabilidad** y **resistencia**.

En el diseño de las estructuras es necesario realizar cálculos para garantizar esa estabilidad y resistencia, que podemos simplificar así:

1. Cálculo de la **dimensión** de la estructura para que cumpla su función, analizando las fuerzas que van a actuar sobre ella.
2. Cálculo de la **estabilidad** estructura, de forma que no se sobrepasen ciertos esfuerzos máximos en sus elementos.

Antes de calcular directamente esfuerzos producidos en elementos resistentes, comenzaremos familiarizándonos con algunos conceptos físicos y cálculos sencillos que son de aplicación directa en las estructuras.

3.1 Centro de gravedad

El concepto del **centro de gravedad** es fundamental en el diseño de estructuras, en la física, en la ingeniería, y en muchas otras disciplinas que dependen del equilibrio y la estabilidad de los cuerpos.

El centro de gravedad de un cuerpo es el punto en el cual **se puede considerar que está concentrado todo su peso o masa**, en términos de cómo la gravedad actúa sobre él. En otras palabras, es el punto en el que las fuerzas de gravedad que actúan sobre cada una de las partículas que componen el cuerpo se equilibran y suman, permitiendo que **el objeto se comporte como si todo su peso estuviera concentrado en ese lugar**.

Características del centro de gravedad:

1. **Equilibrio:** si un cuerpo se sostiene en su centro de gravedad, este se mantendrá en equilibrio sin inclinarse hacia ningún lado.
2. **Distribución de masa:** la ubicación del centro de gravedad depende de cómo esté distribuida la masa del objeto. En objetos **homogéneos** (con distribución uniforme de masa), el centro de gravedad suele coincidir con el **centro geométrico** del objeto.
3. **Posición del centro de gravedad:** El centro de gravedad no siempre está dentro del objeto; puede encontrarse fuera del cuerpo, dependiendo de la forma y distribución de su masa. Por ejemplo, en un aro o un anillo, el centro de gravedad está en el centro del espacio vacío.

En un objeto **irregular**, como una silla, el centro de gravedad estará en algún punto dependiendo de cómo esté distribuida su masa, que puede no coincidir con su centro geométrico. Para calcular el centro de gravedad en estos casos, hay que **descomponer el cuerpo en objetos más pequeños** que sí sean homogéneos, y calcular el centro de gravedad así:

Fórmulas del Centro de Gravedad

$$X_G = \frac{\sum m_i \cdot X_i}{M} ; \quad Y_G = \frac{\sum m_i \cdot Y_i}{M}$$

Donde:

- X_G, Y_G : coordenadas del centro de gravedad del cuerpo completo.
- m_i : masa del objeto “ i ”.
- X_i, Y_i : coordenadas del centro de gravedad del objeto “ i ”.
- M : masa total del cuerpo completo.

Si tenemos un cuerpo con orificios, podemos considerar estos como objetos de **masa negativa**, a efectos de calcular el centro de gravedad global.

Ejemplo de cálculo del centro de gravedad

Halla las coordenadas del centro de gravedad de la chapa cuadrada agujereada de la figura:

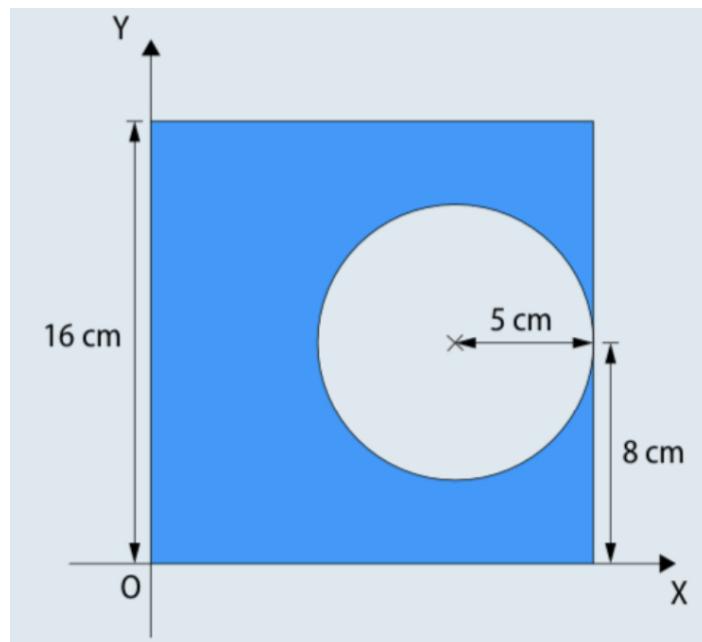


Figure 3.1: Chapa con orificio

Llamamos “ L ” a la longitud de los lados de la chapa ($L = 16$ cm) y “ r ” al radio del orificio ($r = 5$ cm).

Podemos calcular fácilmente los centros de gravedad de la chapa sin agujero y del propio agujero.

Por simetría, la posición de dichos CG es **el centro geométrico de cada una de esas figuras**:

- Chapa sin orificio (centro del cuadrado): $X_{CH} = L/2 = 8$ cm; $Y_{CH} = L/2 = 8$ cm.
- Orificio (centro del círculo): $X_O = L - r = 16 - 5 = 11$ cm; $Y_O = L/2 = 8$ cm.

La superficie de cada una de esas figuras es la siguiente:

- Chapa sin orificio: $S_{CH} = L \cdot L = 16 \cdot 16 = 256$ cm²
- Orificio: $S_O = -\pi \cdot r^2 = -\pi \cdot 5^2 = -78,54$ cm²

El orificio hay que quitárselo a la chapa, por eso hemos calculado su superficie con un **signo negativo**, para que vaya **restando** en la expresión final (sería como si lo considerásemos con masa o superficie **negativa**)

Así, combinando las dos figuras, la posición del centro de gravedad global será la siguiente:

$$X_G = \frac{\sum S_i \cdot X_i}{S} = \frac{S_{CH} \cdot X_{CH} + S_O \cdot X_O}{S_{CH} + S_O} = \frac{256 \cdot 8 - 78,54 \cdot 11}{256 - 78,54} = 6,67 \text{ cm}$$

$$Y_G = \frac{\sum S_i \cdot Y_i}{S} = \frac{S_{CH} \cdot Y_{CH} + S_O \cdot Y_O}{S_{CH} + S_O} = \frac{256 \cdot 8 - 78,54 \cdot 8}{256 - 78,54} = 8 \text{ cm}$$

3.1.1 Ejercicio propuesto

1. Dada la pieza siguiente, realizada en alambre de grosor homogéneo, calcula el radio de la forma circular que hará que el centro de masas del sistema esté justo en el punto de unión de la forma recta y la circular. (*Solución: $R = 22,71 \text{ cm}$*)

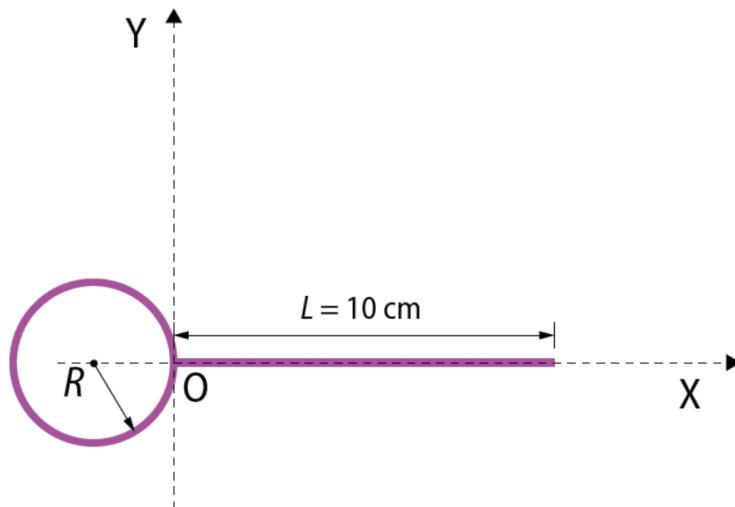


Figure 3.2: Ejercicio propuesto 1

3.2 Componentes vectoriales de una fuerza

Las fuerzas son magnitudes vectoriales definidos por: **Módulo**, **Punto de aplicación**, **Dirección** y **Sentido**.

Dada una fuerza F cuya dirección forma un ángulo α con el eje horizontal (X):

Ejemplo resuelto. Descomposición de fuerzas.

Una persona tira de una cuerda atada a una piedra con una fuerza de 400 N. Si el ángulo que forma la cuerda con la horizontal es de 40° , calcular:

- a. La fuerza que tiende a elevar la piedra
- b. La fuerza que tiende a arrastrar la piedra

Solución

Componentes rectangulares

$$F_X = F \cdot \cos \alpha$$

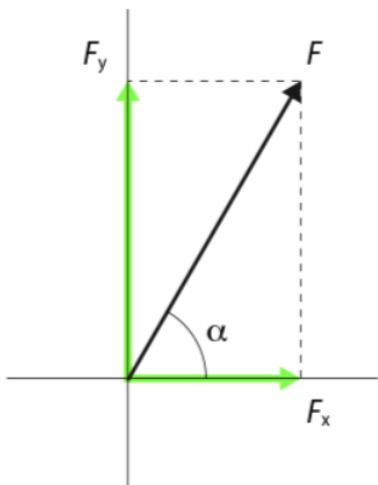
$$F_Y = F \cdot \sin \alpha$$

Expresión vectorial:

$$\vec{F} = F_X \cdot \vec{i} + F_Y \cdot \vec{j}$$

Cálculo inverso

- **Módulo:** $F = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2}$
- **Dirección:** $\tan \alpha = \frac{F_Y}{F_X}$



(a) Descomposición de fuerza

El vector de la fuerza aplicada con un ángulo $\alpha = 40^\circ$ se descompone en dos vectores de fuerza, uno horizontal F_X y otro vertical F_Y .

a. El vector de la fuerza vertical que tiende a **elevar** la piedra será:

$$F_Y = F \cdot \sin \alpha = 400 \cdot \sin 40^\circ = 247,12 \text{ N}$$

b. El vector de la fuerza horizontal que tiende a **arrastrar** la piedra será:

$$F_X = F \cdot \cos \alpha = 400 \cdot \cos 40^\circ = 306,42 \text{ N}$$

3.3 Fuerza resultante

Cuando dos o más fuerzas son concurrentes (actúan sobre el mismo punto), podemos sustituir el conjunto de fuerzas por una sola **fuerza resultante** cuya acción será equivalente a la del conjunto.

Para calcular el valor de la fuerza resultante, se descompone cada fuerza en sus componentes F_X , F_Y , y se suman. Desde el punto de vista vectorial:

Suma vectorial

$$\vec{F}_{RES} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

$$\vec{F}_{RES} = (F_{1X} + F_{2X} + \dots + F_{nX}) \cdot \vec{i} + (F_{1Y} + F_{2Y} + \dots + F_{nY}) \cdot \vec{j}$$

Ejemplo resuelto. Fuerza resultante.

Tenemos dos fuerzas que se aplican desde un mismo punto, una de valor 100 N y otra de 50 N y cuyas direcciones forman un ángulo entre sí de 60° .

- Calcula el **módulo** del vector de la fuerza resultante.
- Calcula el ángulo que forma la resultante con la primera fuerza.
- Realiza la representación vectorial del sistema.

Solución

Primero expresamos vectorialmente las dos fuerzas, suponiendo que la primera fuerza es horizontal (forma 0° con el eje X) y que, por tanto, la segunda fuerza forma 60° con el eje X (porque están a 60° entre sí):

$$\vec{F}_1 = F_{1X} \cdot \vec{i} + F_{1Y} \cdot \vec{j} = 100 \cdot \cos 0^\circ \cdot \vec{i} + 100 \cdot \sin 0^\circ \cdot \vec{j} = 100 \cdot \vec{i}$$

$$\vec{F}_2 = F_{2X} \cdot \vec{i} + F_{2Y} \cdot \vec{j} = 50 \cdot \cos 60^\circ \cdot \vec{i} + 50 \cdot \sin 60^\circ \cdot \vec{j} = 25 \cdot \vec{i} + 25\sqrt{3} \cdot \vec{j}$$

Calculamos la fuerza resultante sumando vectorialmente las fuerzas \vec{F}_1 y \vec{F}_2 :

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = (100 \cdot \vec{i}) + (25 \cdot \vec{i} + 25\sqrt{3} \cdot \vec{j}) = 125 \cdot \vec{i} + 25\sqrt{3} \cdot \vec{j}$$

- Módulo de la fuerza resultante

El módulo de la fuerza resultante se calcula ya directamente al tener el vector:

$$F = |\vec{F}| = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = \sqrt{(125^2 + (25\sqrt{3})^2)} = 132,29 \text{ N}$$

- Ángulo de la resultante con la primera fuerza.

Como la primera fuerza la hemos tomado en el eje X, el ángulo de la resultante con la primera fuerza es el ángulo de la resultante con el eje X. Por lo tanto, también lo podemos calcular directamente a partir del vector:

$$\varphi = \arctan \left(\frac{F_Y}{F_X} \right) = \arctan \left(\frac{25\sqrt{3}}{125} \right) = 19,11^\circ$$

- Representación vectorial

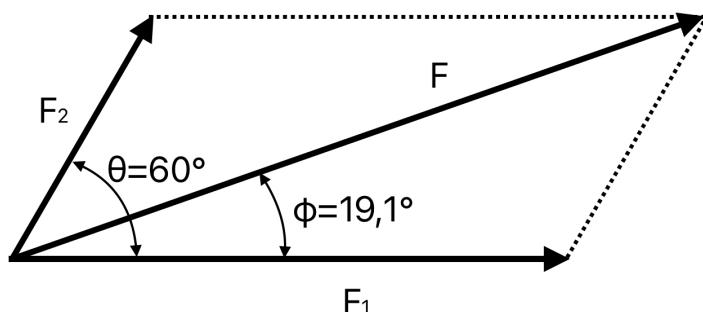


Figure 3.4: Representación vectorial

3.4 Momento de una fuerza

Consideramos que las fuerzas son concurrentes cuando su punto de aplicación es el centro de gravedad de una estructura, pero, si no lo son, el sistema de fuerzas da lugar a **momentos**. En este caso, **la estructura tiende a girar**.

Esto mismo ocurre cuando tenemos puntos de apoyo. Es decir, el momento de una fuerza provoca el giro del cuerpo sobre el que actúa.

Fórmula del Momento

El momento de una fuerza se calcula como el producto vectorial entre la fuerza aplicada y el vector distancia desde el punto de aplicación de la fuerza al eje de giro:

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{d}$$

En el Sistema Internacional, el momento se mide en **newtons-metro (N · m)**.

3.5 Condiciones de equilibrio

Para que un sólido se encuentre en equilibrio, deben darse dos condiciones fundamentales:

- El sólido no debe **trasladarse** en ninguna dirección, por lo que la **fuerza resultante** de todas las fuerzas que actúen sobre él debe ser **nula**:

$$\sum \vec{F}_i = 0$$

- El sólido no debe **girar** en ningún eje, por lo que el **momento resultante** de todos los momentos que actúen sobre él debe ser **nulo**:

$$\sum \vec{M}_i = 0$$

Estas condiciones pueden establecerse para cada uno de los tres ejes principales del espacio (x, y, z), por lo que tendríamos **6 ecuaciones de equilibrio** de un sólido (tres con las fuerzas y tres con los momentos).



4 Cálculo de esfuerzos en vigas

4.1 Cálculo de esfuerzos en vigas. Diagramas de esfuerzos

Introducción al tema de vigas...

4.2 Ejemplo 1: carga puntual

Desarrollo del ejemplo...

4.3 Ejemplo 2: carga uniformemente repartida

Desarrollo del ejemplo...

4.4 Ejemplo 3: empotramiento con carga uniformemente repartida

Desarrollo del ejemplo...

4.5 Otros ejemplos

Más casos prácticos...

5 Estructuras de barras articuladas

5.1 Cálculo de esfuerzos en estructuras de barras articuladas

Introducción a las cerchas y barras...

5.2 Método de los nudos

Explicación del método...

5.3 Método de las secciones (Ritter)

Explicación del método...

5.4 Método gráfico de Cremona

Explicación del método...