

5

ESTRUCTURAS

Las estructuras forman parte indisoluble de los proyectos de tecnología, por lo que es importante comenzar la unidad resaltando este hecho. Para ello explicamos un caso real de colapso de una estructura de un puente por su mal diseño y cálculo frente al viento. Así, antes de afrontar el reto que se plantea en la unidad, el alumno puede observar un caso real donde las estructuras toman un papel fundamental.

A lo largo de la unidad se explica que sobre cualquier cuerpo actúan diversas fuerzas y que estas producen deformación o alteran el estado de movimiento o reposo de dicho cuerpo, y que lo que evita que se deforme es su estructura. Se habla de los distintos esfuerzos que experimentan los cuerpos cuando son sometidos a la acción de una o varias fuerzas, y se hace un recorrido por las distintas estructuras artificiales que a lo largo de la historia de la humanidad se han utilizado, sin omitir las que aún siguen empleándose por sus propiedades de sujeción, resistencia y capacidad de no deformarse; también se abordan los distintos elementos que componen estas estructuras y los esfuerzos que soportan cada uno de ellos.

Esta unidad tiene como **proyecto guía** el diseño, construcción y verificación de un puente de papel y cartón. Esta tarea se adecua a los objetivos y criterios de evaluación requeridos y permite introducir progresivamente los contenidos bajo un hilo conductor que además sirve al alumnado como estímulo para el aprendizaje.

El planteamiento de la tarea se debe hacer al comienzo de la unidad, para avanzar conjuntamente en el desarrollo de la misma, así como en sus contenidos teóricos y prácticos. La secuenciación de las distintas fases de la tarea está indicada en el libro del alumno mediante un icono propio de la tarea guía.

La tarea contribuye también al desarrollo de las **competencias clave**, puesto que incide en el desarrollo de soluciones técnicas de manera autónoma, el análisis del proceso de construcción mediante la verificación de los resultados y la competencia digital con la elaboración de un vídeo explicativo, que a su vez trabaja la competencia en comunicación lingüística. La tarea guía engloba, por tanto, tareas menores o actividades que cubren distintas competencias según se recoge en el cuadro de la derecha:

COMPETENCIA	ACTIVIDADES DE LA TAREA GUÍA
1. Comunicación lingüística (CL)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Descripción oral de las características del puente y su modo de funcionamiento, empleando el vocabulario técnico adquirido en la Unidad.
2. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Comprensión y cálculo de las condiciones iniciales del puente y su maqueta. ■ Manejo de planos y escalas para diseñar el puente. ■ Empleo de los conocimientos adquiridos en el diseño del puente.
3. Competencia digital (CD)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manejo de un programa de ensayos virtuales de estructuras. ■ Elaboración del vídeo de presentación del puente.
4. Aprender a aprender (AA)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Diseño de soluciones incorporando conocimientos adquiridos. ■ Aprendizaje por ensayo error al comprobar la resistencia del puente.
5. Competencias sociales y cívicas (CSC)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Toma de decisiones en grupo sobre el diseño y la planificación de la construcción del puente.
6. Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIEE)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Innovación en el diseño de una solución propia.
7. Conciencia y expresiones culturales (CEC)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Empleo del conocimiento histórico de estructuras para el diseño de la solución.

Objetivos

Los objetivos que los alumnos tienen que alcanzar son:

- Analizar estructuras resistentes sencillas, identificando los elementos que la componen y las cargas y esfuerzos a los que están sometidos estos últimos.
- Utilizar elementos estructurales de manera apropiada en la confección de pequeñas estructuras que resuelvan problemas concretos.
- Valorar la importancia de la forma y el material en la composición de las estructuras, así como su relación con la evolución de los modelos estructurales a través de la historia.

ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD

Con el fin de atender a los distintos ritmos de aprendizaje de los alumnos, se proponen algunas actividades de refuerzo y de ampliación que podrán utilizarse como alternativa o complemento a las que figuran en el libro del alumno. También existen actividades diferenciadas a modo de fichas de trabajo que pueden servir como adaptación curricular para los casos que fuera necesario.

Se establecen fichas de **adaptación curricular** para los siguientes contenidos:

1. Estructuras
2. Fuerzas y cargas
3. Esfuerzos
4. Estructuras artificiales
5. Condiciones de una estructura
6. Elementos estructurales
7. Análisis de estructuras

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación actividades LA	Competencias clave
Fuerzas y estructuras ■ Estructuras naturales y artificiales Tipos de estructuras: masivas, adinteladas, abovedadas, entramadas, trianguladas, colgantes, neumáticas, laminares y geodésicas.	1. Reconocer tipologías estructurales, sus características, ventajas e inconvenientes.	1.1. Distingue entre estructuras naturales y artificiales.	3, 2	CMCT
		1.2. Reconoce la estructura resistente dentro de edificaciones, objetos y cuerpos cotidianos..	1, 4	CSC CMCT
		1.3. Describe las características propias de los distintos tipos de estructuras, sus ventajas e inconvenientes.	5	CL CMCT
		1.4. Reconoce tipologías estructurales básicas en objetos y construcciones comunes.	14, 15, 22 AF: 13	CMCT
Definición de carga: cargas fijas y variables. ■ Concepto de tensión interna y de esfuerzo. Tipos principales de esfuerzos: tracción, compresión, flexión, torsión y cortante.	3. Analizar cómo actúan las cargas sobre una estructura, identificando y describiendo los esfuerzos a los que está sometida.	3.1. Conoce la interrelación entre fuerzas, cargas, esfuerzos y deformación en las estructuras.	6, 7, AF: 1	CMCT
		3.2. Comprende la diferencia entre los distintos tipos de esfuerzo existentes.	8 AF: 3, 4	CMCT
		3.3. Asocia los distintos tipos de esfuerzos a las fuerzas que los provocan y a las deformaciones que producen.	9, 10 AF: 6, 7	CMCT
		3.4. Reconoce y da ejemplos de objetos cotidianos sometidos a distintos tipos de esfuerzos.	11 AF: 2	CMCT SIEE
		3.5. Describe la transmisión de las cargas a través de los elementos de una estructura.	12 AF: 5	CL CMCT
Principales elementos de las estructuras artificiales: forjado, viga, pilar, columna, cimentación, bóveda, arco, dintel, tirante, arriostramiento, arbotante, contrafuerte, etc.	2. Identificar los elementos estructurales básicos de las estructuras artificiales describiendo su función.	2.1. Identifica los elementos estructurales principales presentes en edificaciones y estructuras.	16, 34, 35, 37 AF: 8	CEC CMCT
		2.2. Conoce la función de cada elemento dentro del conjunto de una estructura concreta.	19, 33, 36 AF: 11, 12, 16, 17	CMCT
		2.3. Imagina el esfuerzo característico al que está sometido cada elemento de una estructura bajo la acción de unas cargas determinadas.	13, 17, 18, 20, 21 AF: 15	CMCT
		2.4. Asocia los materiales más adecuados para la construcción de los distintos elementos estructurales en función de los esfuerzos a los que van a estar sometidos.	23, 24, 38 AF: 9, 10, 14	CMCT
Condiciones de las estructuras artificiales: rigidez, resistencia y estabilidad. ■ Triangulación.	4. Distinguir las condiciones que debe cumplir una estructura para funcionar.	4.1. Conoce las condiciones que ha de cumplir una estructura.	30	CMCT
		4.2. Define los conceptos de estabilidad, resistencia y rigidez.	31	CL CMCT
		4.3. Reconoce cuando una estructura es estable, resistente y rígida.	25, 26, 27	CMCT
		4.4. Domina los recursos para conseguir que una estructura sea estable, rígida y resistente.	28, 29, 32	SIEE CMCT
Proyecto Guía: Diseño y construcción de una estructura ■ Diseño, análisis, ensayo virtual, construcción y verificación de un puente.	5. Diseñar y construir estructuras sencillas para experimentar con ellas.	5.1. Experimenta con materiales cotidianos para resolver problemas estructurales sencillos.	Proyecto Guía	AA SIEE
		5.2. Diseña estructuras apropiadas para resolver problemas con los materiales que se le indica.		AA SIEE
		5.3. Construye estructuras que resuelven problemas sencillos.		CMCT AA
		5.4. Analiza y verifica el comportamiento de las estructuras que construye.		CD CMCT
		5.5. Describe las características de la estructura y su modo de funcionamiento.		CMCT CL

AF: Actividades finales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Oxford Proyectos >>>>>>

Actividades interactivas >>>>>>

Vídeo:
Derrumbamiento del puente Tacoma Narrows.

Enlace web:
(visita virtual):
Puente Nuevo en el Tajo de Ronda (Málaga)

Animación: Tipos de esfuerzos

Animación: tipos de estructuras

Enlace web (visita virtual):

1. Templo de Debod
2. Coliseo romano
3. Torre Eiffel

Vídeo: Derrumbamiento del puente Tacoma Narrows

Unidad 5. Estructuras

Texto de introducción

Proyecto guía:
Construcción de un puente

1. Estructuras
1.1. Estructuras naturales y artificiales

2. Fuerzas y cargas

3. Esfuerzos
3.1. Tipos de esfuerzos

4. Estructuras artificiales

- 4.1. Estructuras masivas y adinteladas
- 4.2. Estructuras abovedadas
- 4.3. Estructuras trianguladas
- 4.4. Estructuras colgantes
- 4.5. Estructuras entramadas de hormigón armado
- 4.6. Estructuras laminares
- 4.7. Estructuras neumáticas
- 4.8. Estructuras espaciales y geodésicas

PARA EL PROFESOR

Mapa conceptual
Presentación de la unidad

Presentación:
Estructuras y cargas

Actividades de refuerzo:
Tipos de esfuerzos

Adaptación curricular >>>>>>

BIBLIOGRAFÍA

DE MIGUEL, J.L.

Estructuras II. Madrid: UPM, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, 1994.

QUINTAS RIPOLL, V.

Estructuras especiales en edificación. Análisis y Cálculo. Editorial Rueda, 1995.

RODRÍGUEZ BOLARDO, R.

Manual de estructuras metálicas de edificios urbanos. CEDEX-Ministerio de Fomento, 1997.

NBE EA-95

Estructuras de acero en la edificación. Ministerio de Fomento, 1995.

NBE EH-91

Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. Ministerio de Fomento, 1991.

Oxford Proyectos

Actividades interactivas

Animación:

Condiciones de las estructuras

Simulador:

WPBD

5. Condiciones de las estructuras

5.1. ¿Cómo se consigue que una estructura sea estable, resistente y poco deformable?

6. Elementos estructurales

- 6.1. Pilar, columna y pilastra
- 6.2. Viga, vigueta y dintel
- 6.3. Arcos y bóvedas
- 6.4. Arbotantes y contrafuertes
- 6.6. Forjado
- 6.7. Basamento, zapata, losa y pilote
- 6.8. Tirantes y tensores

Análisis de estructuras**Simuladores de estructuras****Procedimientos****Actividades finales****Resolución de proyecto guía****Actividades de refuerzo:**

Condiciones de una estructura

Actividades de refuerzo:

Tipos de estructuras

Actividades de ampliación:

Análisis de tipos de estructuras

Mapa conceptual
Evaluación de competencias**Propuesta de proyectos:**Construcción de una torre o de un puente
Pruebas de evaluación

Adaptación curricular

WEBGRAFÍA

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/estructuras.htm>

Página con los conocimientos básicos sobre estructuras y todos los conceptos asociados.

<http://www.bridgecontest.org>

Web en inglés con un programa gratuito o simulador para experimentar con distintos tipos de estructuras triangulares.

<https://www.youtube.com/watch?v=3XE5qU0c5qU>

Enlace a un vídeo donde podemos ver el derrumbamiento del puente Tacoma Narrows (Washington, EE UU, 1940)

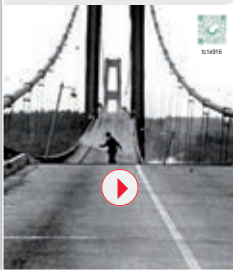
SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

5

ESTRUCTURAS

EN ESTA UNIDAD
VAS A APRENDER A...

- Conocer distintos tipos de estructuras y por qué son necesarias.
- Comprender cómo actúan las fuerzas y qué efectos producen en las estructuras.
- Diferenciar distintos elementos estructurales y saber cuándo emplearlos.
- Explicar las características de una estructura concreta y analizar su funcionamiento.
- Identificar los esfuerzos a los que está sometido cada elemento de una estructura.
- Diseñar y construir una estructura para resolver un problema determinado.

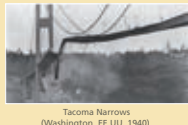


El puente colgante más grande del mundo es el Gran Puente de Akashi Kaikyo, cuyos pilones están separados 1 991 m, casi 2 km de distancia entre uno y otro, sin apoyos intermedios. Durante su diseño se emplearon cálculos aerodinámicos para probar su comportamiento frente al viento, como si se tratara de un avión.



Gran Puente de Akashi Kaikyo (Japón, 1998).

Estos cálculos comenzaron a hacerse tras el espectacular derrumbamiento del puente Tacoma Narrows, en 1940. En aquella época era el tercero más largo del mundo, y resistía perfectamente el peso de los vehículos que circulaban sobre él. Sin embargo, su forma era poco aerodinámica y el viento lo empujaba lateralmente, provocando una oscilación constante en el tablero.



Tacoma Narrows (Washington, EE UU, 1940).

Cuatro meses después de su construcción, y cuando ya se había convertido en una atracción turística debido a ese movimiento, un viento racheado de no mucha intensidad provocó que entrara en un estado de resonancia. El puente se retorció longitudinalmente durante horas hasta quedar completamente destruido. Tras este desastre se mejoró notablemente la construcción de los puentes y en 1950 se inauguró el nuevo puente de Tacoma Narrows que podemos ver hoy en día.



Tacoma Narrows (Washington, EE UU, 1950).

Si realizas una búsqueda en Internet con las palabras *puente Tacoma Narrows* podrás ver el video y obtener más información del suceso.

Analiza

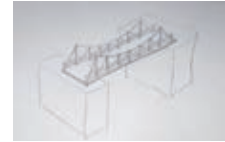
- a) Observa las fotografías e intenta localizar los siguientes elementos de los puentes: tablero, tirante vertical, viga triangulada, cable, pilar.
- b) ¿Qué diferencias puedes apreciar entre ambos puentes que mejoren su comportamiento ante la fuerza del viento? Piensa que el viento debe poder atravesar la estructura de un puente para no empujarlo.
- c) Observa los cables de los distintos puentes de las fotografías. ¿Cómo están, estirados o comprimidos?
- d) ¿Conoces otros tipos de puentes en los que no se empleen cables? Puedes realizar una búsqueda en Internet de algunos ejemplos de puentes sin cables y citar aquellos que te parezcan más interesantes.

PROYECTO GUÍA

Construcción de un puente



A lo largo de la unidad vas a diseñar y construir un puente en el Tajo de Ronda que complementará al que existe desde 1785. Para ello se convocará un concurso de maquetas al que se presentarán todas las propuestas de la clase.



¿Qué debes hacer?

- 1 Analizar los tipos de estructuras más importantes.
- 2 Diseñar un puente que reúna las características descritas.
- 3 Realizar una puesta en común y elegir un diseño.
- 4 Construir el puente.
- 5 Verificar el puente construido.
- 6 Elaborar un video explicativo incluyendo la verificación del puente.



Puente Nuevo en el Tajo de Ronda (Málaga).

Especificaciones técnicas

- El espacio libre entre apoyos será de 50 m y no podrá contar con apoyos intermedios, pues está situado sobre un escarpe del terreno o cañón de 100 m de altura.
- La anchura del puente albergará dos carriles de circulación de vehículos de 3 m cada uno, un carril bici doble con 1,5 m para cada sentido y una acera peatonal de 3 m en un lateral.
- La altura mínima de gallobo será de 4,5 m, para permitir la circulación de camiones de bomberos.
- Se deberá construir la **maqueta del puente a escala 1:100**.
- Los materiales que se utilizarán serán: papel, cartón, hilo y pegamento.



El gallobo indica la distancia mínima de paso que deben permitir los túneles, puentes y demás estructuras.

Antes de empezar... Responde

Teniendo en cuenta el proyecto que vas a realizar, responde a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué anchura total deberá tener el puente?
2. ¿Cuál será la distancia libre entre apoyos de la maqueta a escala 1:100?
3. ¿Qué longitud mínima deberá tener la maqueta del puente para asegurar un buen apoyo en sus extremos?
4. ¿Qué altura libre mínima debe tener el puente? ¿Y la maqueta a escala 1:100?
5. ¿Qué superficie tendrá el tablero del puente?
6. Calculamos la carga que deberá soportar el puente debido al tránsito de vehículos. Teniendo en cuenta que dicha carga es de 20 kN/m², ¿qué peso total deberá soportar?
7. Para el ensayo de la maqueta de nuestro puente vamos a considerar una carga puntual en el centro del vano, equivalente a la total obtenida en el apartado anterior dividida entre 400000. ¿Qué peso tendremos que colocar en el puente?



5. Estructuras 101

En la primera página de la unidad se explica el famoso caso de derrumbamiento de la estructura del puente de Tacoma Narrows (Washington, EE UU, 1998), sus causas y la solución adoptada. Mediante este texto introductorio se pretende que el alumno tome conciencia de la importancia de las estructuras desde el comienzo de la unidad.

Para la realización de una estructura es necesario tener en cuenta no solo las cargas permanentes, aquellas que siempre están presentes en el puente, sino también las cargas variables debido al tránsito y otras acciones, como el viento, factor determinante para el derrumbamiento en este caso.

Para su solución se adoptó una estructura permeable al viento de forma que este no lo zarandeara como lo había estado haciendo.

Video: DERRUMBAMIENTO DEL PUENTE TACOMA NARROWS

Vídeo introductorio en el que podemos ver como el viento afecta al puente y finalmente produce su colapso.

MAPA CONCEPTUAL

El profesor como guía de la unidad puede enseñar a los alumnos el mapa conceptual correspondiente e ir señalando lo que en clase se va tratando.

PRESENTACIÓN

Del mismo modo, puede ser interesante el uso de la presentación tanto como un recorrido inicial, como al comienzo de cada epígrafe, como al final para repasar los contenidos.

Solución Analiza

a) *Observa las fotografías e intenta localizar los siguientes elementos de los puentes: tablero, tirante vertical, viga triangulada, cable y pilar.*

La estructura de ambos puentes es similar, se trata de puentes colgantes de catenaria, donde un cable principal recibe el peso del tablero por medio de los tirantes verticales que los sujetan.

Los elementos verticales de los que penden los cables se pueden denominar pilares o pilones. La viga triangulada está bajo el tablero del segundo puente.

b) *¿Qué diferencias puedes apreciar entre ambos puentes que mejoren su comportamiento ante la fuerza del viento? Piensa que el viento debe poder atravesar la estructura de un puente para no empujarlo.*

La principal mejora incluida es la eliminación de la viga lateral de canto, que presentaba una gran resistencia al viento, que ha sido sustituida por una viga triangulada que permite el paso del viento a través de ella.

c) *Observa los cables de los distintos puentes de las fotografías. ¿Cómo están, estirados o comprimidos?*

Todos los cables de los puentes colgantes se encuentran sometidos a tracción, su diseño colgando desde arriba les permite sujetar el peso del puente, pero como se aprecia en la primera imagen, nada pueden hacer frente al empuje lateral o hacia arriba del viento.

d) *¿Conoces otros tipos de puentes en los que no se empleen cables? Puedes realizar una búsqueda en Internet de algunos ejemplos de puentes sin cables y citar aquellos que te parezcan más interesantes.*

Otros tipos de puentes pueden ser de arcos, de vigas trianguladas, de viga maciza...

Proyecto guía

Construcción de un puente

El proyecto o tarea de esta unidad será el diseño y construcción de un puente en el Tajo de Ronda. Para comprender qué y cómo debemos hacer esta tarea tenemos una pequeña introducción del proyecto y tres apartados distintos:

- **¿Qué debes hacer?** Nos da los pasos que debemos seguir en la resolución del proyecto.
- **Especificaciones técnicas.** Nos explica las características que debe cumplir el puente que diseñemos y construyamos posteriormente.
- **Antes de empezar... Responde.** Son actividades referidas al proyecto sobre pequeñas cuestiones y cálculos que hemos de tener en cuenta antes de ponernos a diseñar y construir.

Una vez comprendidos todos los pasos que debemos seguir, las especificaciones del proyecto y resueltas las actividades ya estaremos dispuestos para comenzar a pensar en nuestras primeras ideas y bocetos.

Hay que tener en cuenta que a lo largo de la unidad habrá distintas actividades, distinguidas con el icono del proyecto, que nos ayudarán a una mejor realización del mismo.

Enlace web (visita virtual): **PUENTE NUEVO EN EL TAJO DE RONDA (MÁLAGA)**

Con la herramienta de google maps, el alumno puede tener una vista panorámica de este.

Solución *Antes de empezar... Responde*

Teniendo en cuenta el proyecto que vas a realizar, responde a las siguientes preguntas:

1. **¿Qué anchura total deberá tener el puente?**
Anchura total del puente: dos carriles de circulación de vehículos $3\text{ m} \cdot 2 = 6\text{ m}$, dos de bicicleta $1,5 \cdot 2 = 3\text{ m}$ y 3 m de acera peatonal, en total 12 m de anchura.
2. **¿Cuál será la distancia libre entre apoyos de la maqueta a escala 1:100?**
Al estar a escala 1:100 y medir 50 m en la realidad, la distancia libre entre apoyos de la maqueta será de 50 cm.
3. **¿Qué longitud mínima deberá tener la maqueta del puente para asegurar un buen apoyo en sus extremos?**
Como mínimo, y dependiendo del tipo de puente que se vaya a construir, tendrá que tener 10 cm por cada lado en los apoyos.
4. **¿Qué altura libre mínima debe tener el puente? ¿Y la maqueta a escala 1:100?**
El puente deberá tener 4,5 m de altura libre como mínimo. En la maqueta serían 4,5 cm.
5. **¿Qué superficie tendrá el tablero del puente?**
La superficie entre apoyos del tablero será de $12\text{ m} \cdot 50\text{ m} = 600\text{ m}^2$.
6. **Calculamos la carga que deberá soportar el puente debido al tránsito de vehículos. Teniendo en cuenta que dicha carga es de 20 kN/m^2 , ¿qué peso total deberá soportar?**
$$600\text{ m}^2 \cdot 20\text{ kN/m}^2 = 12\,000\text{ kN}$$
7. **Para el ensayo de la maqueta de nuestro puente vamos a considerar una carga puntual en el centro del vano, equivalente a la total obtenida en el apartado anterior dividida entre 400 000. ¿Qué peso tendremos que colocar en el puente?**
$$12\,000 \cdot 1\,000\text{ N} / 400\,000 = 30\text{ kN}$$
, de manera aproximada puede ser una pesa de 3 kg o tres cartones de leche de 1 L cada uno.

OXFORD PROYECTOS

Se inicia con una introducción a la unidad. En ella se plantean las cuestiones iniciales, y el proyecto que tendrán que resolver al finalizar las actividades. Estas se plantean como investigaciones previas a estudiar un apartado de la unidad. La tarea plantea un problema práctico cuya solución requiere poner en juego los distintos aprendizajes e investigaciones particulares que se han llevado a cabo. Al alumno le proporcionamos la idea de que en las actividades particulares va a ir aprendiendo conceptos y/o procedimientos que utilizarán posteriormente para resolver un problema práctico.

1. ESTRUCTURAS

¿Qué significados puede tener la palabra estructura? ¿Para qué sirve la estructura de un cuerpo? Acuerda con tus compañeros una definición de estructura física de un cuerpo y anótala en tu cuaderno en el glosario de esta unidad.

Todos los cuerpos y objetos poseen algún tipo de **estructura**. El esqueleto de un elefante o las estrías de un vaso de plástico, el chasis de un automóvil o el caparazón de un cangrejo son ejemplos de estructuras. Su función es sostener los cuerpos y evitar que se deformen en exceso bajo el efecto de las fuerzas que actúan sobre ellos.

A veces, la estructura es un elemento identificable dentro del propio cuerpo, como los huesos de los animales vertebrados, el armazón de un barco o las vigas de un edificio. En otras ocasiones no es sencillo distinguirla, puesto que la totalidad del objeto conforma su estructura.

Una **estructura** es el conjunto de elementos de un cuerpo destinados a soportar las acciones externas para evitar que se rompa o se deforme en exceso.



1 ¿Se distingue de forma clara qué parte de la botella forma su estructura? ¿Qué elementos sirven para reforzarla?



2 ¿Qué estructuras puedes ver en estas fotografías? ¿Son naturales o artificiales? Justifica tu respuesta.

1.1. Estructuras naturales y artificiales

Las **estructuras naturales** son aquellas que se han formado sin intervención del ser humano. Están presentes en los seres vivos, en sus construcciones, o son el resultado de procesos geológicos. Así, la concha de un molusco, el nido de un pájaro o una cueva son estructuras naturales.

Las **estructuras artificiales** son aquellas elaboradas por los seres humanos para satisfacer una necesidad. Las patas de una mesa o la carcasa de una cámara de fotos son ejemplos de estructuras artificiales.

3 Enumera cinco estructuras naturales y cinco artificiales.
4 Identifica la estructura de los siguientes objetos: un bolígrafo, un vaso de plástico, una cámara de fotos, un balancín y una bicicleta.



5 Busca la imagen de un puente romano y de uno colgante. Analiza: ¿qué partes de cada puente constituyen su estructura?

Ideas claras

- Una estructura es el conjunto de elementos que impide que el cuerpo se rompa o se deforme.
- Hay estructuras naturales y artificiales.

2. FUERZAS Y CARGAS

¿Qué es una fuerza? ¿Qué relación existe entre las estructuras y las fuerzas? Responde a estas preguntas en colaboración con tus compañeros y define con ellos qué es una fuerza. Para ayudarte puedes aplicar distintas fuerzas a una goma de borrar, presionándola y empujándola con tus dedos.

Los cuerpos u objetos necesitan una estructura para soportar las distintas fuerzas que actúan sobre ellos: la de la gravedad, que nos atrae hacia el centro de la Tierra y es responsable del peso de un objeto, la del viento, que empuja árboles y edificios, las presiones de los gases encerrados, las que desarrollan nuestros músculos...

Una **fuerza** es todo aquello capaz de **deformar** un cuerpo (efecto estático) o **alterar su estado de movimiento o reposo** (efecto dinámico).



6 Indica si las fuerzas con las que se realizan las siguientes acciones producen un efecto estático o dinámico: Golpear una pelota de golf, sentarte en un sofá, empujar un carro de la compra, tu corazón al bombear la sangre, presionar un trozo de plastilina y abrazar a tu compañero.

Las fuerzas que actúan sobre una determinada estructura se denominan **cargas** y pueden ser de dos tipos:

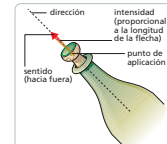
7 **Cargas fijas o permanentes:** son aquellas que no varían a lo largo del tiempo, por tanto son cargas constantes. Algunos ejemplos son el peso de la propia estructura de un puente o el de los elementos que hay siempre sobre ella, como el asfalto o la barandilla.

8 **Cargas variables:** son aquellas que cambian a lo largo del tiempo, por ejemplo, el peso de las personas dentro de un edificio, el viento que empuja un puente o el tráfico que hay sobre él.

Una **carga** es una fuerza que actúa sobre una estructura, y puede ser fija o variable.

9 Imagínate que se aplica la misma carga, el peso de un niño, sobre un banco en el parque, una hamaca colgante y una silla. ¿Cuál de estos elementos soportará más carga? ¿Será igual la carga sobre el banco si el niño se sienta o se tumba? ¿Se deformará de la misma manera la silla que la hamaca?

Las cargas producen **tensiones** en la estructura del cuerpo donde se aplican. Sin embargo, una misma carga puede producir distintos efectos dependiendo del punto de aplicación de la fuerza, su dirección, su sentido y de la propia geometría de la estructura.



Para definir una fuerza, es preciso especificar su intensidad, su dirección, el sentido en el que actúa y su punto de aplicación.

7 Representa las fuerzas correspondientes a las acciones de la actividad 6.

Ideas claras

- Las fuerzas son capaces de deformar los cuerpos o modificar su estado de movimiento o de reposo.
- La estructura soporta los efectos de la fuerza sobre el objeto.
- Las fuerzas que actúan sobre un cuerpo se denominan cargas.

1. Estructuras

En esta página abordamos el concepto de estructura desde ejemplos concretos, para centrar la atención del alumnado, hasta su definición genérica.

Es interesante plantear en clase la cuestión de inicio donde los alumnos podrán debatir sobre lo que ellos entienden por estructura de un cuerpo, y así, también nos servirá para ser conscientes de sus ideas previas sobre el tema.

Una vez adentrados en el texto trataremos de identificar, en cada ejemplo, qué elementos del cuerpo estudiado pertenecen a la estructura y cuáles no, distinguiendo las partes cuya función principal es estructural del resto.

La definición de estructura que se presenta en el texto es una definición sencilla que podrá ser ampliada por los alumnos según se avance en la explicación de los distintos contenidos de la unidad.

1.1. Estructuras naturales y artificiales

Establecemos la diferenciación entre estructuras naturales y artificiales para poder estudiar estas últimas dentro del ámbito de la tecnología, como producto de la actividad humana.

Una vez reconocidas las estructuras pasamos a explicar el concepto de fuerza y cargas.

PRESENTACIÓN ESTRUCTURAS Y CARGAS

Resumen en diapositiva de los tipos de estructuras y las cargas que actúan sobre ellas.

Solución de las actividades

1 ¿Se distingue de forma clara qué parte de la botella forma su estructura? ¿Qué elementos sirven para reforzarla?

No, toda la botella es estructura, la botella es el ejemplo de estructura mínima capaz de contener un líquido determinado. Los pliegues de la botella la refuerzan y le dan resistencia.

2 ¿Qué estructuras puedes ver en estas fotografías? ¿Son naturales o artificiales? Justifica tu respuesta.

Podemos ver una concha de caracola ocupada por un cangrejo ermitaño que a su vez también tiene la estructura de su exoesqueleto y un armazón de una barca de pesca. Aunque el cangrejo emplea la concha para protegerse, la única estructura artificial sería el armazón del barco puesto que es la única construida por seres humanos.

3 Enumera cinco estructuras naturales y cinco artificiales.

Naturales: Un nido de pájaro, el esqueleto humano, el tronco de un árbol, el caparazón de una tortuga, una es-talactita...

Artificiales: una bombona de butano, una presa, un puente colgante, el chasis de un automóvil, la torre Eiffel...

4 Identifica la estructura de los siguientes objetos: un bolígrafo, un vaso de plástico, una cámara de fotos, un balancín y una bicicleta.

La estructura es la parte destinada a soportar esfuerzos, en el caso del bolígrafo sería el cilindro exterior en el que apoyamos los dedos, en el vaso sería todo el vaso, en la cámara de fotos la carcasa, en el balancín las patas, el asiento y el respaldo, en la bicicleta el cuadro.

5 Busca la imagen de un puente romano y de uno colgante. Analiza: ¿qué partes de cada puente constituyen su estructura?

En el puente romano los arcos y la cimentación forman la estructura del puente, en el caso del puente colgante el tablero, los cables, los pilares y la cimentación.

2. Fuerzas y cargas

Podemos comenzar planteando las dos preguntas sobre las fuerzas y las estructuras. Con ello se presentan los conceptos que se van a estudiar a continuación. Además puede experimentarlo con el pequeño gesto de presionar con sus dedos una goma de borrar desde distintos puntos y observar qué sucede.

Aunque los alumnos tienen una idea intuitiva de lo que es **fuerza**, les suele resultar difícil comprender su definición y sistematización, por ser un concepto relativamente complejo. La definición de fuerza que se presenta en el texto es la clásica, basada en el reconocimiento de sus posibles efectos. Para concretarla y reconocer los dos posibles efectos, estático y dinámico, se propone una actividad sencilla donde el alumno debe distinguir qué efecto produce la aplicación de las distintas fuerzas aplicadas sobre diferentes objetos.

Para ampliar este punto puede introducirse que las fuerzas quedan definidas por su dirección, sentido, intensidad y punto de aplicación. Podemos ejemplificar todas estas características con una fuerza que ejerzamos sobre una mesa, desplazándola.

Se puede comentar a los alumnos que, así como las cargas permanentes permiten un estudio sencillo de su actuación sobre los cuerpos, las variables ofrecen más complejidad dado que pueden presentarse con distintas combinaciones, a veces incluso contrariándose (nieve sobre un árbol y viento que empuja las ramas hacia arriba). En esos casos siempre se tienen en cuenta las combinaciones más desfavorables.

Se puede pedir al grupo que identifique qué cargas actúan sobre diversos objetos (una grúa, el edificio, un coche de carreras) y que diferencien cuáles de ellas son fijas y cuáles variables.

Se plantea una cuestión aquí al alumno para hacerle pensar sobre la carga y sus efectos y la deformación que produce. Tras esta breve reflexión, se introduce en este punto el concepto de tensión producida por una carga sobre un cuerpo para después relacionarlo con el concepto de esfuerzo y sus tipos.

Solución de las actividades

6 Indica si las fuerzas con las que se realizan las siguientes acciones producen un efecto estático o dinámico: Golpear una pelota de golf, sentarte en un sofá, empujar un carro de la compra, tu corazón al bombear la sangre, presionar un trozo de plastilina y abrazar a tu compañero.

Golpear una pelota de golf: Efecto dinámico

Sentarse en un sofá: Efecto estático

Empujar un carrito: Efecto dinámico

Corazón al bombear la sangre: Efecto dinámico

Presionar la plastilina: Efecto estático

Abrazar a un compañero: Efecto estático

7 Representa las fuerzas correspondientes a las acciones de la actividad 6.

Todas las fuerzas son sencillas de representar, únicamente habrá que precisar el punto de aplicación, la dirección y el sentido, la intensidad puede representarse con una pequeña, mediana o grande flecha. En el caso del corazón lo que empuja la sangre no es una sola fuerza sino varias comprimiéndolo, por lo que se pueden representar como varias flechas hacia dentro.

ESFUERZOS Y DEFORMACIONES



La nube que observas en las fotografías se deforma fácilmente cuando se aplica una fuerza sobre ella porque es de un **material elástico**. Sin embargo, en una estructura de **materiales más rígidos** la deformación no es tan apreciable. Para saber a qué tipo de esfuerzo está sometida dicha estructura tendremos que imaginar qué deformación se produciría si fuese de un material más elástico.

3. ESFUERZOS

¿Qué efectos crees que producen las fuerzas en el interior de los cuerpos?

Si tiramos con la mano de nuestro dedo índice, si lo retorcermos o si apretamos nuestras palmas una contra la otra, experimentamos una tensión que crece al aumentar la fuerza que ejercemos.

Podemos notar, además, que el tipo de sensación es distinto en cada caso, porque hemos aplicado las fuerzas de manera diferente. Estas fuerzas provocan deformaciones de distinto tipo en los objetos.

Las tensiones internas que aparecen en una estructura sometida a la acción de una o varias cargas se denominan **esfuerzos**.

Llamamos **esfuerzo** a la tensión interna que experimentan todos los cuerpos sometidos a la acción de una o varias fuerzas.

3.1. Tipos de esfuerzos

Observa las imágenes que aparecen en el margen y comenta con tus compañeros. ¿Cómo son las fuerzas que actúan sobre la nube en cada caso? ¿Qué deformación producen? Con la ayuda de tus compañeros, relaciona cada tipo de esfuerzo explicado a continuación con cada una de estas imágenes.

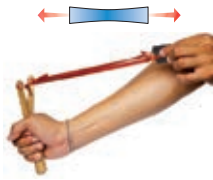
Podemos clasificar los esfuerzos, según la deformación que producen, en los siguientes: **tracción, compresión, torsión, flexión y cizalladura o cortante**.

Tracción

Se produce cuando las fuerzas tratan de **estirar** el cuerpo sobre el que actúan.

Estas fuerzas son opuestas y actúan en la misma dirección y sentido contrario, hacia el exterior del cuerpo.

Algunos objetos sometidos al esfuerzo de tracción son, por ejemplo, las gomas de un trinchinas, los tirantes de un puente, la cuerda de una persiana o la cadena de la que cuelga una lámpara.



Compresión

Aparece cuando las fuerzas tratan de **aplastar** o **comprimir** un cuerpo.

Son fuerzas opuestas, enfrentadas, y actúan hacia el interior del objeto.

Las patas de una mesa, los pilares de un puente o las piernas de una persona que permanece de pie soportan este tipo de esfuerzo.



Flexión

Aparece cuando las fuerzas intentan **doblar** el elemento sobre el que actúan.

Son fuerzas que no están enfrentadas. Actúan en sentido contrario y bastante separadas la una de la otra.

El tablero de un puente situado entre sus apoyos, las baldas de una estantería o la barra de un armario ropero son ejemplos de flexión.



Torsión

En este caso, las fuerzas intentan **retorcer** el elemento sobre el que actúan.

Tratan de hacer girar al cuerpo y actúan en sentido contrario.

La torsión aparece en un lápiz cuando sacamos punta, en una llave al girarla para abrir la puerta o en un destornillador al apretar un tornillo.

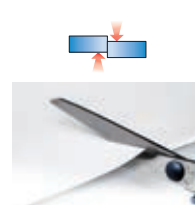


Cizalladura o cortante

Este esfuerzo trata de **seccionar** el objeto en un punto determinado.

Aparece cuando las fuerzas se encuentran muy juntas, pero no enfrentadas; una hacia arriba y otra hacia abajo, intentando deslizar una parte del objeto sobre la otra.

Este tipo de esfuerzo se presenta, por ejemplo, cuando cortamos una chapa metálica con una guillotina o en la alcañata clavada en la pared de la que cuelga un cuadro.



Ideas claras

- Los esfuerzos son tensiones internas que aparecen en las estructuras como resultado de la acción de las cargas.
- La tracción se produce cuando se pretende estirar el cuerpo.
- La compresión aparece al intentar aplastar o comprimir el cuerpo.
- La flexión tiene lugar cuando tratamos de doblar el cuerpo.
- La torsión aparece al intentar retorcer el cuerpo.
- El esfuerzo cortante o de cizalladura se produce cuando las fuerzas intentan cortar el cuerpo.

- ¿Cuándo es mayor la tensión en una silla, cuando te sientas tú o cuando lo hace alguien que pesa menos? ¿Qué tipo de esfuerzo soportan las patas?
- ¿Cómo es más fácil romper un espagueti crudo, estirándolo o doblándolo? ¿Por qué? ¿Qué tipo de esfuerzo soportaría el espagueti en cada caso?

- Podrías romper un alambre estirándolo? ¿Y retorciéndolo? Justifica tu respuesta.
- Pon ejemplos de otras situaciones en las que se den los distintos tipos de esfuerzo.

- Analiza los esfuerzos que aparecen en los distintos elementos del puente de la imagen. Para ello imagina una carga en su centro y visualiza cómo se deformaría cada parte.



3. Esfuerzos

El concepto de **esfuerzo** resulta difícil de asimilar por los alumnos, por su tendencia a relacionarlo con el trabajo; por eso conviene aclarar que no es ese tipo de esfuerzo activo al que se refiere el término en el contexto de estructuras. Para que el concepto sea más fácil de comprender, es aconsejable relacionarlo con otras palabras, como por ejemplo, **tensión interna**.

Para comenzar este epígrafe podemos hacerles una pregunta sobre qué efectos creen que producen las fuerzas en el interior de los cuerpos. De esta forma ya les estamos haciendo ver que los esfuerzos están relacionados con lo que ocurre en el interior de los cuerpos. Con sus respuestas veremos cuánto se aproximan al concepto que vamos a estudiar.

Como sugerencia podemos dibujar, sobre una misma barra, las distintas combinaciones de fuerzas (mediante flechas) que corresponden a los esfuerzos experimentados en el recurso del margen, *Esfuerzos y deformaciones*, para ir así introduciendo los distintos tipos de esfuerzos.

Otro punto importante es asociar el esfuerzo y no la carga a la rotura de un material u objeto. Son los esfuerzos los que deforman y llegan a romper los cuerpos; por tanto, nos preocupa no tanto la fuerza que actúa sobre ellos, sino de qué manera repercute en el interior de los mismos.

A pesar de que la cuantificación de los esfuerzos no es un contenido obligatorio de este curso, se pueden plantear preguntas sencillas sobre los efectos de variar la sección o la carga de un cuerpo e intentar obtener una respuesta espontánea por parte de los alumnos, como por ejemplo: «Las patas de esta mesa soportan un esfuerzo determinado, ¿qué pasaría si redujéramos la sección de las mismas a la mitad?».

3.1. Tipos de esfuerzos

Antes de empezar a explicar los distintos tipos de esfuerzos proponemos a los alumnos que mediante la observación de unas imágenes donde le hemos aplicado distintas fuerzas a una nube de golosina, expliquen la deformación que sufre dicho objeto y que relacionen cada imagen con el tipo de esfuerzo que creen que existe.

Una vez que se ha comprobado que existen esfuerzos de distintos tipos, se pasa a enumerarlos y a explicarlos.

- Tracción:** Para comprobar si un cuerpo experimenta tracción, sería interesante que, con objetos que tengan a mano los alumnos, ejercieran fuerzas que trataran de estirarlos. Al hacerlo, los cuerpos estarían traccionados.
- Compresión:** Este esfuerzo aparece cuando las fuerzas tratan de aplastar o comprimir un cuerpo. Se puede pedir a los alumnos que identifiquen los objetos del aula que están comprimidos.
- Flexión:** Este esfuerzo aparece cuando las fuerzas tratan de curvar el cuerpo. Es conveniente que lo reconozcan en objetos que haya en el aula.
- Torsión:** Este esfuerzo aparece cuando las fuerzas tratan de retorcer el cuerpo.
- Cizalladura o cortante:** Este esfuerzo aparece cuando las fuerzas tratan de cortar el cuerpo.

En relación con cada tipo de esfuerzo, se explica cuándo aparece su efecto en una barra rígida que simula deformación y se proporcionan varios ejemplos reales de cada uno de ellos. En general los tipos de esfuerzos son comprendidos de manera bastante intuitiva por el alumnado; ayuda mucho que los identifiquen con un gesto y un verbo (estirar, apretar, retorcer, etcétera).

Para cada uno de los esfuerzos propuestos, es conveniente realizar con el alumnado dos abstracciones. La primera es imaginar el movimiento o situación necesarios para reproducir los ejemplos dados, mientras que la segunda, que puede plantearse como actividad, es reconocer las fuerzas opuestas que actúan en cada tipo de esfuerzo, localizándolas:

Esfuerzo	Ejemplo	Carga	Reacción
Tracción	Colgante	Peso del colgante	Cuello
	Tirantes	Peso del vestido	Hombros
	Cinta de una persiana	Peso de la persiana	Sujeción a la pared
Compresión	Patatas de una silla	Peso de la silla	Suelo
	Piernas	Peso propio	Suelo
	Tronco de un árbol	Peso del árbol	Suelo
Flexión	Baldas	Peso de los libros	Tablas laterales
	Somier	Peso del colchón y de las personas	Patatas del somier
	Barra de un armario	Peso de la ropa	Enganche al armario
Torsión	Llaves	Fuerza de giro de la mano	Cerrojo
	Sacapuntas	Fuerza que hacemos	Resistencia del lápiz
	Bicicleta	Pedaleo	Resistencia de los pedales
Cortante	Alcayata	Peso del cuadro	Pared
	Guillotina	Hoja de la guillotina	Parte fija de la guillotina

Animación: TIPOS DE ESFUERZO

En esta animación los alumnos pueden apreciar en forma de animación los efectos que producen los esfuerzos sobre los cuerpos.

Actividades de refuerzo: TIPOS DE ESFUERZO

Más actividades para practicar los distintos tipos de esfuerzos.

Solución de las actividades

- 8 ¿Cuándo es mayor la tensión en una silla, cuando te sientas tú o cuando lo hace alguien que pese menos? ¿Qué tipo de esfuerzo soportan las patas?

El esfuerzo es mayor cuando la fuerza aplicada es mayor. El esfuerzo que aparece en las patas de la silla es de compresión, las patas se hallan comprimidas entre nuestro peso y el suelo que no deja que se hundan en él.

- 9 ¿Cómo es más fácil romper un espagueti crudo, estirándolo o doblándolo? ¿Por qué? ¿Qué tipo de esfuerzo soportaría el espagueti en cada caso?

Es más fácil romper el espagueti doblándolo, que es un esfuerzo de flexión que, estirándolo, que sería de tracción. Esto se debe a la forma del espagueti, que, al ser tan fino no tiene una buena proporción para soportar la flexión.

- 10 ¿Podrías romper un alambre estirándolo? ¿Y retorciéndolo? Justifica tu respuesta.

Como en el caso del espagueti resulta difícil romper un alambre estirándolo, sin embargo doblándolo o retorciéndolo resulta mucho más sencillo, de nuevo por su geometría.

- 11 Pon ejemplos de otras situaciones en las que se den los distintos tipos de esfuerzo.

RESPUESTA LIBRE.

- 12 Analiza los esfuerzos que aparecen en los distintos elementos del puente de la imagen. Para ello imagina una carga en su centro y visualiza cómo se deformaría cada parte.

Al colocar una carga sobre el puente, su centro tendería a bajar, comprimiendo los pilares que llegan hasta el arco y el propio arco.

4. ESTRUCTURAS ARTIFICIALES

¿Qué tipos de puentes conoces? Ordénalos desde la antigüedad hasta nuestros días. ¿Qué diferencias observas entre ellos?

A lo largo del tiempo, los seres humanos han mejorado su capacidad para construir estructuras. Al principio necesitaban gran cantidad de material para su construcción, pero los avances en el conocimiento de las estructuras y su funcionamiento, junto con la aparición de nuevos materiales, permitieron crear estructuras más ligeras y resistentes.

Analiza los distintos tipos de estructuras artificiales que aparecen en los puentes de las fotografías y dibuja en tu cuaderno un esquema de cada modelo para ayudarte en el diseño del tuyo.

4.1. Estructuras masivas y adinteladas

En un primer momento, las estructuras se confeccionaban concentrando gran cantidad de material, sin apenas dejar huecos, colocando bloques de piedra o arcilla unos encima de otros (como en las pirámides) o excavando en la roca.

Para abrir ventanas y pasos libres se utilizaban **dinteles**¹ de piedra o madera de poca longitud. Son ejemplos de **estructuras masivas** las pirámides mayas o egipcias, y de **estructuras adinteladas**, los templos griegos de piedra y madera.

¹dintel: barra horizontal que se coloca sobre dos soportes verticales, con la finalidad de dejar un hueco (puerta o ventana) debajo de ella. También se denomina viga, jácena o cargadero.

13 Observa las fotografías:

- ¿Qué tipo de esfuerzo soportan los bloques de piedra de las pirámides?
- ¿Qué esfuerzo soportan los pilares del puente?
- ¿Qué finalidad tienen los huecos que dejan los dinteles? ¿A qué esfuerzo soportan?



Estructura masiva.



Puente adintelado.

4.2. Estructuras abovedadas

El descubrimiento del **arco** y la **bóveda**² permitió cubrir espacios mayores y dejar más huecos en las estructuras.

Las **estructuras abovedadas** están formadas por arcos y bóvedas y se basan en el empleo de piedras cortadas y colocadas de tal forma que solo aparezca en ellos el esfuerzo de compresión que es bien soportado por la piedra.

Los romanos emplearon el arco de medio punto en la construcción de puentes y acueductos, y la bóveda de cañón y la cúpula³ semiesférica para cubrir basílicas y panteones. Posteriormente se emplearon arcos apuntados y bóvedas de crucería de distintos estilos en la construcción de mezquitas y catedrales. En la actualidad se continúan empleando en edificios emblemáticos.

14 Busca en Internet o en libros de arte o arquitectura distintos tipos de arcos que podemos encontrar en las estructuras abovedadas y dibújalos. Representa sobre el dibujo los esfuerzos a los que están sometidos. ¿De qué tipo son?



Bóveda de crucería con arcos apuntados.



Puente de arcos de medio punto.

4. Estructuras artificiales

La pregunta que se les plantea a los alumnos en esta ocasión es acerca de los distintos puentes que puedan recordar en ese momento. Con ayuda de todo el grupo se propone hacer un pequeño recorrido desde los más antiguos hasta los más modernos para que sean conscientes de las diferencias entre unos y otros y su posible relación con los tipos distintos de estructuras.

En este apartado se conjugan dos aspectos importantes de las estructuras; por un lado, se establece una clasificación tipológica y, por otro, se relaciona esa clasificación formal con la evolución histórica de las mismas. Nos referimos siempre a la tipología estructural edificatoria, aunque en mayor o menor medida, estos tipos estructurales son aplicables a los objetos tecnológicos.

Así, avanzando desde el principio de la historia, se van enumerando cronológicamente los tipos básicos de estructuras de edificios.

Hay que resaltar que todos los elementos estructurales que van apareciendo continúan vigentes, y que, aunque su uso es menor, es normal encontrar muros de carga o arcos en los edificios actuales.

Antes de comenzar a explicar los tipos de estructuras, sería conveniente pedir a los alumnos que, en sus cuadernos, realicen un esquema de los puentes que observan en las imágenes de la doble página y analicen cómo es cada uno de ellos. En esta actividad pueden también hacer un boceto o esquema del puente de su diseño de la tarea.

4.1. Estructuras masivas y adinteladas

Es importante que los alumnos reparen en la sencillez de las primeras construcciones humanas, así como en la importancia de la estabilidad en el diseño de estas primitivas estructuras. También se

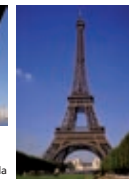
4.3. Estructuras trianguladas

Están formadas por barras, normalmente metálicas o de madera. La **triangulación** hace que la estructura sea indeformable, lo cual es una buena solución para la construcción de puentes (vigas trianguladas), cubiertas de grandes **luzes**¹ (**cerchas**²) y estructuras verticales, como torres y andamios.

El descubrimiento de la fundición y el acero y su aplicación a este tipo de estructuras permitió realizar grandes obras, como la Torre Eiffel.



Canto de la viga



Torre Eiffel de París. Fue la estructura más alta del mundo durante muchos años.

15 Investiga el material con el que está fabricada la Torre Eiffel. Averigua cuál se utiliza en la actualidad en este tipo de estructuras y enumera sus ventajas.

4.4. Estructuras colgantes

Para construirlos se utilizan cables, de los que cuelga la estructura y que reciben el nombre de **tirantes**. Cuando se pueden regular, estirándolos más o menos, se llaman **tensores**. Los cables solo resisten esfuerzos de tracción, pero tienen la ventaja de poder adaptarse a las cargas que reciben en cada momento y de ser extremadamente ligeros.

Los tirantes se emplean para sujetar puentes, carpas, antenas y torres.

Existe una gran variedad de **estructuras colgantes** que permiten cubrir grandes espacios, como estadios o pabellones, sin utilizar pilares intermedios.



Puente colgante de catenaria.



Puente colgante atriantado.

17 Observa los puentes y explica cómo se transmiten las cargas a través de los distintos elementos estructurales que observas en las fotografías. Para una misma longitud de puente, ¿cuál de los dos tipos tendrá los tirantes más gruesos? ¿Por qué?

¹luz: espacio libre que queda entre los apoyos de una viga o cercha.
²cercha: estructura triangular formada por barras de acero o madera que se utiliza en tejados o cubiertas.



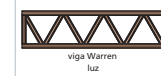
cuchillo español



armadura norteamericana



viga Warren



luz

18 Observa estos dos tipos de estructuras trianguladas. ¿Cuál de ellas es más adecuada para un puente? ¿Y para un tejado? Justifica tu respuesta.

Cuando aparecieron las primeras fundiciones, se generalizó el uso de estructuras metálicas trianguladas, por su versatilidad. Era la época de la construcción de pabellones y estructuras asociadas al ferrocarril, como puentes y estaciones.

4.4. Estructuras colgantes

Las estructuras colgantes se han utilizado desde tiempos remotos como precarios puentes colgantes, gracias a la disponibilidad de cuerdas y lianas en la mayor parte de las civilizaciones.

Estas estructuras tienen la ventaja de que son capaces de adaptarse a las cargas que deben soportar cambiando de forma (se puede comprobar colgando objetos de una cuerda). Como esta deformabilidad representa un inconveniente funcional en las estructuras modernas (sería ridículo que un puente se fuera deformando al pasar un vehículo), lo que se hace es dotar a la estructura de unas cargas fijas muy superiores a las cargas variables, que conviertan estas últimas en casi imperceptibles para la estructura.

Las estructuras colgantes pueden ser extremadamente ligeras, pero esto también presenta un inconveniente, sobre todo cuando el viento sopla de abajo a arriba y levanta la estructura, razón por la cual se añade peso a los tableros de los puentes.

En el vídeo de la rotura del puente Takoma Narrows (EE UU) se aprecia el efecto del viento sobre el tablero del puente; y podemos observar cómo los materiales que creemos indeformables, como el acero y el hormigón, adquieren una ductilidad inusitada ante grandes cargas.

Vídeo: DERRUMBAMIENTO DEL PUENTE TAKOMA NARROWS

En el vídeo de la rotura del puente Takoma Narrows (EE UU) se aprecia el efecto del viento sobre el tablero del puente; y podemos observar cómo los materiales que creemos indeformables, como el acero y el hormigón, adquieren una ductilidad inusitada ante grandes cargas.

Enlace web (visita virtual): TEMPLO DE DEBOD

Visita virtual en el interior del exterior e interior del Templo de Debod, se puede observar de qué tipo es y de qué material está formado.

Enlace web (visita virtual): COLISEO ROMANO

Visita virtual en el interior del exterior e interior del Coliseo romano, se puede observar de qué tipo es y de qué material está formado.

Enlace web (visita virtual): TORRE EIFFEL

Visita virtual en el interior del exterior e interior de la Torre Eiffel, se puede observar de qué tipo es y de qué material está formado.

Solución de las actividades

13 Observa las fotografías:

- ¿Qué tipo de esfuerzo soportan los bloques de piedra de las pirámides?
- ¿Qué esfuerzo soportan los pilares del puente?
- ¿Qué finalidad tienen los huecos que dejan los dinteles? ¿A qué esfuerzo están sometidos?

Los bloques de piedra de las pirámides están comprimidos, al igual que los pilares del puente, los dinteles están sometidos a flexión y su finalidad es dejar pasar el agua bajo ellos.

14 Busca en internet o en libros de arte o arquitectura distintos tipos de arcos que podemos encontrar en las estructuras abovedadas y dibújalos. Representa sobre el dibujo los esfuerzos a los que están sometidos. ¿De qué tipo son?

Los arcos están sometidos a esfuerzos de compresión, algunos de los tipos principales están reflejados en la página 113 de esta misma unidad.

15 Investiga el material con el que está fabricada la Torre Eiffel. Averigua cuál se utiliza en la actualidad en este tipo de estructuras y enumera sus ventajas.

La torre Eiffel está hecha de una aleación de hierro que se llama fundición y tiene un alto contenido en carbono. En la actualidad las estructuras se hacen de acero, la principal ventaja del acero es su soldabilidad. Las uniones en la torre Eiffel son roblonadas.

16 Observa estos dos tipos de estructuras trianguladas. ¿Cuál de ellas es más adecuada para un puente? ¿Y para un tejado? Justifica tu respuesta.

Las vigas con la parte superior horizontal son más adecuadas para la fabricación de puentes por la homogeneidad de sus piezas, la inclinación de las cerchas es más adecuada para los tejados porque ofrecen una forma adecuada para la cubierta.

Aun así, la forma de viga más adecuada para la construcción de un puente en términos estrictamente estructurales sería tener el cordón superior en forma de arco, similar a la que se ensaya en el apartado de Simulación de estructuras, pero su construcción es más compleja.

17 Observa los puentes y explica cómo se transmiten las cargas a través de los distintos elementos estructurales que observas en las fotografías. Para una misma longitud de puente, ¿cuál de los dos tipos tendrá los tirantes más gruesos? ¿Por qué?

En el primer caso el peso del tablero se transmite al cable catenaria a través de los tirantes, en el segundo los tirantes la llevan directamente a los pilares.

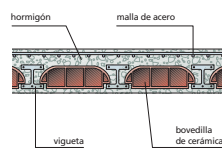
Los tirantes deberán ser más gruesos en el segundo caso puesto que la fuerza que soportan para un mismo trozo de tablero es mayor debido a su inclinación.

4.5. Estructuras entramadas de hormigón armado

El **hormigón** supuso un gran adelanto en la construcción ya que puede adoptar cualquier forma. Gracias a sus propiedades presenta una buena resistencia a la compresión, y además, las barras de acero que forman su armadura soportan esfuerzos de tracción.

Es un material muy resistente que se emplea en todo tipo de edificios, principalmente en **estructuras entramadas**, como las de tu colegio o instituto:

- Bajo el suelo que pisas hay una estructura horizontal llamada **forjado**, constituida por pequeñas vigas denominadas **viguetas** y material de relleno (bovedillas cerámicas o de poliestireno).



Sección de forjado. Observa cómo se colocan las bovedillas cerámicas entre las viguetas.

- El forjado transmite tu peso hasta las **vigas** (hechas de hormigón y barras de acero), y estas a los **pilares** (soportes verticales de la estructura).

- Los pilares no se apoyan directamente en el terreno porque se hundirían. Entre ellos y el suelo se encuentra la **cimentación**, un elemento intermedio que aumenta la superficie de apoyo y permite repartir el peso del edificio y sus cargas. La cimentación puede hacerse con **zapatas, pilotes o losas**.

El hormigón armado se puede emplear para construir estructuras de arcos gigantes, pilastras de puentes, láminas y bóvedas, además de los pilares y las vigas de las estructuras.

4.6. Estructuras laminares

Están formadas por láminas finas de metal, plástico o materiales compuestos, como el hormigón armado. Deben su resistencia a la **curvatura o pliegues que presentan**.

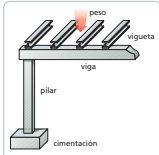
- La curvatura hace que las láminas resistan esfuerzos de tracción y compresión en su superficie.

- Los pliegues y nervaduras dan rigidez puntual a las zonas donde se sitúan. Así, por ejemplo, el reborde de un vaso de plástico evita que este se deforme cuando bebemos, y las estrías que presenta en la zona de agarre lo hacen más resistente a la compresión en dicha zona.



Oceanográfico de Felix Candela.

- 19** Experimenta con estructuras laminares. Apoya una hoja de papel entre dos mesas. ¿Se mantiene horizontal? Prueba de nuevo, pero esta vez curva la hoja, como en la estructura de la figura. ¿Qué ocurre? ¿Por qué?



Estructura de un edificio.

- 18** Identifica en la fotografía los distintos elementos de las estructuras entramadas e imagina el recorrido que hace nuestro peso hasta llegar al suelo.

4.7. Estructuras neumáticas

Las estructuras **neumáticas** son **desmontables y ligeras**, de ahí que se empleen en construcciones que deben ser transportadas e instaladas de forma rápida y sencilla, como los hospitales de campaña o las atracciones infantiles de feria.

El aire que contienen está comprimido y crea volúmenes que traccionan la superficie plástica envolvente. Esto les permite mantenerse erguidas.

4.8. Estructuras espaciales y geodésicas

Son **estructuras tridimensionales** de barras que combinan las propiedades de las bóvedas con las de las estructuras trianguladas. De esta forma pueden crear curvas y cubrir grandes luces.



- 20** ¿Puede este tipo de estructuras soportar esfuerzos de flexión?



Cúpula geodésica del Oceanográfico del Parque de las Ciencias de Valencia.

Detalle del nudo de una estructura geodésica.

- 21** ¿Cómo se unen las barras al nudo metálico en la fotografía? ¿Qué esfuerzos puede soportar ese tipo de unión?

Están constituidas por barras lineales y nudos entre ellas. Se basan en el empleo del triángulo y su equivalente tridimensional, el tetraedro, ambos indeformables.

- 22** Muchas estructuras están formadas por una combinación de varios tipos de los que hemos visto. Analiza los viaductos de las fotografías y di qué tipos de estructuras y materiales aparecen en ellos. ¿Encuentras relación entre la forma y el material de cada elemento y el esfuerzo que soporta? ¿Cuál?



Viaducto de Madrid.

Viaducto del Hacho, en Granada.

- 23** Vamos a reflexionar sobre los materiales que podrías utilizar en la construcción de tu puente: hilo, barra de papel, alambre, cartón, madera de balsa, etc. ¿Cómo y con qué criterio utilizarías estos materiales para la construcción de los distintos elementos de tu maqueta?

- 24** Recuerda los diferentes tipos de estructuras que hemos estudiado, decide qué tipo de puente quieres construir para la propuesta del proyecto guía de esta unidad y haz un primer boceto del mismo.



Ideas claras

- Las estructuras artificiales son creadas por los seres humanos.
- Pueden ser: masivas y adinteladas, abovedadas, trianguladas, colgantes, entramadas, laminares, neumáticas, espaciales y geodésicas.

4.5. Estructuras entramadas de hormigón armado

La importancia de las estructuras entramadas radica en que son las que más se utilizan en la construcción de edificios y viviendas.

No importa el material con que estén hechas, ya que todas funcionan de modo similar y su fin es el mismo: llevar las cargas desde un punto a la cimentación, dejando libre un espacio para vivienda entre las plantas del edificio.

Si se conoce algún edificio en obras cercano al centro de estudios, se puede plantear una visita corta o, como tarea para casa, el estudio del tipo de forjado que presenta (forjado unidireccional con bovedillas, bidireccional con casetones, losa plana...) y cómo se construye. Para ello, se puede pedir a los alumnos que hagan fotografías de la obra y señalen sobre ellas los distintos elementos estudiados.

Para reforzar la explicación podría ser conveniente ir localizando dentro del aula los elementos estructurales que van apareciendo en el texto.

4.6. Estructuras laminares

Las estructuras laminares consiguen buenas resistencias a pesar de su poco espesor, pues la propia curvatura de su forma hace que se comporten como bóvedas o funiculares.

El ejemplo más sencillo para explicar a los alumnos sería una chapa de las que se colocan para tapar boquetes en la calzada: tienen un pequeño espesor, pero aguantan el peso de los vehículos sobre ellas porque se curvan a su paso, convirtiéndose en bóvedas invertidas que soportan la tracción en lugar de la flexión.

4.7. Estructuras neumáticas

Las estructuras de este tipo no son rígidas y tienen un uso limitado.

Se emplean básicamente para cubrir espacios, pero no existe la posibilidad de constituir edificaciones que soporten peso sobre ellas.

4.8. Estructuras espaciales y geodésicas

En este apartado nos referimos a las estructuras reticuladas espaciales.

Son estructuras que aúnan las ventajas de las estructuras de barras trianguladas y las de las cúpulas y estructuras tridimensionales.

Su ventaja es que se necesitan solamente dos tipos de elementos para su construcción (barras y nudos) y su montaje, por lo tanto, resulta muy rápido.

Animación: TIPOS DE ESTRUCTURAS

Animación en forma de actividad. Se trata de relaciona cada fotografía de una estructura con el tipo de estructura.

Solución de las actividades

- 18** Identifica en la fotografía los distintos elementos de las estructuras entramadas e imagina el recorrido que hace nuestro peso hasta llegar al suelo.

En la fotografía observamos las vigas de borde del forjado y los pilares de dos de los pisos. Las cargas situadas en el forjado se transmiten en primer lugar a las viguetas, estas las llevan hasta las vigas principales y desde ahí bajan de un piso a otro hasta llegar a la cimentación del edificio.

- 19** Experimenta con estructuras laminares. Apoya una hoja de papel entre dos mesas. ¿Se mantiene horizontal? Prueba de nuevo, pero esta vez curva la hoja, como en la estructura de la figura. ¿Qué ocurre? ¿Por qué?

Una hoja entre dos mesas sirve para comprobar la eficacia de los pliegues y las curvaturas en las láminas, un folio enrollado como un tubo hueco o plegado en cuatro se mantiene mucho mejor que completamente plano, puesto que adopta la forma de arco o adquiere un canto para soportar la flexión a la que está sometido.

- 20** ¿Puede este tipo de estructuras soportar esfuerzos de flexión?

Estas estructuras no pueden someterse a grandes cargas, se mantienen en pie debido al equilibrio entre la compresión del aire en su interior y la tracción de las membranas exteriores, pero son simplemente autoportantes, no pueden tener varios pisos, ni soportar esfuerzos de flexión sin deformarse mucho.

- 21** ¿Cómo se unen las barras al nudo metálico en la fotografía? ¿Qué esfuerzos puede soportar ese tipo de unión?


Los nudos de este tipo de estructura tienen que estar diseñados para soportar compresión y tracción en su unión con las barras, ya que son los dos tipos de esfuerzo que las barras presentan.

- 22** Muchas estructuras están formadas por una combinación de varios tipos de los que hemos visto. Analiza los viaductos de las fotografías y di qué tipos de estructuras y materiales aparecen en ellos. ¿Encuentras relación entre la forma y el material de cada elemento y el esfuerzo que soporta? ¿Cuál?

El viaducto de Madrid es un arco de hormigón al que la carga superior le llega a través de barras de hormigón verticales, todos los elementos están comprimidos.

El viaducto del Hacho es una estructura de pilares verticales comprimidos realizados de ladrillo sometidos a compresión y una viga triangulada metálica (la viga está flexionada y cada barra traccionada o comprimida).


Los materiales como el hormigón, el ladrillo y la piedra se emplean en elementos sometidos a compresión y el acero en elementos que pueden estar traccionados.

- 23**  Vamos a reflexionar sobre los materiales que podrías utilizar en la construcción de tu puente: hilo, barra de papel, alambre, cartón, madera de balsa, etc. ¿Cómo y con qué criterio utilizarías estos materiales para la construcción de los distintos elementos de tu maqueta?

Alambre e hilo solo pueden emplearse en elementos como tirantes o barras que vayan a estar traccionados.

Las barras de papel y el cartón son polivalentes, aunque si van a estar comprimidos deben tener bastante grosor.

La madera de balsa es quebradiza y hay que tener en cuenta su orientación (al igual que el cartón) a la hora del diseño, siempre resiste más en el sentido de las fibras.

- 24**  Recuerda los diferentes tipos de estructuras que hemos estudiado, decide qué tipo de puentes quieres construir para la propuesta del proyecto guía de esta unidad y haz un primer boceto del mismo.

RESPUESTA LIBRE.

5. CONDICIONES DE LAS ESTRUCTURAS

Debate con tus compañeros sobre las condiciones que ha de cumplir una estructura para comportarse como tal.

Una estructura debe cumplir varias condiciones para poder funcionar correctamente, las tres básicas son:

- **Estabilidad:** debe mantenerse erguida y no volcar. Para ello, su **centro de gravedad** ha de estar centrado sobre su base. Cuanto más centrado y más cercano al suelo se encuentre, más estable será la estructura.
- **Resistencia:** tiene que resistir las tensiones a las que esté sometida sin romperse. La resistencia de una estructura depende de su forma y del material con el que está construida.
- **Rigidez o deformación controlada:** aunque todos los cuerpos se deforman levemente al aplicales una fuerza, esta deformación no debe impedirles cumplir su función.

Además de las tres condiciones básicas de toda estructura, debemos tener en cuenta su viabilidad económica y la adecuación estética de la misma.

Analiza cómo afecta cada condición a tu diseño del puente. Propón al menos dos soluciones distintas para asegurar su estabilidad, resistencia y rigidez.

5.1. ¿Cómo se consigue que una estructura sea estable, resistente y poco deformable?

Estabilidad

Para conseguir que una estructura sea estable se puede recurrir a las siguientes soluciones:



Resistencia

- Depende del material con el que se construya la estructura, de la cantidad del mismo que se emplee, de la forma que tenga cada parte y de su adecuación al esfuerzo al que esté sometida.
- Todos los materiales poseen una **tensión de rotura** para cada tipo de esfuerzo. Esta tensión es la máxima fuerza por unidad de superficie que pueden aguantar sin romperse. El orden de los materiales más comunes en función de su mayor a menor resistencia es: acero, piedra, hormigón, madera, plástico, hilo, cartón y papel.



El centro de gravedad de un cuerpo es el punto de aplicación del peso de dicho cuerpo.

25 ¿Cuál de estos tres cuerpos te parece más estable? ¿Cuál menos? ¿Por qué?

26 ¿Cuál de estas formas fue utilizada como estructura antes que las otras dos? ¿Por qué?



Torre de Comunicaciones de Montjuïc. El diseño de la torre inclinada está pensado para que el peso de la parte superior recaiga sobre su base.

27 ¿Dónde estaría el centro de gravedad de esta torre? Justifica tu respuesta.

Rigidez

Para evitar deformaciones excesivas y dar **rigidez** a las estructuras debemos tener en cuenta tres aspectos fundamentales: Forma, uniones y triangulación.

- La **forma** de los elementos, debe decidirse en función del esfuerzo que soportan:
 - **Compresión:** emplearemos **elementos gruesos**, aunque sean huecos, para evitar el pandeo¹.
 - **Tensión:** bastará con aumentar la sección y tensar bien los elementos traccionados.
 - **Flexión:** aumentaremos el canto del elemento y acumularemos el material en las partes superior e inferior.

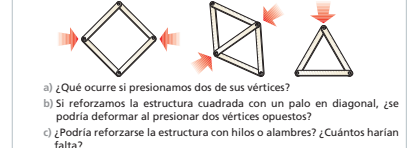


Los perfiles huecos se adaptan bien al esfuerzo de compresión. Los perfiles en I y en T son óptimos para resistir los esfuerzos de flexión.

Para conseguir **uniones rígidas** entre los elementos de una estructura de hormigón armado se **entrelaza la armadura** de acero. En el caso de una estructura metálica se utilizan elementos intermedios, como las **carretas**. Estas aumentan la superficie de soldadura y, por tanto, de unión.

La **triangulación** evita deformaciones en las estructuras de barras. Podemos emplearla directamente o añadir **arriostamientos**² posteriores mediante cables en forma de cruz.

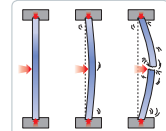
30 Imagina una estructura formada por cuatro palos de helado unidos por encuadernadores o tornillos:



- a) ¿Qué ocurre si presionamos dos de sus vértices?
- b) Si reforzamos la estructura cuadrada con un palo en diagonal, ¿se podría deformar al presionar dos vértices opuestos?
- c) ¿Podría reforzarse la estructura con hilos o alambres? ¿Cuántos harían falta?

31 Observa la estructura del puente de la fotografía. ¿Cómo se han resuelto la estabilidad, la resistencia y la rigidez?

32 Una vez estudiadas todas las condiciones que deben cumplir las estructuras, revisa el diseño de tu puente y haz un croquis a escala 1:2 o 1:3 de tu maqueta.



Para evitar el pandeo hay que procurar que los elementos comprimidos no sean excesivamente delgados.

28 ¿Por qué es peligroso el pandeo en una estructura?

¹pandeo: esfuerzo de flexión que aparece en un elemento comprimido (pilar) cuando su carga no está centrada o sufre un empuje lateral.

²arriostamiento: acción de estabilizar una estructura usando de elementos que impidan su deformación.



Arriostamiento en cruz de San Andrés.

29 Observa los dos cables que se cruzan en la estructura. ¿Qué crees que le aportan?

Ideas claras

Para que una estructura cumpla su función debe cumplir estas condiciones: ser estable, resistente y rígida.

5. Condiciones de las estructuras

Para empezar a pensar en las condiciones que debe cumplir una estructura podemos proponer en clase que los alumnos sugieran qué condiciones creen que serían necesarias en este aspecto. Esta pregunta de inicio nos puede servir como actividad de motivación.

Hay que tener en cuenta que este apartado introduce tres conceptos importantísimos para el diseño de estructuras: la estabilidad, la resistencia y la rigidez.

Es conveniente insistir en que no tienen por qué darse las tres a la vez, sino que son independientes unas de otras y todas son imprescindibles.

Normalmente, la única condición que de modo instintivo se asocia a las estructuras es la resistencia. Se pueden poner ejemplos extremos: un puente elástico que no se rompe pero no sirve para su cometido; una pechera que soporta muy bien la carga de la presión del agua sin apenas deformarse pero que se rompe al menor golpe, etcétera.

Además de las tres condiciones fundamentales que toda estructura debe cumplir, podemos mencionar la importancia de la viabilidad económica del proyecto y también de su adecuación estética.

Sería conveniente dedicar algo de tiempo a explicar lo que es el **centro de gravedad** de un cuerpo. Con este propósito, se pueden utilizar un libro, un bolígrafo o cualquier otro cuerpo inestable en posición vertical. La explicación de que un cuerpo se mantenga en equilibrio es porque su centro de gravedad se encuentra verticalmente alineado dentro de la superficie de apoyo; cuanto mayor es la base sobre la que se apoya, mayor estabilidad tiene, porque puede mover su centro de gravedad sin salirse de la base; cuando se sale de la misma, el cuerpo pierde estabilidad y vuelca.

Puede pedirse a los alumnos que digan dónde se sitúa su propio centro de gravedad.

Respecto al cuadro de texto *El centro de gravedad*, situado en el margen de la página 110 del *Libro del alumno*, conviene comentar que:

- Siempre que la densidad de los cuerpos sea homogénea, es más estable el primero representado (el que tiene forma triangular).
- El menos estable es el tercero (el inclinado), porque su centro de gravedad no cae dentro de su base y volcaría.
- La primera fue utilizada como estructura antes que las otras dos, precisamente porque su gran estabilidad hace muy difícil que vuelque o se derrumbe.

Antes de ver cómo podemos conseguir que una estructura cumpla las tres condiciones se plantea una nueva cuestión que les haga pensar a los alumnos en su diseño de puente respecto a estos tres aspectos: la estabilidad, la resistencia y la rigidez. Les pedimos además que aporten dos diseños que cumplan las condiciones.

5.1. ¿Cómo se consigue que una estructura sea estable, resistente y poco deformable?

- Estabilidad: Si observamos las cuatro imágenes podemos ver las formas de conseguir esta primera condición: aumentar el tamaño de la base, empotrar la parte inferior en el suelo, centrar el peso del cuerpo en su parte baja y atirantar la estructura.
- Resistencia: se explica la relación entre el material del que está hecho la estructura, la cantidad que se emplee y la adecuación al esfuerzo que deba soportar con la resistencia del mismo.

También conviene introducirles el concepto de tensión de rotura e incluso ilustrárselo con alguna gráfica donde se relacione esfuerzo y deformación.

- **Rigidez:** para conseguir la rigidez de las estructuras debemos hacer referencia a la forma de los elementos, las uniones y la triangulación:

Forma de los elementos: en este caso podemos apoyarnos en las ilustraciones de diferentes perfiles estructurales para explicar cuáles son los más apropiados para cada tipo de esfuerzo.

Uniones: Las uniones entre barras, sean metálicas o de madera, no son nunca completamente rígidas, por lo que a nivel estructural se consideran articulaciones, y es necesario utilizar figuras que mantengan su forma ante los esfuerzos, a pesar de la posibilidad de giro de la unión; por eso, el ejercicio de esta página de los palitos unidos con encuadernadores es tan ejemplificador.

Triangulación: En este primer ejercicio puede observarse también que el triángulo es la única figura que queda definida con la longitud de sus lados, sin que existan dos triángulos distintos con las mismas medidas. No es que el triángulo garantice la indeformabilidad de la estructura (de hecho, las barras se alargan o acortan en función de los distintos esfuerzos); lo que sí impide es que se deforme libremente. Podemos verlo también en las escuadras que se utilizan para reforzar las uniones metálicas entre viga y pilar. Las estructuras trianguladas son muy fáciles de construir con barras de papel, palitos de helado, palillos, etc. El proceso de formación de triángulos en la estructura se denomina «triangulación».

Respecto a la rigidez de elementos muy largos sometidos a compresión podemos ampliar la explicación haciendo referencia al pandeo que sufren estos elementos cuando son demasiado delgados. Y relacionarlo con qué forma del elemento puede ayudar a contrarrestar este efecto en las estructuras.

Animación: CONDICIONES DE UNA ESTRUCTURA

Animación en el que se especifican las condiciones que debe tener una estructura para que sea estable, resistente a las tensiones a la que está sometida y rígida o con deformación controlada.

Actividades de refuerzo: CONDICIONES DE UNA ESTRUCTURA

Actividades para practicar más las condiciones de una estructura.

Solución de las actividades

- 25 ¿Cuál de estos tres cuerpos te parece más estable? ¿Cuál menos? ¿Por qué?

La pirámide es la forma más estable al disponer de una gran base y tener la mayor parte de su masa cercana al suelo y centrada, su centro de gravedad se encuentra a $1/3$ de su altura, el trapecio invertido tiene su CDG centrado pero la masa se acumula en la parte superior, lo que es peligroso (altura del CDG del trapecio $h \cdot (2a + b) / 3(a + b)$), por último la tercera estructura no es estable puesto que su CDG cae fuera de su base y volcaría.

- 26 ¿Cuál de estas formas fue utilizada como estructura antes que las otras dos? ¿Por qué?

La pirámide se empleó antes como estructura por su estabilidad y la facilidad que tenía para adaptarse al material que se empleaba antiguamente, la piedra.

- 27 ¿Dónde estaría el centro de gravedad de esta torre? Justifica tu respuesta.

El centro de gravedad de la torre se encontrará entre la antena y la parte posterior, centrado sobre la base para facilitar su estabilidad.

- 28 ¿Por qué es peligroso el pandeo en una estructura?

Porque añade esfuerzos de flexión a elementos que están diseñados para soportar compresión, haciendo que sea más fácil romperlos, además el pandeo cuando aparece es un proceso que se autoalimenta.

- 29 Observa los dos cables que se cruzan en la estructura. ¿Qué crees que le aportan?

Le aportan rigidez para que no pueda deformarse lateralmente.

- 30 Imagina una estructura formada por cuatro palos de helado unidos por encuadernadores o tornillos:

- a) ¿Qué ocurre si presionamos dos de sus vértices?

Se deformaría.

- b) Si reforzamos la estructura cuadrada con un palo en diagonal, ¿se podría deformar al presionar dos vértices opuestos?

En ese caso la barra que triangula impide la deformación en cualquier sentido al resistir tanto a compresión como a tracción.

- c) ¿Podría reforzarse la estructura con hilos o alambres? ¿Cuántos harían falta?

Para conseguir la rigidez de un cuadrado con hilo o alambre hacen falta dos, en las dos diagonales ya que el hilo o alambre solo soporta esfuerzos de tracción.

- 31 Observa la estructura del puente de la fotografía. ¿Cómo se han resuelto la estabilidad, la resistencia y la rigidez?

La estabilidad se ha conseguido con la simetría, la localización centrada de los pilares (hay parte del puente que sobresale a ambos lados) y el aumento de la base en la cimentación.

La resistencia la proporcionan tanto el grosor del tablero como los tirantes.

La rigidez se consigue por la forma y las uniones pegadas (en algunos casos con superposición de elementos).

- 32 Una vez estudiadas todas las condiciones que deben cumplir las estructuras, revisa el diseño de tu puente y haz un croquis a escala 1:2 o 1:3 de tu maqueta.

RESPUESTA LIBRE, es parte del portfolio de la tarea.

6. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

¿Podrías citar los diferentes elementos estructurales que has estudiado hasta el momento? ¿Qué función cumple cada uno? Debate con tus compañeros las respuestas.

A lo largo de la unidad hemos visto distintos tipos de elementos estructurales. A continuación vamos a estudiar los más importantes, clasificados según su función.

6.1. Pilar, columna y pilastra

Se trata de **elementos verticales** que soportan el peso de la estructura que está por encima de ellos y lo transmiten hasta un nivel inferior o hasta la cimentación. Esta, a su vez, traslada al terreno las cargas del resto de la estructura.

Resisten esfuerzos de compresión y, según el periodo de la historia en el que se construyeron, son de piedra, de hormigón armado o metálicas.

- Los pilares son cuadrados o rectangulares.
- Las columnas son cilíndricas y, además de funciones estructurales, suelen tener fines decorativos.
- Las pilastras son columnas o pilares adosados a un muro.

6.2. Viga, vigueta y dintel

Son **elementos horizontales lineales**. Su función es salvar un espacio entre dos apoyos.

- Las vigas se apoyan en los pilares y les transmiten el peso del forjado o la cubierta.
- Las viguetas son pequeñas vigas dentro del forjado que llevan las cargas hasta las vigas.
- Los dinteles, denominados arquivadros en la arquitectura clásica, sirven para salvar el espacio entre columnas o para abrir huecos, ventanas o puertas en los muros.

Estos elementos soportan esfuerzos de flexión y, en la actualidad, se construyen en acero u hormigón armado (recuerda que el hormigón resiste la compresión y las armaduras de acero la tracción).

En la antigüedad, cuando la piedra era uno de los materiales de construcción más utilizados, los dinteles no podían tener mucha longitud, por lo que los huecos que se abrían eran pequeños.



Palacio del Té, en Italia.



Dintel en arquitectura popular.



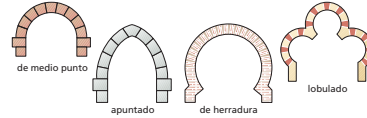
Templo griego (Partenón, Atenas).

6.3. Arcos y bóvedas

Son **elementos curvos, bi o tridimensionales**, que sirven para cubrir el espacio entre dos muros o columnas. Las piezas que los forman resisten esfuerzos de compresión y, por ello, se suelen construir con materiales como la piedra.

Los **arcos** se construyen mediante una estructura auxiliar llamada **cimbra**, que sujeta las piezas que lo forman (**dovelas**) mientras se está construyendo. La colocación de la pieza superior, que se denomina **clave**, hace que el arco se sostenga por sí mismo, es decir, que sea autoportante, sin necesidad de emplear cemento o argamasa entre las dovelas.

Existen diferentes tipos de arcos según su forma: de medio punto, apuntados, de herradura, carpaneles, lobulados o conopiales, por ejemplo.



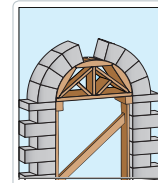
Las **bóvedas** se construyen a partir de una sucesión continua de arcos (bóveda de cañón) o entrecruzando varios (bóveda de crucería).



Arco de medio punto.



Bóveda de crucería.



¿Sabrías identificar la cimbra en la construcción de la bóveda que observas en la imagen?

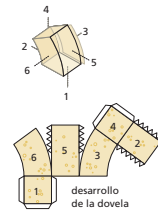
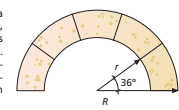


Fachada del palacio Ducal de Venecia.

¿Qué tipos de arcos puedes apreciar en la fachada de este edificio?

Dibuja en tu cuaderno las estructuras de esta doble página de manera esquemática e identifica sus elementos estructurales. Indica de qué material está construido cada uno y a qué tipo de esfuerzo está sometido. ¿Qué esfuerzo soportan principalmente los elementos hechos con piedra? ¿Por qué crees que es así?

A partir del desarrollo plano de la dovela que aparece en el margen, construye un arco utilizando sus piezas (necesitarás cinco de ellas). Móntalo sobre una cartulina en horizontal y, levantándolo con cuidado, comprueba que se sostiene sin pegamento.



6. Elementos estructurales

Iniciamos este apartado de la unidad haciendo una cuestión al grupo sobre los elementos estructuras que recuerdan haber estudiado a lo largo de la unidad, así como la función que realiza cada uno de ellos. Se trata de clasificar y explicar los elementos estructurales más sencillos desde la función que realizan.

El pilar, la columna y la pilastra son elementos verticales sometidos a esfuerzos de compresión. Su principal función es transmitir las cargas a través de los distintos pisos hasta la cimentación. Podríamos hacer el ejercicio de hacerles reconocer los elementos verticales dispuestos en la imagen del palacio del Té, en Italia, que aparece en el margen.

La viga, la vigueta y el dintel son elementos lineales y, en este caso, horizontales. Su función principal es salvar un espacio entre dos puntos. Los materiales utilizados actualmente son el acero y el hormigón armado. Hay que destacar la importancia de estos materiales frente a la piedra, gracias a los cuales se han podido salvar distancias cada vez mayores. Para identificar algunos estos elementos podemos preguntar al grupo sobre las imágenes del templo griego y del dintel.

Los arcos y las bóvedas son elementos estructurales curvos. El arco como elemento bidimensional y la bóveda tridimensional. Respecto a los arcos es conveniente explicarles las partes y diferentes piezas de un arco y su forma de construcción. Para ello, podemos apoyarnos en la ilustración del margen donde se aprecia la cimbra del arco y la superposición de piezas a falta de la clave.

En cuanto a las bóvedas, una forma muy visual de hacerles entender qué es una bóveda, comenzando por la bóveda de cañón, es explicarla como la traslación de un arco sobre un eje longitudinal. De esta forma pasamos de tener un elemento bidimensional a

otro que nos sirve para cubrir un espacio continuo, como podría ser la nave de un edificio religioso.

Solución de las actividades

¿Sabrías identificar la cimbra en la construcción de la bóveda que observas en la imagen?

La cimbra es el elemento de madera que sirve de apoyo y molde mientras el arco se está construyendo.

¿Qué tipos de arcos puedes apreciar en la fachada de este edificio?

Hay arcos apuntados en el soportal inferior y arcos lobulados en la galería superior.

Dibuja en tu cuaderno las estructuras de esta doble página de manera esquemática e identifica sus elementos estructurales. Indica de qué material está construido cada uno y a qué tipo de esfuerzo está sometido.

¿Qué esfuerzo soportan principalmente los elementos hechos con piedra? ¿Por qué crees que es así?

Los elementos de piedra suelen estar sometidos a compresión dado que es el esfuerzo que mejor resiste ese material.

A partir del desarrollo plano de la dovela que aparece en el margen, construye un arco utilizando sus piezas (necesitarás cinco de ellas). Móntalo sobre una cartulina en horizontal y, levantándolo con cuidado, comprueba que se sostiene sin pegamento.

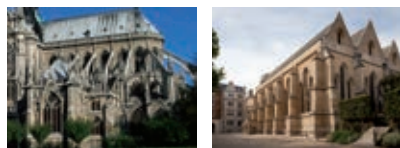
En la fabricación de las dovelas hay que procurar que las caras que apoyan entre sí queden planas, también se puede construir una cimbra de cartón para ir las montando sobre ella y retirarla al colocar la clave.

6.4. Arbotantes y contrafuertes

Son elementos destinados a contener las cargas de los arcos y las bóvedas.

- El **arbotante** es un arco exterior que lleva las cargas perpendiculares de las bóvedas hasta el contrafuerte, que es el elemento vertical que las soporta.
- El **contrafuerte** puede estar directamente adosado al muro, para reforzarlo y transmitir las cargas de las bóvedas al terreno.

Además de piedra, en la actualidad también se realizan en hormigón armado.



Arbotantes y contrafuertes.

Contrafuertes.

6.5. Muros de carga y contención

Son **elementos verticales** que transmiten las cargas hasta el terreno.

- Los **muros de carga** resisten esfuerzos de compresión y pueden estar contruados con materiales como piedra, ladrillo o adobe.
- Los **muros de contención** soportan esfuerzos de flexión debido a la fuerza que el terreno ejerce sobre ellos y, por tanto, deben construirse en hormigón armado o empleando una gran acumulación de masa.



Muro de carga.

Muro de contención.

6.6. Forjado

Es un **elemento horizontal** que se extiende en dos direcciones y transmite las cargas que soporta al resto de la estructura. Resiste esfuerzos de flexión y está formado por:

- Viguetas:** llevan el peso del forjado hasta las vigas.
- Bovedillas:** cubren el espacio entre las viguetas. Son elementos huecos que ayudan a aligerar el peso del forjado.
- Capa superior de hormigón armado:** da homogeneidad al forjado.



Forjado de viguetas y bovedillas.



El hormigón necesita un molde hasta que se endurece (o fragua). Ese molde, que luego se retira, se denomina encofrado.

37 En la imagen podemos ver el encofrado de las vigas principales de un forjado. Localiza también las **armaduras de espera** del pilar, las armaduras de las vigas, los apeos provisionales y la red de seguridad.

Armadura de espera: conjunto de barras de acero que sobresalen de algunos elementos en construcción, como los pilares, necesarias para dar continuidad a la estructura.



6.7. Basamento, zapata, losa y pilote

Se encargan de repartir la carga de la estructura, edificio o puente sobre el terreno, para que la construcción no se hunda. Al conjunto de elementos que realizan esta función se los denomina **cimentación**. Existen diferentes tipos:

- El **basamento** es el elemento inferior de la estructura. Se trata de una plataforma que sostiene el resto de la estructura y sirve como base.
- Las **zapatas** son prismas rectangulares de hormigón situados bajo los pilares.
- La **losa de cimentación** es un elemento superficial de hormigón que se apoya en el terreno y se encarga de repartir las cargas sobre este. Suele emplearse en terrenos blandos.
- Los **pilotes** son columnas que se colocan verticalmente en suelos inestables o arcillosos, a bastante profundidad, para alcanzar un terreno más firme sobre el que apoyarse.

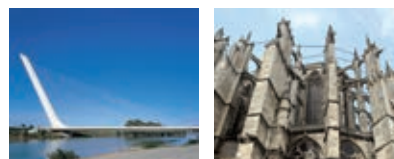


Cimentación con zapatas.

Cimentación con pilotes.

6.8. Tirantes y tensores

Son **elementos lineales**, normalmente cables de acero, que deben resistir únicamente esfuerzos de tracción y se emplean en estructuras colgantes o en arriostramientos.



Puente del Alamillo, en Sevilla.

Arriostramiento en contrafuertes.

38 Dibuja en tu cuaderno las estructuras de esta doble página de manera esquemática e identifica sus ocho elementos estructurales. Indica de qué material está construido cada uno y a qué tipo de esfuerzo está sometido. ¿Qué esfuerzo soportan principalmente los elementos hechos de hormigón en masa y armado? ¿Y los realizados en acero? ¿Por qué crees que es así?



Ideas claras

Los **elementos estructurales** clasificados según las siguientes funciones son:

- Resistir esfuerzos de compresión: pilares, columnas y pilastras.
- Salvar un espacio entre dos apoyos con un elemento horizontal: vigas, viguetas y dinteles.
- Cubrir el espacio entre dos muros o columnas con un elemento curvo: arcos y bóvedas.
- Contener las cargas de los arcos y bóvedas: arbotantes y contrafuertes.
- Transmitir las cargas hasta el terreno: muros de carga y muros de contención.
- Transmitir las cargas del forjado: viguetas, bovedillas y capa superior de hormigón armado.
- Repartir la carga de la estructura sobre el terreno: basamento, zapatas, losas de cimentación y pilotes.
- Resistir esfuerzos de tracción: tirantes y tensores.

Los **arbotantes y contrafuertes** son elementos que soportan las cargas de arcos y bóvedas y las transmiten a la cimentación. Los arbotantes son elementos curvos que transmiten las cargas desde la imposta del arco hasta el contrafuerte, mientras que el contrafuerte es un elemento vertical que puede estar o no adosado al muro. La función principal del contrafuerte es reforzar la resistencia del muro y llevar las cargas de las bóvedas al terreno.

Los **muros de carga y contención** son elementos verticales que transmiten la carga al terreno. La diferencia entre ellos es que los muros de carga resisten esfuerzos de compresión mientras que los muros de contención trabajan a flexión. Por ello los materiales que se utilizan son piedra y ladrillo en el primer caso y hormigón armado en el segundo. Actualmente el hormigón es el material más empleado para ambas tipologías.

El **forjado** es un elemento horizontal que soporta esfuerzos de flexión y que transmite la carga al resto de la estructura. Los forjados comunes están formados por viguetas, bovedillas y una capa superior de hormigón armado. Cada uno de ellos tiene una función determinada: las viguetas, llevar las cargas hasta las vigas; las bovedillas, cubrir los huecos (podemos mencionar que a pesar de la apariencia de estos elementos no son elementos resistentes, por lo que es muy importante no apoyar nuestro peso en ellos cuando se trabaja en una obra, es posible que no aguante y podría provocar un accidente) en la capa superior que da homogeneidad y hace que las cargas se repartan de forma uniforme.

La fotografía del margen hace referencia al encofrado del hormigón. Es una de las partes fundamentales de la construcción con hormigón y suele ser un tema que atrae a los alumnos, pues es la manera de dar forma a los diferentes elementos estructurales.

El **basamento, zapata, losa y pilote** son los principales elementos de cimentación en las diferentes construcciones. La elección de

uno u otro dependerá del tipo de construcción y de la morfología y características del terreno. Todos ellos son elementos cuya función es transmitir las cargas de la estructura al terreno que lo sostiene.

Los **tirantes y tensores** son lineales y solo resisten esfuerzos de tracción. Se utilizan sobre todo en estructuras colgantes o en arriostramientos.

Actividades de refuerzo: TIPOS DE ESTRUCTURAS

Actividades para reforzar los tipos de estructuras.

Solución de las actividades

37 En la imagen podemos ver el encofrado de las vigas principales de un forjado. Localiza también las armaduras de espera del pilar, las armaduras de las vigas, los apeos provisionales y la red de seguridad.

Las armaduras de espera del pilar sobresalen en medio de la foto, las de las vigas se ven a lo largo del perímetro y en el centro, la red se extiende por el perímetro y en el hueco central y algún apeo se observa por debajo del forjado.

38 Dibuja en tu cuaderno las estructuras de esta doble página de manera esquemática e identifica sus ocho elementos estructurales. Indica de qué material está construido cada uno y a qué tipo de esfuerzo está sometido. ¿Qué esfuerzo soportan principalmente los elementos hechos de hormigón en masa y armado? ¿Y los realizados en acero? ¿Por qué crees que es así?

Los elementos de hormigón en masa soportan principalmente compresión, los de hormigón armado flexión y los de acero tracción, esto es así porque se aprovecha la mayor resistencia de cada material aun tipo de esfuerzo.



ANÁLISIS TIPOLÓGICO

En este tipo de análisis determinaremos qué tipo de estructura se ha empleado en una construcción y qué elementos podemos reconocer en ella.

A continuación realizaremos el análisis de las estructuras mostradas en dos fotografías distintas:

a) En esta primera imagen observamos dos estructuras diferentes utilizadas para salvar una misma vauada o desnivel.

■ En primer plano encontramos un **punto anti-guio** construido en piedra y ladrillo que, a pesar de presentar un arco de medio punto, responde al tipo de **estructura masiva**. En la construcción de estas estructuras se emplean muros de piedra y ladrillo en el exterior y relleno de otros materiales en el interior. En este caso, el arco es necesario para permitir el paso del agua.

■ En la parte superior de la imagen apreciamos un viaducto moderno construido con **pilares de hormigón prefabricado y vigas trianguladas metálicas**, que sostienen un tablero, también de hormigón. Las vigas trianguladas aligeran la estructura y salvan luces mayores, lo que disminuye el número de pilares o apoyos necesarios. Se suelen utilizar cuando los puentes son de gran altura, además el uso excesivo de pilares encarecería el presupuesto del proyecto.



Análisis tipológico a).

b) El siguiente análisis corresponde a la imagen inferior. En ella observamos, igualmente, dos tipos de estructuras:

■ En un primer plano, una **estructura atirantada** en la que se aprecian unos soportes verticales metálicos, dos **tensores** y una lona traccionada como cubierta. Los tensores y la lona resisten esfuerzos de tracción y los pilares de compresión, lo mismo que ocurre en los puentes colgantes.

■ Al fondo podemos ver una **estructura laminar**, formada por ocho láminas curvadas con forma parabólica. Este tipo de curvatura confiere gran resistencia a las láminas, que pueden tener muy poco espesor y soportar su propio peso. Estas estructuras soportan esfuerzos de compresión.



Análisis tipológico b).

1 Observa la imagen:



- ¿Qué dos tipos de estructuras puedes apreciar en ella?
- ¿Por qué crees que se han empleado dos tipos de estructuras tan distintos en la misma construcción?
- ¿Qué elementos puedes identificar en cada una de ellas?
- ¿Cómo se llaman las piezas que forman el arco? ¿Y la pieza central del mismo?

116

5. Estructuras 117

Análisis tipológico

En esta sección de la unidad nos encargaremos de realizar un análisis del tipo de estructura que se ha empleado en la construcción de un puente en el primer caso, y de un edificio y un parasol en el segundo caso. Además trataremos de reconocer los elementos utilizados para cada una de ellas.

a) Como hemos adelantado el primer análisis es sobre un puente o viaducto moderno construido sobre un puente antiguo. Vamos a diferenciar estas dos partes y a realizar un análisis tipológico para cada uno de ellos. De esta forma los alumnos pueden empezar de forma ordenada a identificar qué tipología es cada uno de ellos y los elementos que las componen.

■ En el primer caso nos interesa que los estudiantes entiendan qué tipología es el puente antiguo. Se trata de una estructura masiva construida con acumulación de material, en concreto piedra y ladrillo. Además en el centro existe un arco para permitir el paso del agua.

■ En relación con el viaducto situado en la parte superior explicaremos los dos elementos fundamentales de los que está formado. Por una parte, los pilares de hormigón prefabricados y por otra, las vigas trianguladas metálicas. Cabe destacar la ventaja de emplear vigas trianguladas que nos permiten salvar luces o distancias mayores con menor cantidad de material y, consecuentemente, un aligeramiento de la estructura.

b) En el segundo análisis observamos dos tipos de estructuras diferentes:

■ Una estructura atirantada en primer plano donde percibimos unos soportes verticales que trabajan a compresión y que sostienen una lona y dos tensores que soportan esfuerzos de tracción.

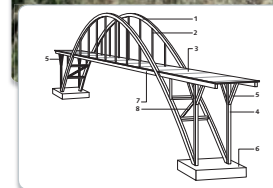
ANÁLISIS FUNCIONAL

A continuación estudiaremos cómo funciona la estructura y sus elementos según las cargas que deben soportar.

Para analizar el funcionamiento de una estructura debemos imaginar cómo se trasladan las cargas desde el punto en que se aplican hasta el terreno donde se apoyan, y qué esfuerzos soportan a su paso en el interior de cada elemento estructural.



Alzado del puente.



- ¿Qué función crees que tiene este puente? ¿Qué piensas que puede haber debajo de él? ¿Es peatonal o transitable para los vehículos?
- Identifica y nombra los elementos del puente numerados en el dibujo indicando de qué material está hecho cada uno de ellos.
- Dibuja el alzado del puente y cómo se deformaría bajo el efecto de las cargas de su propio peso y de las personas andando sobre él.
- Explica qué tipo de esfuerzo aparecería en cada elemento del puente bajo el efecto de esas cargas.
- Dibuja el recorrido de las cargas hasta el suelo por el interior de los elementos del puente.

6 ¿Se podrían intercambiar los materiales de los que están fabricados el tablero y el arco? Explica cuáles utilizarías.

7 ¿Cómo se pueden unir a la viga los tirantes y el tablero? Diseña un tipo de unión para cada caso.

8 Copia la siguiente tabla en tu cuaderno y complétala.

Elemento	Forma	Material	Función	Esfuerzo
Arco	Parabólica		Sostener el puente	Compresión
Tirantes				
Tablas	Prisma alargado			
Pilar		Aceero		
Escuadra			Disminuir la luz de la viga	
Zapata	Prismática			
Viga inferior				
Arriostamiento		Aceero	Evitar la deformación lateral del arco	

■ Una estructura laminar en segundo plano. Son ocho láminas resistentes gracias a la curvatura que han adoptado, con forma parabólica. Soportan esfuerzos de compresión.

Solución de las actividades

1 Observa la imagen:

a) ¿Qué dos tipos de estructuras puedes apreciar en ella?

Una estructura formada por bóvedas y una viga triangulada.

b) ¿Por qué crees que se han empleado dos tipos de estructuras tan distintos en la misma construcción?

Las bóvedas y los arcos dan la estabilidad necesaria a la estructura pero no tienen mucha luz, en el caso en que es necesario dejar pasar el tráfico por debajo se ha empleado la viga triangulada, más ligera y con más espacio entre apoyos.

c) ¿Qué elementos puedes identificar en cada una de ellas?

Las bóvedas presentan dos arcos principales (denominados arcos fajones) y contrafuertes en sus extremos finales, en la viga tenemos un sistema doble de barras trianguladas contrapuestas entre sí (por eso parecen rombos).

d) ¿Cómo se llaman las piezas que forman el arco? ¿Y la pieza central del mismo?

Las piezas que forman el arco se llaman dovelas y la dovela central, clave.

Análisis funcional

En este apartado explicaremos cómo funciona una estructura y sus elementos en función de las cargas que debe soportar. Se trata de imaginarnos como afectan las cargas de la estructura a cada uno de los elementos que la componen, e incluso imaginar cómo se deformarían si no fueran resistentes. Así podremos reconocer los esfuerzos que soportan cada uno de dichos elementos.

Actividades de ampliación: ANÁLISIS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS

Actividades para ampliar sobre los distintos tipos de estructuras.

Solución de las actividades

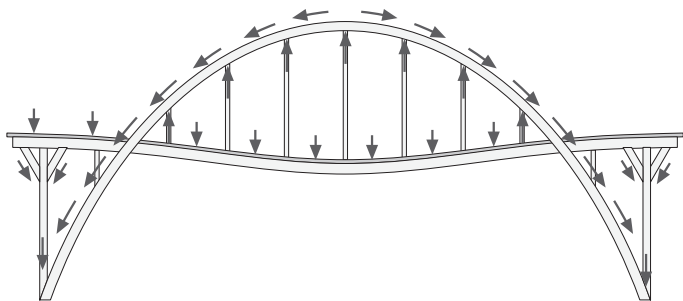
- 1 ¿Qué función crees que tiene este puente? ¿Qué piensas que puede haber debajo de él? ¿Es peatonal o transitable para los vehículos?

El puente sirve para atravesar una zona húmeda en depresión. Lo que habrá debajo será un arroyo o un pequeño curso de agua. Es peatonal.

- 2 Identifica y nombra los elementos del puente numerados en el dibujo indicando de qué material está hecho cada uno de ellos.

1. Arco de acero. 2. Tirante de acero. 3. Tablero de madera. 4. Pilar de acero. 5. Escuadra de acero. 6. Zapata de hormigón. 7. Viga inferior de acero. 8. Arriostramiento de acero.

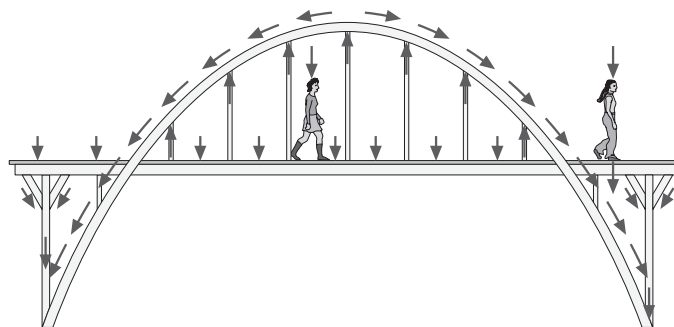
- 3 Dibuja el alzado del puente y cómo se deformaría bajo el efecto de las cargas de su propio peso y de las personas andando sobre él.



- 4 Explica qué tipo de esfuerzo aparecería en cada elemento del puente bajo el efecto de esas cargas.

Elemento	Esfuerzo
Arco	Compresión
Tirantes	Tracción
Tablas	Flexión
Pilar	Compresión
Escuadra	Compresión
Zapata	Compresión
Viga inferior	Flexión
Arriostramiento	Tracción o compresión

- 5 Dibuja el recorrido de las cargas hasta el suelo por el interior de los elementos del puente.



- 6 ¿Se podrían intercambiar los materiales de los que están fabricados el tablero y el arco? Explica cuáles utilizarías.

Aunque el acero y la madera son materiales que resisten bien tracción y compresión, el acero es más adecuado para las tensiones que tiene que soportar este puente (el arco de madera tendría que tener mucha sección) y la madera resulta más agradable para ser pisada, de modo que intercambiarlos no sería una solución.

- 7 ¿Cómo se pueden unir a la viga los tirantes y el tablero? Diseña un tipo de unión para cada caso.

Los tirantes han de unirse a la viga por medio de tensores como el de la imagen. Las tablas pueden atornillarse en cuatro puntos a las alas del perfil de la viga.



- 8 Copia la siguiente tabla en tu cuaderno y complétala.

Elemento	Forma	Material	Función	Esfuerzo
Arco	Parabólica	Acero	Sostener el puente	Compresión
Tirantes	Lineal	Acero	Reforzar la resistencia del arco	Compresión
Tablas	Prisma alargado	Madera	Formar la plataforma de paso del puente	Flexión
Pilar	Lineal	Acero	Transmitir las cargas de la parte superior a la cimentación	Compresión
Escuadra	Lineal	Acero	Disminuir la luz de la viga	Compresión
Zapata	Prismática	Hormigón armado	Transmitir las cargas del puente al terreno	Compresión
Viga inferior	Lineal	Acero	Transmitir las cargas del tablero a los pilares	Flexión
Arriostramiento	Lineal	Acero	Evitar la deformación lateral del arco	Compresión



Ensayo virtual de tu diseño

El trabajo con simuladores permite ensayar de manera virtual el comportamiento que van a tener las estructuras y mejorar su diseño antes de construirlas. En este caso, vamos a emplear un simulador para evaluar y mejorar el diseño de nuestro puente antes de su realización. Se trata de un simulador libre y gratuito llamado **WPBD** (West Point Bridge Designer). En la medida de lo posible, adaptaremos sus condiciones a las de nuestra tarea. Puedes descargar el programa gratuitamente en la página web www.bridgecontest.org.

Este simulador permite diseñar un puente nuevo o emplear algún diseño modelo y mejorarlo. En ambos casos el objetivo final es obtener la mejor estructura posible, es decir, aquella que cumple las condiciones exigidas con menor coste económico.

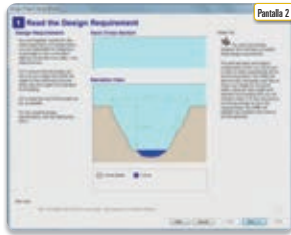
Comenzamos la simulación

Primera fase de selección de condiciones y características previas

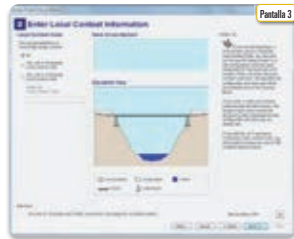
Pantalla 1. Nos da la opción de elegir entre crear un diseño nuevo para el puente o elegir un diseño de muestra. Seleccionamos *Create a New Bridge Design*.



Pantalla 2. Nos especifica las características del terreno y del puente. Las leemos y pulsamos *Next*.



Pantalla 3. El simulador nos da la posibilidad de participar en un concurso. Marcamos la opción de *No participar* y continuamos.



Pantalla 4. Nos permite elegir la altura sobre el nivel del río. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor sea esta mayor será el vano que deberá cubrir el puente y por tanto, la estructura será más cara. A su vez, cuanto mayor sea la altura más disminuirá el coste del acondicionamiento

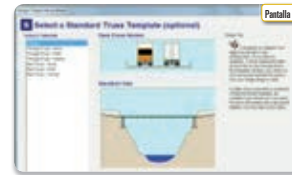


del terreno, puesto que no será necesario realizar desmontes o excavaciones en los laterales donde se apoyará el puente. En nuestro caso, vamos a colocarlo a una altura media, 20 m, con configuración de viga plana (*Standard abutments*), sin apoyos intermedios (*No pier*) y sin cables de anclaje (*No Cable Anchorage*).

Pantalla 5. Escogemos el material para el tablero del puente y el tipo de carga, dejando los que vienen por defecto (recuerda que es una aproximación a nuestro proyecto).



Pantalla 6. El simulador nos permite elegir un diseño de cercha o viga conocida o trabajar con uno libre (*none*), que resulta más interesante, pues así podremos inventar nuevos diseños.

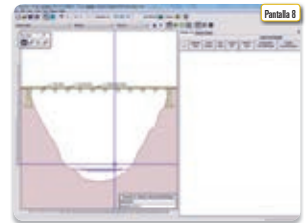


Pantalla 7. En esta pantalla podemos dar nombre a nuestro proyecto, si lo deseamos.



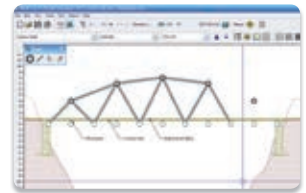
Pantalla 8. El simulador nos explica el proceso de diseño que vamos a seguir:

1. Pulsa el botón *Finish* para acceder a la pantalla de dibujo.
2. Dibuja los nodos o uniones de la estructura (*Tool/Joints*).
3. Dibuja las barras entre los nodos (*Tool/Members*).
4. Realiza la prueba de carga para comprobar si tu diseño es estable y resistente (*Test/Load test*).
5. Añade o refuerza los elementos que fallaron en el test.
6. Optimiza el resultado cambiando la configuración de las barras para abaratar su coste.



Segunda fase de diseño de la estructura de nuestro puente

Una vez pulsado el botón *Finish 1*, aparecerá una pantalla en la que podremos dibujar los nodos (encuentros entre las barras) y las barras que va a tener nuestro puente, y con ello realizar un primer diseño 2. y 3.



Ensayo virtual de tu diseño

Gracias a un simulador virtual, de licencia gratuita, vamos a poder ensayar nuestro diseño y comprobar cómo es de resistente. El simulador es *West Point Bridge Designer*, un programa de descarga gratuita que nos guiará en la consecución del objetivo.

Existen dos opciones dentro del programa: crear una cercha nueva o ensayar alguno de los modelos prediseñados. Podemos recomendar ensayar la estructura que previamente hemos diseñado para nuestro puente, así los alumnos podrán corregir algunos errores que pudiese haber antes de la construcción de la maqueta.

Cuando terminemos la simulación habremos conseguido la mejor estructura posible para cada caso, es decir, aquella que cumple con las condiciones establecidas y además tiene el menor coste económico.

La simulación consta de 8 pasos o pantallas. En cada una de ellas deberemos elegir ciertos parámetros para ir completando el diseño,

pero sin duda la pantalla número 8 es la más importante. Este último paso es donde debemos dibujar nuestro diseño.

La estructura que vamos a realizar es una cercha, por lo que debemos tener en cuenta cómo trabaja la estructura y cada uno de sus elementos al someterlos a una carga.

Una vez realizado el diseño debemos optimizarlo, es decir, conseguir que mantenga su resistencia y cualidades y que su coste sea lo más asequible posible. Para ello se proporcionan unas ideas que pueden ayudar sustancialmente.

Por último, recordar que siempre tendremos acceso al presupuesto para observar si aumenta o disminuye y a qué es debido.

Simulador: WPBD

El alumno podrá mediante este simulador de carga, lo resistente que puede llegar a ser cualquier tipo de estructura que él puede crear.

PROCEDIMIENTOS

Construcción de estructuras de papel y cartón

Convertir unas hojas de papel y unos cartones en una estructura resistente requiere de unas técnicas adecuadas. A continuación veremos diferentes maneras de conformar los materiales para poder utilizarlos en la construcción del puente.

Es especialmente importante que prestes atención a la manera de hacer las uniones entre los distintos elementos y materiales, porque, como ya has aprendido, las uniones son uno de los puntos más débiles de las estructuras.

PAPEL

Con hojas de papel reciclado podemos construir barras resistentes. ¿Cómo?

1. Enrolla la hoja diagonalmente desde una de sus esquinas.
2. Fija el extremo a la barra con cola, pegamento de barra o una tira de cinta adhesiva.
3. Corta los extremos de las barras. ¿Por qué crees que debemos cortar los extremos?



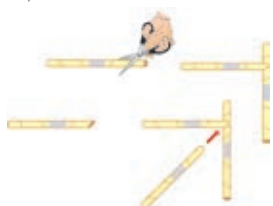
4. Para conseguir mayor grosor y resistencia puedes enrollar varias hojas, añadiéndolas sucesivamente. Cuanto más fino sea el papel más sencillo resultará enrollarlo.

■ Para conseguir barras más largas puedes introducir unas dentro de otras, buscando que encajen debido a su diferente grosor.

■ También puedes unir las barras entre sí mediante otras barras más finas, que quedarán en el interior de ambas. Para reforzar la unión, emplea una tira de cinta adhesiva.



■ Si lo que quieres es unir dos barras perpendicularmente, aplana ambas en el punto de unión o corta en ángulo o bisel¹ los extremos para que encajen perfectamente.



¹bisel: corte oblicuo en el borde o extremo de una lámina o plancha, como en el filo de una herramienta o en el contorno de un cristal labrado.

■ En ocasiones necesitarás reforzar las uniones. Para ello puedes recortar triángulos de cartón fino a modo de escuadras, que uniremos a todas las barras que coincidan en un nudo.



122

CARTÓN

Para trabajar con el cartón debes tener en cuenta que su resistencia es mayor en una dirección que en otra, debido a los refuerzos que posee en su interior. Observa cómo son los refuerzos que te mostramos en la fotografía.



Una vez que hayas comprendido como está formado el cartón, investiga en qué dirección es más resistente y deduce:

a) ¿Cuál de estas dos piezas sería mejor para el tablero del puente?



b) ¿Se te ocurre alguna manera de reforzar el cartón para que soporte mejor la flexión?

HILO

Un simple hilo puede convertirse en la clave de una estructura. A veces resulta complicado unirlo a otros materiales, puesto que resbala y es difícil fijarlo. Podemos hacerlo mediante nudos, con ranuras en donde encaje o enrollándolo y fijándolo con cola. Observa las siguientes uniones entre el hilo y otros elementos:



Unión mediante enrollado y pegamento.



Unión mediante dos ranuras, enrollado y pegamento.



Unión mediante una ranura y objeto anudado que hace de tope.

El hilo también es muy útil para mantener uniones de barras que se cruzan entre sí. Una unión realizada con hilo y pegamento es sólida y resistente.

MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE



A la hora de realizar el montaje de tu estructura, ten en cuenta lo siguiente:

1. Fabrica todas las piezas iguales al mismo tiempo.
2. Construye primero los elementos de mayor tamaño: tablero, pilares, etc.
3. Procura encontrar aquellos elementos de la estructura que puedas construir en plano por separado. Por ejemplo, un lateral del puente, un pilar o el tablero. Una vez que hayas construido todas las piezas, realiza el montaje espacial de la estructura.
4. Por último, une los elementos que has elaborado anteriormente y, después, añade las piezas auxiliares más pequeñas y los tirantes.

Una vez construida la estructura, estudia sus características finales, elementos, dimensiones, peso, etc., para ver cómo ha cambiado respecto al diseño inicial. Podrás comprobar que la construcción condiciona mucho el resultado.



Estructuras 123

Construcción de estructuras de papel y cartón

Este apartado tiene los siguientes objetivos:

- Fabricar estructuras sencillas con distintos materiales.
- Reforzar las uniones de las estructuras a construir.
- Estudiar las fases de montaje de la estructura.

En este caso se plantean tres procedimientos para mejorar las estructuras que los alumnos pueden hacer con materiales sencillos y de gran resistencia si son bien utilizados: papel, cartón e hilo.

- Papel: se explica cómo hacer barras resistentes mediante el enrollado de hojas de papel, cómo unir las barras y reforzar dichas uniones.
- Cartón: se observan las características del cartón y la correcta forma de uso teniendo especial cuidado en la dirección de los refuerzos interiores.
- Hilo: material importante para hacer distintos tipos de uniones.

Es importante también seguir un orden lógico y coherente al montar la estructura del puente. Hacerlo de forma ordenada nos ayudará a mejorar el resultado de nuestra estructura.

5

ACTIVIDADES FINALES

1 Enumera cinco cargas que pueden actuar sobre tu cuerpo. Di cuáles son fijas y cuáles variables.

2 Nombra los tipos de esfuerzos más comunes, explica cuándo se produce cada uno de ellos y un ejemplo de cada tipo.

3 Di si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Razona tu respuesta en cada caso:

- El esfuerzo cortante solo aparece cuando cortamos algo.
- La tracción es un esfuerzo que tiende a estirar un objeto.
- El esqueleto humano está sometido básicamente al esfuerzo de compresión.
- Un vaso de plástico no tiene ningún tipo de estructura.

4 Indica a qué esfuerzos están sometidas las siguientes estructuras naturales: un nido colgante, la pata de un elefante, las alas de un murciélago desplegadas, una madriguera de topo, un termitero y un nido de golondrina en su unión con la pared.

Dibuja alguna de ellas e indica con flechas las fuerzas que actúan en cada caso.

5 Dibuja las siguientes estructuras y analiza los esfuerzos a los que está sometida cada una de sus partes:

- Una barra de ejercicios gimnásticos.
- Un columpio.
- Una silla.
- Un ventilador de techo.

6 ¿Por qué es más fácil que se partan las patas de una silla si nos echamos hacia atrás con ella? Razona la respuesta.

7 ¿A qué esfuerzo están sometidas las cuerdas de tender cuando colgamos la ropa? Piensa tu respuesta teniendo en cuenta el material del que están hechas.

8 Ordena los siguientes elementos estructurales según su función y su orden de aparición a lo largo de la historia: viga, arco, losa, bóveda, columna, dintel, triangulación, tirante, zapata, pilote. ¿Qué elementos aparecen en la foto? ¿De qué tipo son?



9 Indica qué materiales (madera, hormigón, piedra o acero) se emplean para fabricar los siguientes elementos estructurales:

▮ Viga, tirante, zapata y contrafuerte.

Ten en cuenta que, además de las puramente estructurales, puede haber otras razones que determinen su empleo. Justifica tu respuesta.

10 Enumera las ventajas del hormigón armado con respecto a la piedra.

11 ¿En qué se diferencia una viga de un pilar? ¿Para qué sirven ambos elementos?

12 ¿Para qué sirve la cimentación de un edificio? ¿Cuándo se utilizan como cimentación losas o pilotes en lugar de zapatas? ¿Por qué?

13 Busca imágenes en Internet de estos puentes y acueductos famosos. Explica a qué tipo estructural pertenece cada uno y con qué materiales han sido fabricados:

- ▮ Acueducto de Segovia
- ▮ Puente romano de Córdoba
- ▮ Puente de Rande, en Vigo
- ▮ Puente de Barqueta, en Sevilla
- ▮ Viaducto de Madrid
- ▮ Puente de San Pablo, en Cuenca

14 Di si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Razona tu respuesta en cada caso:

- Las estructuras de barras trianguladas pueden ser de piedra.
- El acero es un material estructural propio de las estructuras masivas.
- Los tirantes solo se utilizan para dar estabilidad a las estructuras.
- Los pilotes son pilares estrechos que se emplean en construcciones pequeñas.

15 Corta tres rectángulos de cartulina de 10 x 30 cm. Dóblalos longitudinalmente y construye con ellos tres perfiles: uno de sección circular, otro triangular y el último, cuadrado.

- Si aplicamos a todos la misma carga, por ejemplo, el peso del estuche en su parte superior, ¿a qué tipo de esfuerzo estarán sometidos? ¿Tendrá la misma intensidad en todos?
- A pesar de estar hechas con la misma cantidad de material, ¿cuál de los tres perfiles te parece que resistirá mejor ese esfuerzo? ¿Por qué?

16 Escoge algún elemento de mobiliario urbano que te sea familiar (banco, farola, papelera, etc.) y haz un análisis formal y estructural del mismo. Acompaña tu trabajo con fotografías y dibujos.

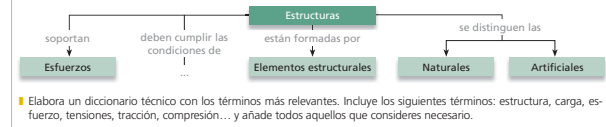
17 Observa este puente, como puedes ver está formado por dos tipos de estructuras muy distintos. Identifícalos, nombra todos sus elementos e indica a qué tipo de esfuerzo está sometido cada uno de ellos. ¿Crees que las dos partes del puente funcionan de manera conjunta? ¿Por qué?



TÉCNICAS DE ESTUDIO

▮ Haz un resumen ayudándote con los recuadros de ideas claras que aparecen en la unidad. Incluye todo aquello que consideres importante.

▮ Realiza un esquema conceptual de la unidad. Te proponemos la siguiente estructura para comenzar:



RESOLUCIÓN DEL PROYECTO GUÍA

Construcción de un puente



Para completar la propuesta de esta unidad, una vez que hayas construido el puente, redacta un informe con los apartados que te proponemos a continuación para acompañar al vídeo final, e incluye en él:

- La descripción general del puente (tipo estructural).
- Las características técnicas (longitud, anchura, peso, altura).
- Los elementos que lo componen.



Graba el vídeo con el puente delante y comprueba su resistencia cargándolo hasta que se desmorone.

Te servirá de apoyo al vídeo un informe descriptivo realizado con un procesador de texto.



124

5 Estructuras 125

1 Enumera cinco cargas que pueden actuar sobre tu cuerpo. Di cuáles son fijas y cuáles variables.

RESPUESTA LIBRE.

Mi propio peso: fija; una bolsa de la compra: variable; una mochila: variable; el viento: variable; un niño tirándonos de la mano: variable.

2 Nombra los tipos de esfuerzos más comunes, explica cuándo se produce cada uno de ellos y un ejemplo de cada tipo.

Tracción: cuando las fuerzas tratan de estirar el cuerpo; un tirachinas.

Compresión: cuando las fuerzas tratan de comprimir el cuerpo; el pie de una lámpara de suelo.

Flexión: cuando las fuerzas tratan de doblar el cuerpo; la balda de una estantería cargada.

Torsión: cuando las fuerzas tratan de retorcer el cuerpo; un eje al empezar a girar.

Cortante: cuando las fuerzas tratan de cortar el cuerpo; una tijera.

3 Di si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Razona tu respuesta en cada caso:

a) El esfuerzo cortante solo aparece cuando cortamos algo.

Falso, aunque no lleguemos a cortarlo el esfuerzo está presente de igual modo.

b) La tracción es un esfuerzo que tiende a estirar un objeto.

Verdadero, la tracción está presente en un cuerpo cuando las fuerzas que actúan sobre un cuerpo lo hacen en la misma dirección y sentidos opuestos.

c) El esqueleto humano está sometido básicamente al esfuerzo de compresión.

Verdadero, en concreto la columna vertebral y los huesos de las piernas.

d) Un vaso de plástico no tiene ningún tipo de estructura. Falso, todo el vaso conforma su estructura.

4 Indica a qué esfuerzos están sometidas las siguientes estructuras naturales: un nido colgante, la pata de un elefante, las alas de un murciélago desplegadas, una madriguera de topo, un termitero y un nido de golondrina en su unión con la pared.

▮ Nido colgante: tracción.

▮ Alas de murciélago: flexión.

▮ Termitero: compresión.

▮ Pata de elefante: compresión.

▮ Madriguera de topo: compresión.

▮ Nido de golondrina en su unión con la pared: cortante.

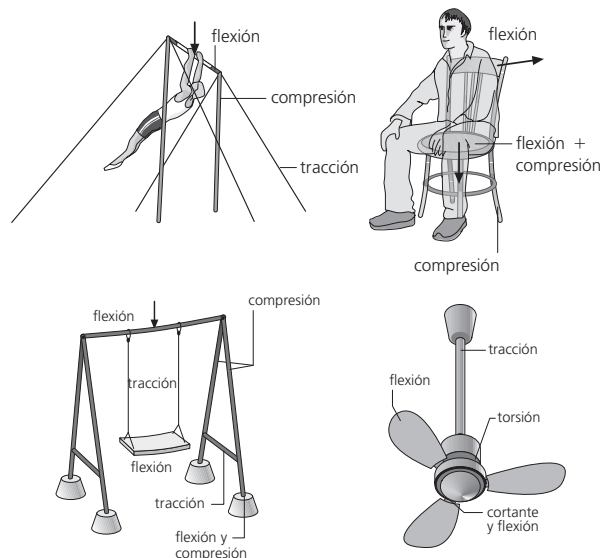
5 Dibuja las siguientes estructuras y analiza los esfuerzos a los que está sometida cada una de sus partes:

a) Una barra de ejercicios gimnásticos.

b) Un columpio.

c) Una silla.

d) Un ventilador de techo.



6 ¿Por qué es más fácil que se partan las patas de una silla si nos echamos hacia atrás con ella? Razona tu respuesta.

Al echarnos hacia atrás movemos las fuerzas que actúan sobre la silla respecto a la vertical de sus patas, esto hace que en la pata aparezca un esfuerzo combinado de flexión y compresión, que le produce mucha más tensión interna que la compresión sola. Al echarnos hacia atrás forzamos el pandeo. Las patas de la silla no están dimensionadas para soportar esa tensión combinada.

7 ¿A qué esfuerzo están sometidas las cuerdas de tender cuando colgamos la ropa? Piensa tu respuesta teniendo en cuenta el material del que están hechas.

La cuerda de tender está sometida a tracción, aunque adopta una forma curvada o poligonal siguiendo la línea de las pinzas de la ropa que le transmiten el peso de la ropa en puntos concretos que pudiera recordarnos a los objetos flexionados. Al ser un cable se deforma para resistir con tracción pura las cargas a las que está sometido.

8 Ordena los siguientes elementos estructurales según su función y su orden de aparición a lo largo de la historia: viga, arco, losa, bóveda, columna, dintel, triangulación, tirante, zapata, pilote. ¿Qué elementos aparecen en la foto? ¿De qué tipo son?

Orden cronológico de aparición: columna, dintel, viga, zapata, tirante, arco, bóveda, triangulación, losa, pilote.

Orden según su función:

- Salvar luces: arco, bóveda, dintel, viga.
- Soportar cargas superiores: columna, losa, zapata, pilote.
- Auxiliar de otros elementos: tirante, triangulación.

Los elementos que aparecen en la fotografía son tirantes, que están sometidos a tracción. Se trata de una estructura colgante.

9 Indica qué materiales (madera, hormigón, piedra o acero) se emplean para fabricar los siguientes elementos estructurales:

- Viga, tirante, zapata y contrafuerte.

Ten en cuenta que, además de las puramente estructurales, puede haber otras razones que determinen su empleo. Justifica tu respuesta.

Viga: se puede hacer de acero, hormigón armado y madera, necesita un material que soporte flexión.

Tirante: de los materiales dados solo puede emplearse el acero, que resiste bien a flexión y que puede tomar forma de hilo o cable.

Zapata: de hormigón, la zapata tiene que servir de intermedia entre el suelo y la estructura, la resistencia del material que se emplee en ella no tiene que ser muy alta ya que vamos a necesitar mucha superficie para que el suelo resista. De acero resultaría carísima y muy poco eficaz. De madera se pudriría en contacto con el suelo. También puede ser de piedra pero actualmente no se emplea.

Contrafuerte: debe ser de un material que aporte peso a la estructura para contrarrestar los empujes de los arcos y bóvedas. Piedra u hormigón serían adecuados.

10 Enumera las ventajas del hormigón armado con respecto a la piedra.

El hormigón armado tiene resistencia a la tracción, razón por la cual soporta esfuerzos de flexión. Adopta cualquier forma en un encofrado y es barato.

11 ¿En qué se diferencia una viga de un pilar? ¿Para qué sirven ambos elementos?

La viga es horizontal y el pilar, vertical; la viga soporta flexión y el pilar, compresión; la viga salva vanos y el pilar recibe las cargas de la viga.

12 ¿Para qué sirve la cimentación de un edificio? ¿Cuándo se utiliza como cimentación losas o pilotes en lugar de zapatas? ¿Por qué?

La cimentación de un edificio sirve para repartir las cargas de la estructura en una superficie amplia de suelo y así evitar que se hunda en el terreno. Empleamos losas o pilotes en suelos muy blandos donde no basta con ampliar un poco la superficie de apoyo y hay que hacer una gran superficie, como en la losa, o llegar a alcanzar un terreno firme a mayor profundidad.

13 Busca imágenes en Internet de estos puentes y acueductos famosos. Explica a qué tipo estructural pertenece cada uno y con qué materiales han sido fabricados:

- Acueducto de Segovia
- Puente romano de Córdoba
- Puente de Rande, en Vigo
- Puente de Barqueta, en Sevilla
- Viaducto de Madrid
- Puente de San Pablo, en Cuenca

Puente/acueducto	Tipo	Material
Acueducto de Segovia	Arco	Piedra
Puente romano de Córdoba	Arco	Piedra
Puente de Rande, en Vigo	Colgante	Acero
Puente de Barqueta, en Sevilla	Colgante	Acero
Viaducto de Madrid	Arco	Hormigón
Puente de San Pablo, en Cuenca	Triangulado	Hierro

14 Di si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Razona tu respuesta en cada caso:

a) Las estructuras de barras trianguladas pueden ser de piedra.

Falso, la piedra soporta mal los esfuerzos de tracción, no presenta un buen comportamiento en piezas esbeltas y sus uniones son difíciles de hacer.

- b) El acero es un material estructural propio de las estructuras masivas.

Falso, el acero es demasiado caro y pesado para realizar estructuras masivas. Se utiliza en estructuras ligeras como las trianguladas o atirantadas.

- c) Los tirantes solo se utilizan para dar estabilidad a las estructuras.

Falso, los tirantes pueden emplearse para estabilizar, para dar rigidez o como elementos estructurales autónomos en estructuras colgantes.

- d) Los pilotes son pilares estrechos que se emplean en construcciones pequeñas.

Falso, los pilotes son sistemas de cimentación que consisten en barras subterráneas que permiten llegar hasta el suelo firme o anclar la estructura al terreno.

- 15) Corta tres rectángulos de cartulina de 10 x 30 cm. Dóblalos longitudinalmente y construye con ellos tres perfiles: uno de sección circular, otro triangular y el último, cuadrado.

- a) Si aplicamos a todos la misma carga, por ejemplo, el peso del estuche en su parte superior, ¿a qué tipo de esfuerzo estarán sometidos? ¿Tendrá la misma intensidad en todos?

El esfuerzo es de compresión, como todos tienen la misma cantidad de material en la sección el esfuerzo será el mismo, pero cada uno tiene un mejor comportamiento en la dirección en la que tiene más inercia, el circular es homogéneo y tiene la misma inercia en todas las direcciones (y por tanto la misma resistencia al pandeo).

- b) A pesar de estar hechas con la misma cantidad de material, ¿cuál de los tres perfiles te parece que resistirá mejor ese esfuerzo? ¿Por qué?

Los perfiles que mejor resistirán son el cuadrado y el triángulo que tienen peor inercia en alguna de las direcciones.

- 16) Escoge algún elemento de mobiliario urbano que te sea familiar (banco, farola, papelera, etc.) y haz un análisis formal y estructural del mismo. Acompaña tu trabajo con fotografías y dibujos.

RESPUESTA LIBRE, habría que seguir las indicaciones del apartado de Análisis de estructuras.

- 17) Observa este puente, como puedes ver está formado por dos tipos de estructuras muy distintos. Identifícalos, nombra todos sus elementos e indica a qué tipo de esfuerzo está sometido cada uno de ellos. ¿Crees que las dos partes del puente funcionan de manera conjunta? ¿Por qué?

El puente tiene tipología de puente atirantado en la parte derecha, donde hay unos tirantes que sujetan el tablero a ambos lados del pilar.

En la parte izquierda, sin embargo, el puente está formado por dos vigas en ménsula (voladizo) a partir del pilar que las sostiene. Resulta revelador fijarse en el canto de la viga en la parte que no está atirantada, lo que nos muestra que la viga trabaja de forma independiente de la otra parte del puente.

Podemos realizar una búsqueda en internet (puente Dubrovnik): se encuentran fotografías de su construcción donde se ve cómo se fueron construyendo las dos partes de manera independiente hasta encontrarse.

Construcción de un puente

El proyecto realizado en el aula taller será más motivador cuanto mayor sea la difusión que tenga. Si los informes, vídeos o fotografías de sus maquetas se publican de alguna forma (como pósters, en un blog, en una web...) pondrán más interés en su realización, así como si acuden otras personas externas a la clase a visualizar los vídeos (pueden ser otros alumnos o profesores que acudan como invitados, jurado, etc.).

Al plantear este proyecto a los alumnos, debemos hacer especial énfasis en los aspectos de la tarea a los que vamos a dar más

importancia en la evaluación, lo cual puede variar en función de las características del alumnado o de los objetivos concretos que plantee el profesor.

Una posible plantilla para evaluar este trabajo podría valorar los siguientes aspectos:

0: No realizado

1: Logrado

2: Bien planteado

3: Excelente

	0	1	2	3
INFORME				
Está bien estructurado y contiene un índice claro de los contenidos del informe.				
Incluye una descripción del puente y se especifica el tipo estructural.				
Enumera y explica las características técnicas del puente diseñado (longitud, anchura, peso, altura, etc.).				
Incluye una explicación de los elementos estructurales que lo componen junto con la función de cada uno de ellos.				
Utiliza una terminología adecuada y comprensible.				
El lenguaje, la redacción y la organización del texto son correctos.				
VÍDEO				
Existe una introducción del proyecto.				
Incluye una explicación de cómo se ha realizado el proyecto, las dificultades encontradas y cómo se han solucionado.				
Incluye una verificación del puente mediante su carga hasta su desmoronamiento.				
Explican las conclusiones del proyecto y realizan una autoevaluación de los objetivos propuestos.				

Objetivos, contenidos y metodología

TIPOS DE RECURSOS Y METODOLOGÍAS UTILIZADAS	
●	Actividades interactivas. Elaboración y comprobación de hipótesis.
○	Búsqueda de información en internet.
▶	Visualización de vídeos.
□	Análisis de imágenes.
■	Análisis de textos (artículos de periódico, artículos científicos).

APARTADOS	OBJETIVOS Y CONTENIDOS	METODOLOGÍA	
Estructuras	Identificar distintos elementos estructurales: dintel, bóveda, arbotante, contrafuerte, pilar, arco y viga.	●	○
	Conceptos: Dintel, bóveda, arbotante, contrafuerte, pilar, arco y viga.		
Tipos de esfuerzos	Analizar el tipo de esfuerzo al que está sometido un cuerpo.	●	□
	Identificar los distintos tipos de esfuerzos que existen.	●	
	Conceptos: Deformación, esfuerzo, tipos de esfuerzos: compresión, tracción, flexión, cizalladura y torsión.		
Esfuerzos en puentes	Analizar qué tipos de esfuerzos existen sobre un puente.	●	
	Analizar la influencia que tienen determinados factores sobre la estabilidad de un puente (presencia de pilar, longitud del puente).	●	
	Conceptos: Análisis de esfuerzo en puentes.		
Soluciones en puentes	Identificar los distintos tipos de puentes que existen.	●	▶
	Analizar la estabilidad de un puente en función de los elementos estructurales que presenta: arco, tirantes, triangulaciones y escuadra.	●	▶
	Conceptos: Arco, tirantes, triangulaciones, escuadra y puentes colgantes.		
Proyecto guía	Identificar los elementos estructurales de un puente. Averiguar el orden lógico en qué se deben colocar.	●	
	Analizar los esfuerzos a los que está sometido un puente.	●	



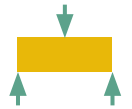
Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Distingue entre estructuras naturales y artificiales.	3, 2	Explica de manera adecuada los conceptos, aportando bastantes ejemplos válidos.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, aportando algunos pocos ejemplos válidos.	Explica los conceptos con errores, con aportación escasa o nula de ejemplos válidos.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
1.2. Reconoce la estructura resistente dentro de edificaciones, objetos y cuerpos cotidianos.	1, 4	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
1.3. Describe las características propias de los distintos tipos de estructuras, sus ventajas e inconvenientes.	5	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
1.4. Reconoce tipologías estructurales básicas en objetos y construcciones comunes.	14, 15, 22 AF: 13	Expone con claridad el concepto, aportando bastantes ejemplos válidos.	Expone el concepto de manera algo incompleta, aportando algunos pocos ejemplos válidos.	Explica el concepto con errores, con aportación escasa o nula de ejemplos válidos.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Identifica los elementos estructurales principales presentes en edificaciones y estructuras.	16, 34, 35, 37 AF: 8	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.2. Conoce la función de cada elemento dentro del conjunto de una estructura concreta.	19, 33, 36 AF: 11, 12, 16, 17	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.3. Imagina el esfuerzo característico al que está sometido cada elemento de una estructura bajo la acción de unas cargas determinadas.	13, 17, 18, 20, 21 AF: 15	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.4. Asocia los materiales más adecuados para la construcción de los distintos elementos estructurales en función de los esfuerzos a los que van a estar sometidos.	23, 24, 38 AF: 9, 10, 14	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Conoce la interrelación entre fuerzas, cargas, esfuerzos y deformación en las estructuras.	6, 7 AF: 1	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
3.2. Comprende la diferencia entre los distintos tipos de esfuerzo existentes.	8 AF: 3, 4	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.3. Asocia los distintos tipos de esfuerzos a las fuerzas que los provocan y a las deformaciones que producen.	9, 10 AF: 6, 7	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.4. Reconoce y da ejemplos de objetos cotidianos sometidos a distintos tipos de esfuerzos.	11 AF: 2	Explica de manera adecuada los conceptos, aportando bastantes ejemplos válidos.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, aportando algunos pocos ejemplos válidos.	Explica los conceptos con errores, con aportación escasa o nula de ejemplos válidos.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.5. Describe la transmisión de las cargas a través de los elementos de una estructura.	12 AF: 5	Explica con claridad el proceso, identificando todos los elementos importantes.	Explica el proceso de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes.	Explica el proceso con errores, identificando pocos de los elementos importantes.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Conoce las condiciones que ha de cumplir una estructura.	30	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.2. Define los conceptos de estabilidad, resistencia y rigidez.	31	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.3. Reconoce cuando una estructura es estable, resistente y rígida.	25, 26, 27	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.4. Domina los recursos para conseguir que una estructura sea estable, rígida y resistente.	28, 29, 32	Explica con claridad el proceso, identificando todos los elementos importantes.	Explica el proceso de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes.	Explica el proceso con errores, identificando pocos de los elementos importantes.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Experimenta con materiales cotidianos para resolver problemas estructurales sencillos.	Proyecto guía	Comprende el problema y utiliza las estrategias adecuadas para resolverlo correctamente.	Comprende el problema de manera algo incompleta, aunque válida, y utiliza estrategias, la mayoría adecuadas y algunas no, para resolverlo.	Tiene dificultades para comprender el problema y no elige adecuadamente la mayoría de estrategias para resolverlo.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
5.2. Diseña estructuras apropiadas para resolver problemas con los materiales que se le indica.	Proyecto guía	Comprende el problema y utiliza las estrategias adecuadas para resolverlo correctamente.	Comprende el problema de manera algo incompleta, aunque válida, y utiliza estrategias, la mayoría adecuadas y algunas no, para resolverlo.	Tiene dificultades para comprender el problema y no elige adecuadamente la mayoría de estrategias para resolverlo.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.3. Construye estructuras que resuelven problemas sencillos.	Proyecto guía	Comprende el problema y utiliza las estrategias adecuadas para resolverlo correctamente.	Comprende el problema de manera algo incompleta, aunque válida, y utiliza estrategias, la mayoría adecuadas y algunas no, para resolverlo.	Tiene dificultades para comprender el problema y no elige adecuadamente la mayoría de estrategias para resolverlo.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.4. Analiza y verifica el comportamiento de las estructuras que construye.	Proyecto guía	Explica con claridad el proceso, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica el proceso de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica el proceso con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.5. Describe las características de la estructura y su modo de funcionamiento.	Proyecto guía	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

LA: Libro del alumno; AF: Actividades finales

1. Define los siguientes esfuerzos, coloca la dirección y el sentido de las fuerzas sobre las barras y pon un ejemplo:

Esfuerzo	Fuerzas
Tracción	
Compresión	
Flexión	

Tracción. Esfuerzo que aparece cuando las fuerzas tratan de estirar el cuerpo sobre el que actúan. Ejemplo: goma de un tirachinas.

Compresión. Esfuerzo creado por dos fuerzas enfrentadas entre sí que tratan de aplastar el cuerpo. Ejemplo: pata de una silla.

Flexión. Esfuerzo que aparece cuando las fuerzas tratan de doblar el elemento sobre el que actúan. Ejemplo: somier de una cama.

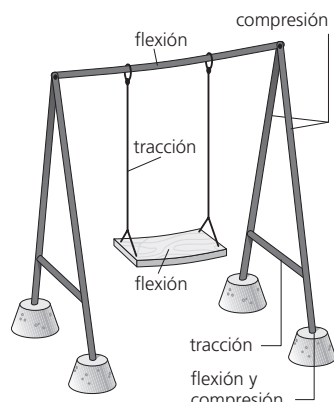
2. Completa el siguiente cuadro referido a elementos estructurales y su esfuerzo asociado (en la primera fila tacha lo incorrecto):

Elemento	Posición	Esfuerzo que soporta
Viga	Vertical / Horizontal / Oblicuo	Tracción / Flexión / Compresión
Pilar	Vertical	Compresión
Tirante	Vertical / Oblicuo	Tracción
Zapata	Horizontal	Compresión

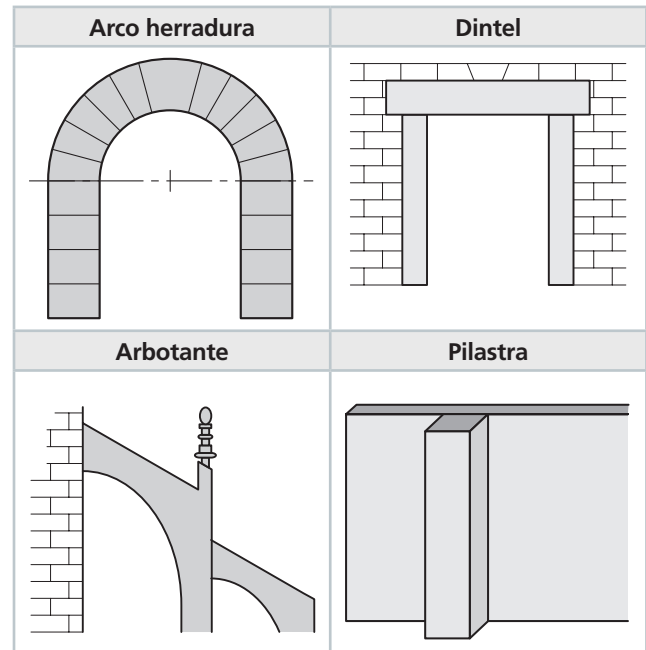
3. Completa las siguientes frases con las palabras correctas:

- Las estructuras que no vuelcan con facilidad se denominan **estables**.
- Decimos que una estructura es rígida cuando no se **deforma**.
- Para que una estructura sea **resistente**, debe soportar sin romperse los **esfuerzos** a los que está sometida.
- Los arcos están formados por piezas llamadas **dovelas**; la central se denomina **clave**, y las laterales, **riñones**. Las piezas del arco están sometidas al esfuerzo de **compresión**.
- La **cimentación** es el elemento intermedio entre el edificio y el suelo.
- La distancia libre entre los apoyos de una viga se llama **luz**.

4. Indica sobre el dibujo el nombre de los elementos señalados y a qué esfuerzo están sometidos.



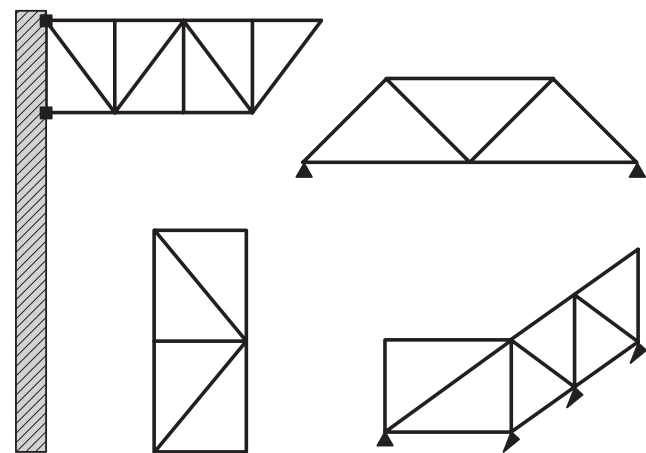
5. Dibuja los siguientes elementos: arco de herradura, dintel, arbotante y pilastra.



6. Da cinco ejemplos de cargas que puedan actuar sobre el edificio en el que te encuentras, indicando si son fijas o variables.

Carga	Tipo
Peso de la propia estructura y muros exteriores.	Fija
Peso de los usuarios que se encuentren en cada instante en su interior.	Variable
Fuerza del viento sobre los muros exteriores y tejado.	Variable
Peso del solado y sanitarios.	Fija
Peso de los libros y estanterías de cada aula.	Variable

7. Añade barras a estas estructuras con el fin de hacerlas completamente rígidas.



8. Considera una lata de refresco, un barco de madera y un avión. ¿Qué parte de esos objetos constituye su estructura? ¿Qué cargas soportan principalmente?

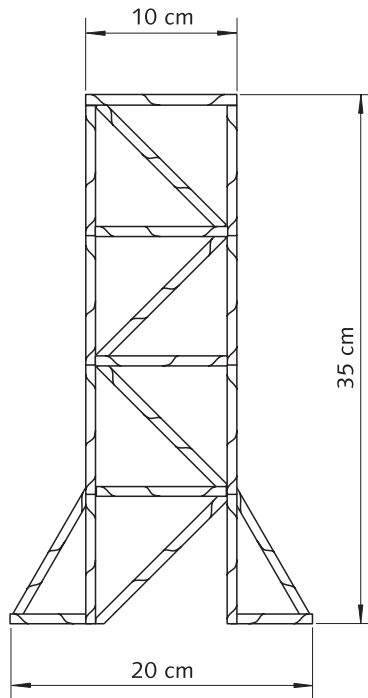
Lata de refresco. Toda la lata es en sí misma una estructura. Las cargas que soporta son: la presión del líquido interior, la fuerza de la mano al cogerla y el peso de otras latas al apilarlas.

Barco de madera. La estructura es el armazón del barco. Las cargas que soporta son: la fuerza del viento y las olas, el peso del resto del barco y de sus tripulantes y la carga del barco.

Avión. La estructura es el fuselaje. Las cargas que soporta son: el peso del contenido, la fuerza del viento y de la velocidad, el peso de las alas y la propia estructura.

9. Diseña una estructura de barras de papel que soporte 2 kg de peso en su parte superior con una altura de 35 cm. Dibújala a escala 1:5.

RESPUESTA LIBRE. A continuación, se muestra un posible diseño:



1. Define con tus propias palabras los siguientes elementos estructurales (también puedes hacer un dibujo):

Elemento	Definición
Bovedilla	Elemento abovedado del forjado que sirve para aligerar el peso de este rellenando el hueco entre las viguetas.
Tirante	Elemento lineal, normalmente de acero, que trabaja a tracción.
Pilote	Pilar o columna subterráneo que sirve para llegar a la profundidad donde se encuentre el terreno firme.
Arriostramiento	Elemento encargado de conferir rigidez a un pórtico realizando triangulaciones.
Dintel	Elemento horizontal que salva un hueco de puerta o ventana trabajando a flexión.

2. Di si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas y por qué:

- a) Los tirantes trabajan a compresión porque así no se rompen nunca.

Falso. Los tirantes solo pueden ofrecer resistencia a la tracción, por lo que esa es su única manera de funcionamiento.

- b) Un pilote es un pilar de gran tamaño.

Falso. Un pilote es un sistema de cimentación que consiste en colocar pilares subterráneos (del tamaño requerido) para llegar al suelo firme.

- c) Las estructuras masivas son metálicas.

Falso. Las estructuras masivas estaban construidas de piedra; con metales se construyen estructuras ligeras de barras.

- d) Las estructuras trianguladas pueden hacerse de varios materiales.

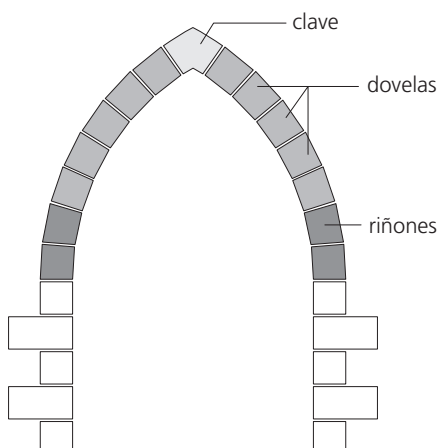
Verdadero. Pueden ser de madera, acero, aluminio...

- e) El material es mucho más importante que la forma en la resistencia de las estructuras.

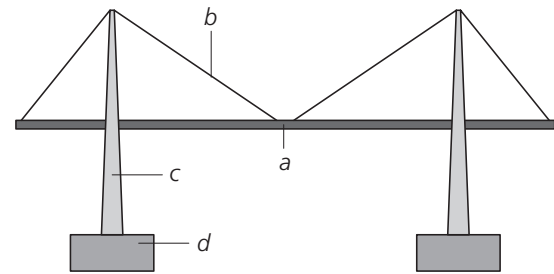
Falso. Ambos son igualmente importantes; un buen diseño ahorra material.

3. Dibuja un arco, señala sus partes y explica por qué supuso un adelanto estructural.

Los arcos constituyeron un gran adelanto estructural, pues permitieron salvar vanos trabajando solo a compresión, que es el esfuerzo más adecuado para la piedra (material usado en la antigüedad para construir las estructuras), lo que supuso un incremento en el tamaño de los espacios cubiertos.



4. Nombra los elementos de este puente e indica a qué esfuerzo está sometido cada uno de ellos:



- a. Tablero: flexión.
b. Tirante: tracción.
c. Pilar: compresión.
d. Zapata: compresión.

5. Explica las diferencias entre estabilidad, resistencia y rigidez.

La estabilidad es la propiedad que tienen los cuerpos que son difíciles de volcar; la resistencia está asociada a la capacidad de soportar esfuerzos sin romperse, mientras que la rigidez consiste en la facultad del cuerpo de no perder su forma original bajo la acción de esos mismos esfuerzos.

6. Nombra las partes de una estructura entramada y explica qué forma y función tiene cada una de ellas.

Forjado: está formado por viguetas y bovedillas. En el plano que separa cada piso de un edificio. Es rígido y continuo, y transmite las cargas a las vigas.

Vigas: el forjado se apoya sobre ellas. Son elementos horizontales metálicos o de hormigón que trabajan a flexión y descansan sobre los pilares.

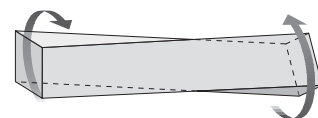
Pilares: son elementos verticales encargados de llevar las cargas hasta el suelo de planta en planta. Se apoyan a la cimentación.

Cimentación: es el elemento intermedio entre los pilares y el suelo, que aumenta la superficie de apoyo del edificio.

7. Especifica a qué tipo de estructuras pertenecen estas edificaciones y numéralas según su antigüedad:

Orden de antigüedad	Edificio	Tipo estructural
4	Torre Eiffel	Estructuras de barras trianguladas metálicas.
2	Acueducto de Segovia	Estructura de arcos.
5	Tu instituto	Estructura entramada.
1	Pirámide de Keops	Estructura masiva.
3	Catedral de Burgos	Estructura abovedada.

8. Representa con flechas sobre estas barras los distintos tipos de esfuerzos que pueden afectarla, nómbralos y da un ejemplo de cada uno:



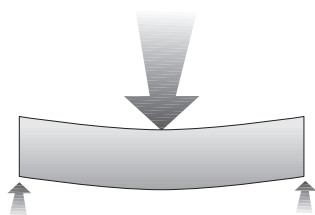
Torsión: Eje de un motor al arrancar, el eje de un destornillador al apretar un tornillo.



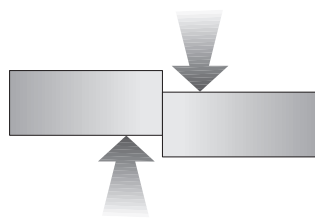
Tracción: Goma de tirachinas.



Compresión: Pata de una mesa.



Flexión: Balda de una estantería.



Cortante o cizalladura: Tijeras cortando un papel

9. Indica las cargas a las que están sometidos los siguientes cuerpos y qué parte de ellos constituye su estructura: un vaso de plástico, una grúa de construcción y una mesa.

Objeto	Estructura	Cargas
Vaso de plástico	La totalidad del vaso	La presión del líquido interior y la fuerza de la mano al cogerlo.
Grúa	La estructura triangulada	El peso de la carga que se eleva del contrapeso y de la propia estructura; la fuerza del viento sobre la grúa.
Mesa	Las patas y el tablero	El peso propio, el de la persona que se apoya y el de las cosas que colocamos sobre ella.

10. Diseña una estructura de barras de papel que pueda colocarse entre dos mesas separadas 40 cm entre sí y que sea capaz de soportar 2 kg de peso en su parte central. Dibújala a escala 1:5.

