



$$W_x = \frac{M \cdot \omega^2}{2}$$

# Entornos invisibles

(de la ciencia y la tecnología)

## Estructuras



Capítulo 6 Guía didáctica

Autoras | Haydeé Noceti | Sol Avancini Noceti

$$\sigma_{ad} = 1.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_{pd} = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

## Autoridades

---

Presidente de la Nación

**Dra. Cristina Fernández de Kirchner**

Ministro de Educación

**Dr. Alberto E. Sileoni**

Secretaria de Educación

**Prof. María Inés Abrile de Vollmer**

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica

**Lic. María Rosa Almandoz**

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica

**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional

**Ing. Roberto Díaz**

---

**Ministerio de Educación.**

**Instituto Nacional de Educación Tecnológica.**

Saavedra 789. C1229ACE.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

República Argentina.

2011

---

Director de la Colección:

**Lic. Juan Manuel Kirschenbaum**

Coordinadora general de la Colección:

**Claudia Crowe**

Diseño didáctico y corrección de estilo:

**Lic. María Inés Narvaja**

**Ing. Alejandra Santos**

Coordinación y producción gráfica:

**Augusto Bastons**

Diseño gráfico:

**María Victoria Bardini**

**Augusto Bastons**

**Martín Alejandro González**

**Federico Timerman**

Ilustraciones:

**Diego Gonzalo Ferreyro**

**Martín Alejandro González**

**Federico Timerman**

Administración:

**Cristina Caratozzolo**

**Néstor Hergenrether**

Colaboración:

**Jorgelina Lemmi**

**Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez**

**Dra. Stella Maris Quiroga**

---

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

---

#### ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición -Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto-

# Colección Encuentro Inet

---

Esta colección contiene las siguientes series (coproducidas junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica - INET):

- La técnica
- Aula-taller
- Máquinas y herramientas
- Entornos invisibles de la ciencia y la tecnología

## DVD 4 | Aula-taller

**Capítulo 1**  
Biodigestor

**Capítulo 2**  
Quemador de biomasa

**Capítulo 3**  
Planta potabilizadora

**Capítulo 4**  
Probador de inyecciones

## DVD 5 | Aula-taller

**Capítulo 5**  
Planta de tratamiento de aguas residuales

**Capítulo 6**  
Tren de aterrizaje

**Capítulo 7**  
Banco de trabajo

**Capítulo 8**  
Invernadero automatizado

## DVD 6 | Máquinas y herramientas

**Capítulo 1**  
Historia de las herramientas y  
las máquinas herramientas

**Capítulo 2**  
Diseño y uso de  
Máquinas Herramientas

**Capítulo 3**  
Diseño y uso de  
Herramientas de corte

**Capítulo 4**  
Nuevos paradigmas en el mundo  
de las máquinas herramientas y  
herramientas de corte

## DVD 7 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

**Capítulo 1**  
Parque de diversiones

**Capítulo 2**  
Cocina

**Capítulo 3**  
Red de energía eléctrica

**Capítulo 4**  
Campo de deportes

## DVD 8 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

**Capítulo 5**  
Estadio de Rock

**Capítulo 6**  
Estructuras

**Capítulo 7**  
Chacra orgánica

**Capítulo 8**  
Bar

## DVD 9 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

**Capítulo 9**  
Estación meteorológica

**Capítulo 10**  
Restaurante

**Capítulo 11**  
Seguridad en obras de construcción

**Capítulo 12**  
Camping musical

**Capítulo 13**  
Hospital

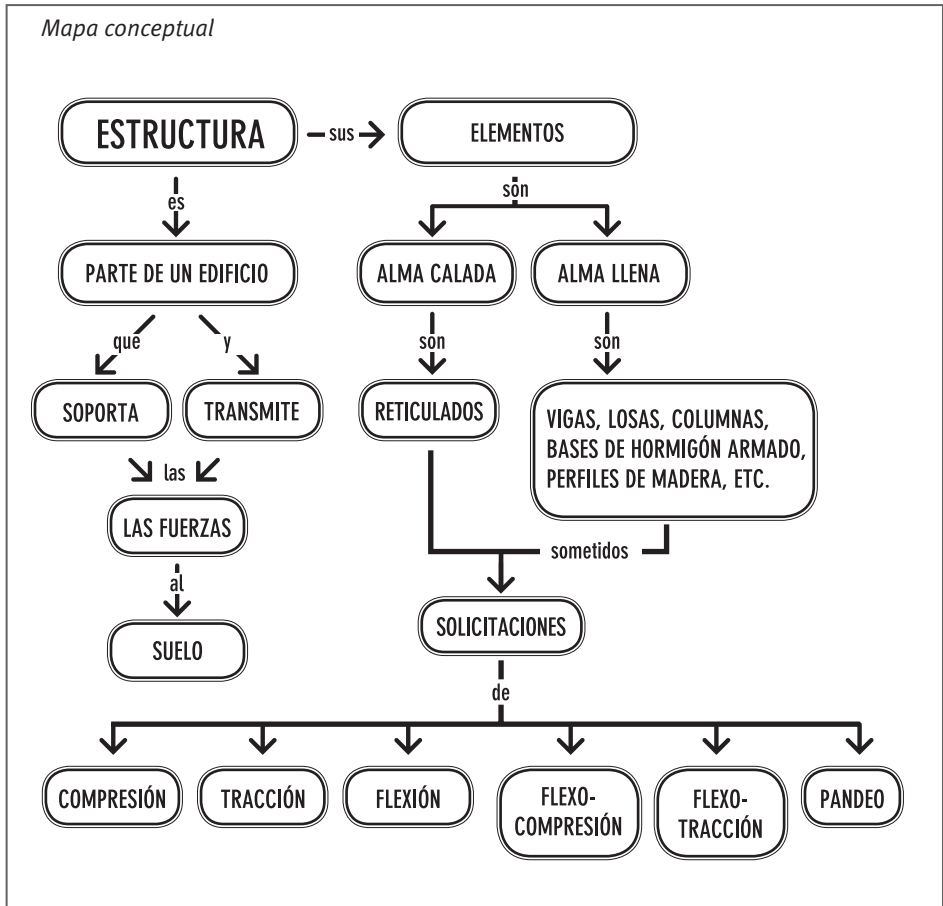
# Índice | Estructuras

<b>6.1. Estructura de un edificio</b>	<b>08</b>
<b>6.2. A modo de introducción</b>	<b>08</b>
<b>6.3. Una estrategia para el uso del vídeo</b>	<b>10</b>
<b>6.4. Los contenidos</b>	<b>10</b>
<b>6.5. Las actividades que proponemos</b>	<b>11</b>
♦ 6.5.1. Temática. El concepto de estructura en un edificio, las cargas y los vínculos entre los elementos estructurales	<b>11</b>
• 6.5.1.2. Actividades	<b>14</b>
• <b>Actividad 1</b> Recorremos nuestra institución educativa	<b>14</b>
• <b>Actividad 2</b> Recorremos nuestra vivienda	<b>15</b>
• <b>Actividad 3</b> Realizamos un recorrido por un edificio emblemático	<b>15</b>
Continuamos en la casa de la abuela de Tomás. Una de las vigas de uno de los entresijos está en voladizo.	
• <b>Actividad 4</b> Los puentes emblemáticos de nuestro país, de nuestra provincia, de nuestra localidad,...	<b>16</b>
• <b>Actividad 5</b> Los sismos que sacudieron a Haití y a Chile...	<b>17</b>
• <b>Actividad 6</b> Encontrando las cargas que actúan sobre una estructura	<b>18</b>
• <b>Actividad 7</b> Recorremos la ciudad en búsqueda de los apoyos	<b>19</b>
♦ 6.5.2. Temática. Las reacciones de vínculos	<b>19</b>
• <b>Actividad 8</b> Problema N° 1	<b>22</b>
Problema N° 2	<b>24</b>
Problema N° 3	<b>25</b>
Problema N° 4	<b>27</b>

Problema N° 5	29
Problema N° 6	30
Problema N° 7	32
♦ 6.5.3. Temática. Reacciones de vínculos + esfuerzos característicos	34
• <b>Actividad 8</b>	36
♦ 6.5.4. Temática. Dimensionamiento de vigas de acero y de madera	45
<b>Actividad 9</b>	51
♦ 6.5.5. Temática. Pandeo	59
• <b>Actividad 10</b>	65
• <b>Actividad 11</b>	65
• <b>Actividad 12</b>	71
La evolución de la estructura en el transcurso de la historia	
• <b>Actividad 13</b>	71
 Dar forma a la situación problemática que plantea Tomás en el vídeo: construcción de un entrepiso para la instalación de un laboratorio	
<b>6.6. Bibliografía de consulta</b>	72

# 6.1. Estructura de un edificio

Mapa conceptual





## 6.2. A modo de introducción

La presente guía tiene como propósito facilitar al docente el proceso de enseñanza y al alumno el de aprendizaje de determinados contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales que se incluyen en el tema: “Estructuras”.

Diferentes son las formas de encarar la enseñanza mediante el uso de vídeos. Desde esta guía proponemos una determinada manera a modo ilustrativo, pero esto no significa que ésta sea la única.

El enfoque dado se basa en dos cuestiones fundamentales: en la resolución de problemas y en ampliar y profundizar las diferentes temáticas del vídeo a medida que se avanza en su visualización.

Durante toda la guía hacemos mención a actividades de búsqueda de información, de reconocimiento, de análisis y discusión de casos,... Dichas actividades se plantean, cuando la solución de cada propuesta se realiza a través de cálculos, mediante ejercicios, problemas y situaciones problemáticas o situaciones-problema.

Este ícono representa actividades o sugerencias de trabajo con los alumnos.  
Cuando usted lo vea sepa que se encuentra con posible trabajo con sus alumnos.



Y aquí cabe dar una explicación acerca de la diferenciación entre el significado que damos al concepto de ejercicio, de problema y de situación problemática.

Desde nuestra postura las situaciones problemáticas constituyen situaciones reales contextualizadas, de las cuales sólo se conoce una determinada información, debiéndose indagar sobre los datos necesarios para la búsqueda de las alternativas de solución y la posterior elección de la solución apropiada al planteo realizado.

En el libro “Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas”<sup>1</sup> se expresa al respecto: “... el desafío de resolver el problema pone a los alumnos, en un primer momento ante una situación confusa, no estructurada, que proporciona experiencias genuinas que fomentan el aprendizaje activo, respaldan la construcción del conocimiento e integran el aprendizaje a la vida real, al mismo tiempo que permite la integración de distintas disciplinas entre sí...”

Los problemas también hacen referencia a situaciones reales contextualizadas, pero a diferencia de las situaciones problemáticas, los datos son provistos. En cuanto a los ejercicios, son planteos no contextualizados y que conducen a una rutina.

Las tres formas de actividades que se presentan: situaciones problemáticas, problemas y ejercicios, utilizadas cada una en el momento apropiado, constituyen un aporte importante al proceso de aprendizaje.

<sup>1</sup> Haydeé Noceti (2006). Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. INET-PNUD. Buenos Aires. Argentina.

A lo largo de esta guía presentamos actividades que, en forma conjunta con los diferentes contenidos teóricos, dan una visión general del significado que tiene la estructura de un objeto y su aplicación en situaciones reales concretas referidas a la construcción de un edificio.

## 6.3. Una estrategia para el uso del vídeo

El vídeo, al que hacemos referencia, se presenta con el planteo de una situación problemática que quiere resolver uno de los tres personajes de la historia: Tomás. Durante el transcurso de los veintiocho minutos que dura el programa la trama apunta a la resolución de dicha situación problemática: la construcción de un entrepiso para montar en él un laboratorio.

La historia transcurre en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, pero pudo ser en cualquier ciudad de nuestro país o del exterior. Durante su desarrollo se presentan los diferentes contenidos: desde lo fácil a lo difícil, desde lo simple a lo complejo.

Proponemos la siguiente estrategia:

1. mirar el vídeo en su totalidad;
2. comentar la trama del vídeo en general, sin detenerse en los temas específicos;
3. analizar parte por parte, de acuerdo a la temática que interese;
4. profundizar cada parte mediante el desarrollo de diferentes actividades;
5. volver a mirar el vídeo con una mirada diferente; ahora como síntesis de lo enseñado y aprendido sobre la temática durante el tiempo que llevó el desarrollo de sus contenidos.



Evidentemente, esta propuesta de enseñanza llevará un tiempo largo, en algunos casos puede ser todo el año escolar, entonces el docente podrá utilizar el vídeo como material de uso permanente y recurrir a él cada vez que aparece en el proceso de enseñanza y de aprendizaje un contenido referido a la temática que trata el vídeo.

## 6.4. Los contenidos

Los contenidos que se desarrollan en el vídeo los presentamos en esta guía mediante mapas conceptuales.

Recordemos que:

“Los mapas conceptuales constituyen una técnica cognitiva creada por Joseph D. Novak.

Como toda técnica cognitiva debe tener un referente teórico que le dé un marco y una coherencia, debe fundamentarse en una teoría de aprendizaje.

El marco teórico en el que situamos a los mapas conceptuales es el modelo de “aprendizaje significativo”, considerado éste como un proceso de desarrollo de estructuras cognitivas significativas...”<sup>2</sup>.

Esto significa que podemos usar esta técnica no sólo para presentar los contenidos, sino también como una forma de síntesis de los diferentes saberes.

Con el propósito de una mejor comprensión de cada uno de los contenidos desarrollados, estos los presentamos al comienzo de la respectiva actividad.

## 6.5. Las actividades que proponemos

Tal como lo expresamos en la introducción las actividades las planteamos por temática. Dichas actividades son: actividades de búsqueda de información y de profundización y actividades de cálculo.

Siempre encabezamos una actividad o un grupo de actividades con la explicitación de los objetivos que nosotros consideramos deben alcanzar los alumnos con su desarrollo, porque consideramos muy importante que los estudiantes conozcan los objetivos de aprendizaje. Asimismo presentamos el desarrollo de los contenidos de aprendizaje correspondientes a cada una de las temáticas.

### 6.5.1. Temática. El concepto de estructura en un edificio, las cargas y los vínculos entre los elementos estructurales

#### Objetivos

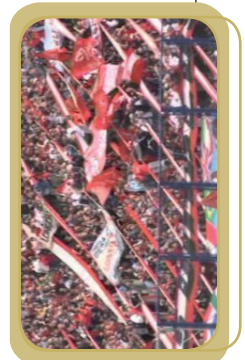
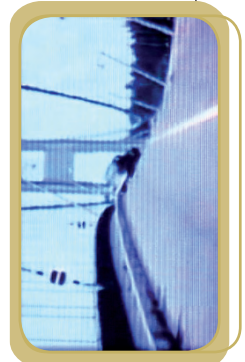
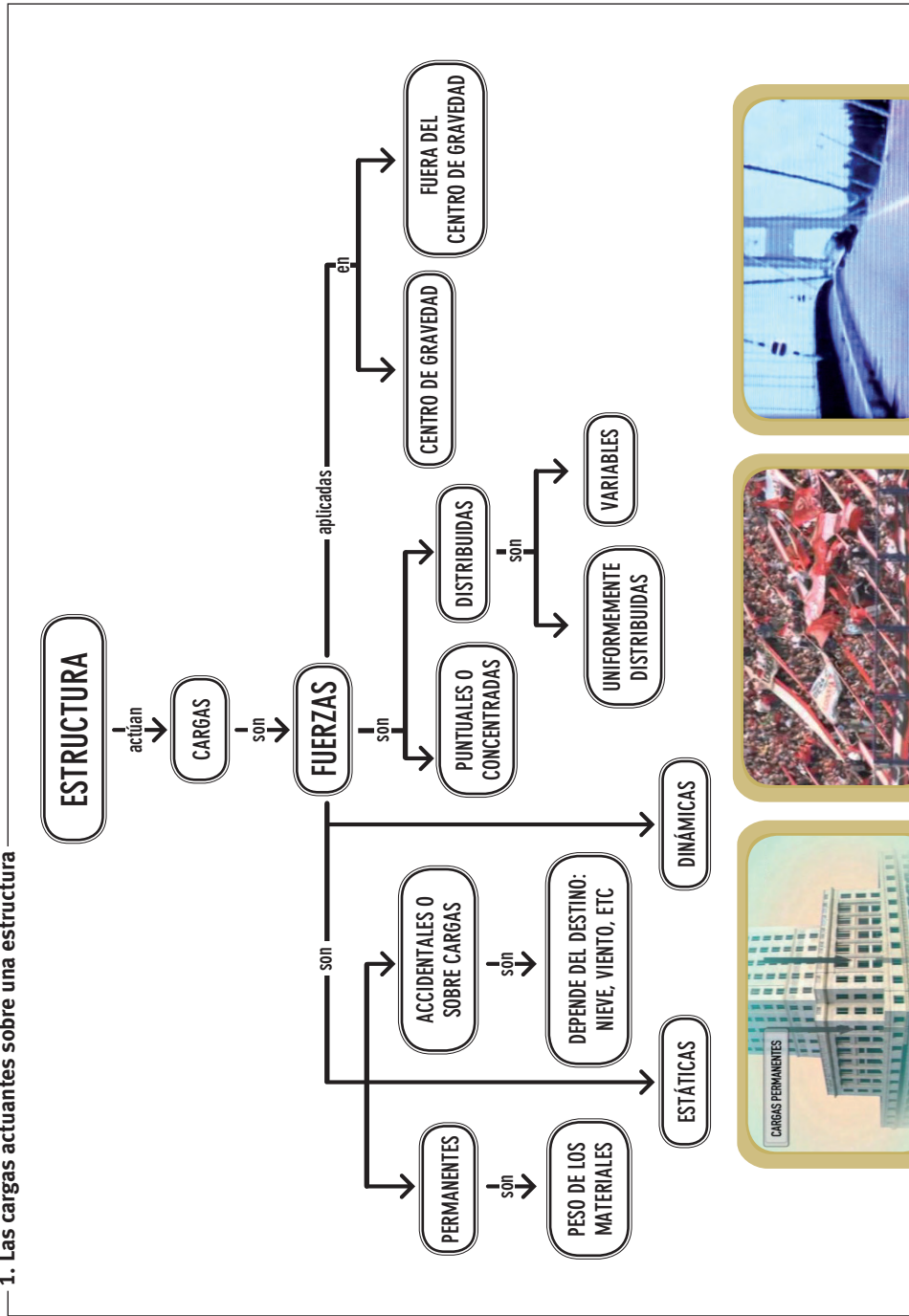
1. *Identificar la estructura en diferentes tipos de edificios.*
2. *Analizar los distintos tipos de estructuras y los vínculos existentes entre los diferentes elementos estructurales.*
3. *Analizar los diferentes tipos de cargas actuantes sobre un edificio.*
4. *Valorar la importancia de la estructura como una parte fundamental de un edificio.*

#### Los contenidos conceptuales que se incluyen en esta temática

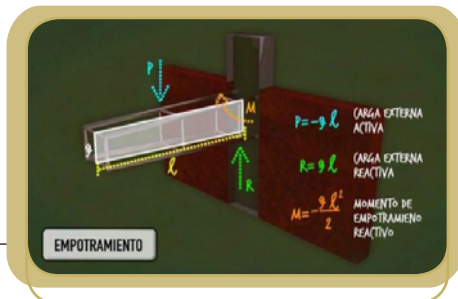
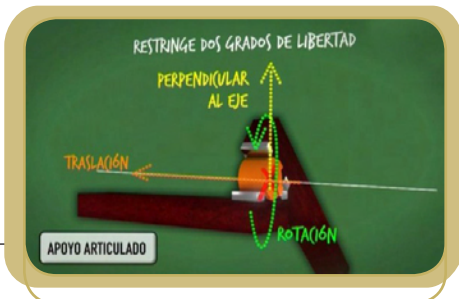
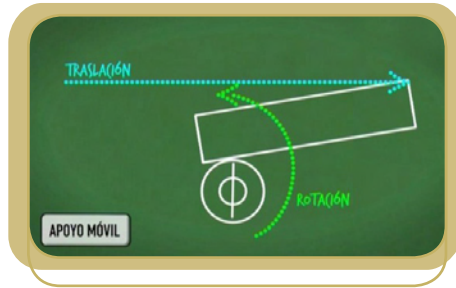
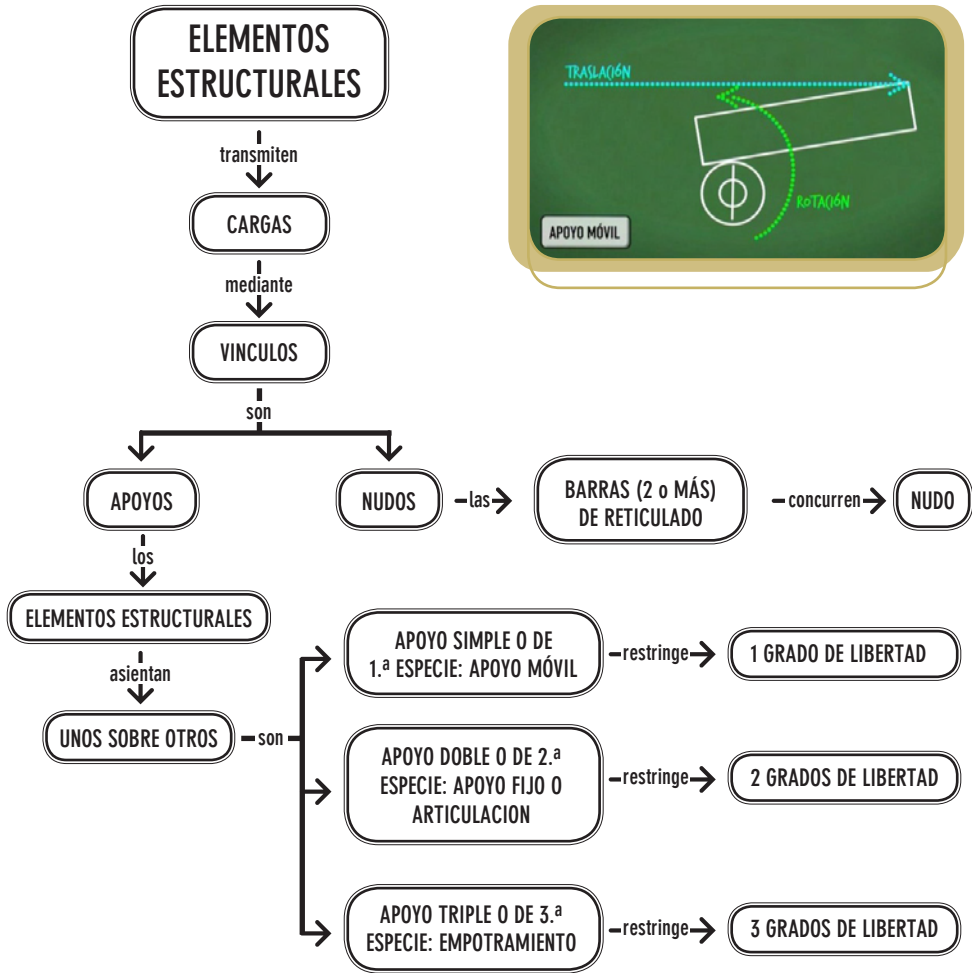
1. La estructura de un edificio.
2. Las cargas actuantes sobre una estructura.
3. Los apoyos: móvil, fijo (articulación), empotramiento.
4. Los nudos: su diferencia con los apoyos.

<sup>2</sup> Haydeé Noceti, Raúl Montoto. Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento. Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología. INET-PNUD 2006 -Buenos Aires Argentina.

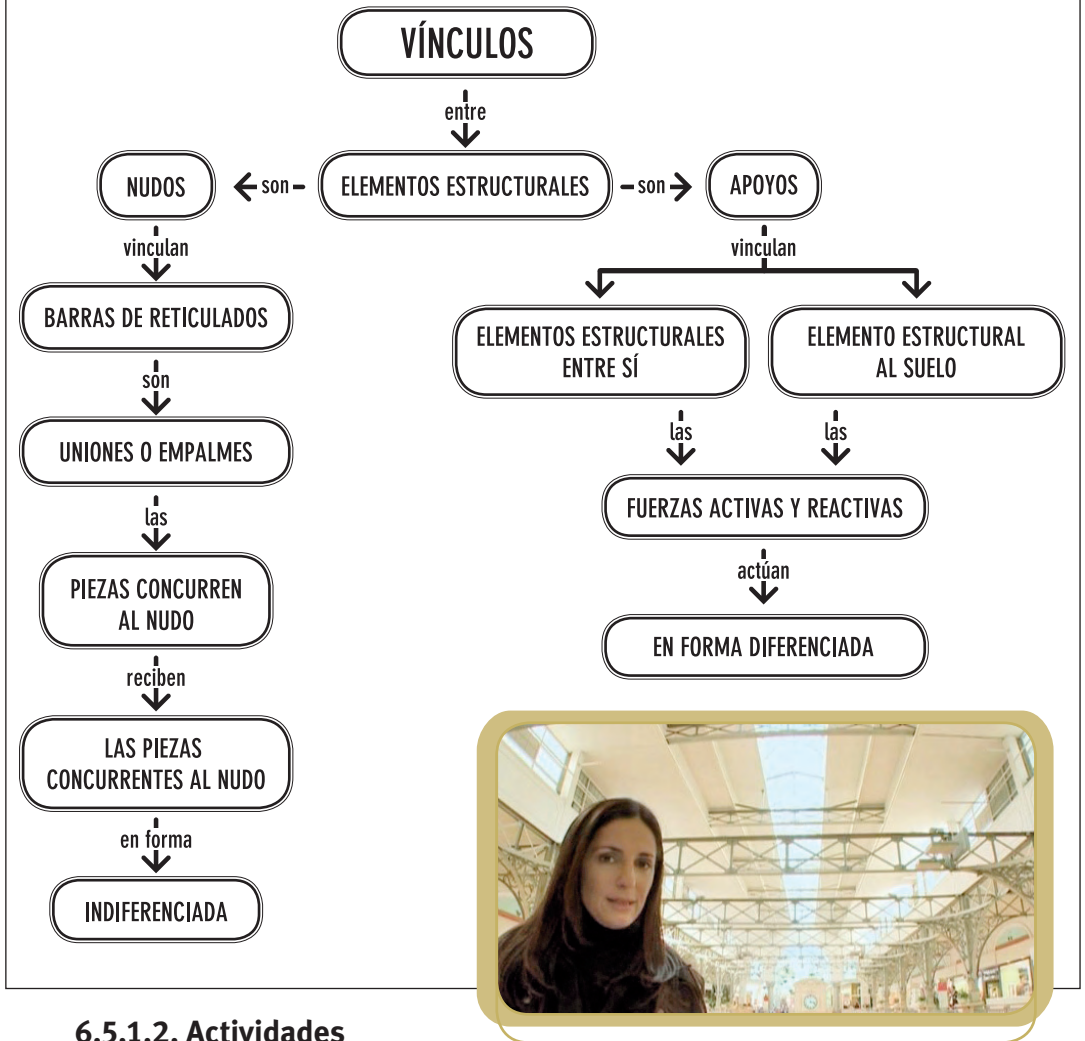
## 1. Las cargas actuantes sobre una estructura



## 2. Los apoyos: móvil, fijo (articulación), empotramiento



### 3. Los nudos: su diferencia con los apoyos



#### Actividad 1

##### Recorremos nuestra institución educativa

Nuestra institución educativa está ubicada en un edificio. Este edificio tiene una estructura que debemos descubrir y analizar, entonces proponemos la siguiente actividad:

- recorrido por el edificio siguiendo un determinado orden (éste se establecerá según las características del edificio). En ese recorrido sugerimos realizar las siguientes tareas:

- identificación de las diferentes partes del edificio;
- identificación de la estructura del edificio y de los elementos estructurales que la componen;
- identificación de los materiales con que está construida la estructura;
- descripción del diseño de la estructura;
- descripción del diseño arquitectónico.

b. En el aula proponemos trabajar con toda la información recogida y realizar las siguientes actividades:

- análisis de los diferentes elementos estructurales que conforman la estructura: función de cada uno, materiales utilizados, ...;
- análisis de las diferentes cargas actuantes y su distribución a través de la estructura;
- comparación entre el diseño arquitectónico y el diseño estructural.

Estas actividades pueden plasmarse en el papel a través de mapas conceptuales, esquemas, croquis, etc.

El docente será quien proponga si la actividad se realizará en forma individual o grupal. Cualquiera sea la forma de trabajo, siempre es importante que todos los alumnos conozcan y discutan las propuestas de los compañeros.

## Actividad 2



### Recorremos nuestra vivienda

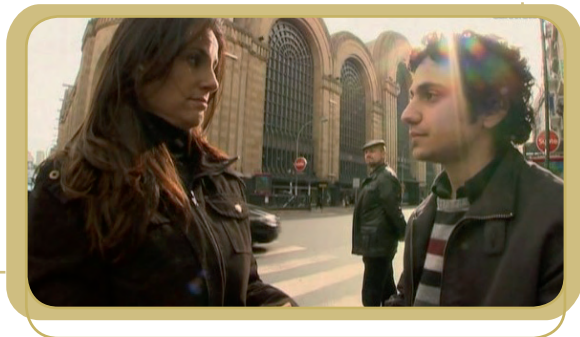
A modo de aplicación del aprendizaje anterior se propone que cada alumno realice la misma actividad, pero con el edificio de su vivienda.

## Actividad 3

### Realizamos un recorrido por un edificio emblemático

Otra actividad de aplicación y que amplía y profundiza los saberes que el alumno está adquiriendo sobre la temática es trabajar utilizando como modelo un edificio emblemático.

Entonces proponemos la siguiente actividad:



- a. elección de un edificio emblemático (puede ser a criterio del docente o del alumno con la guía de aquél);
- b. búsqueda de información: historia del edificio, ubicación geográfica, destino para el cual se lo construyó, uso actual, diseño arquitectónico, diseño estructural, materiales usados en la estructura, ...
- c. trabajo monográfico con toda la información recogida.

Nota. Esta actividad conviene que se haga en forma grupal.

## Actividad 4



### Los puentes emblemáticos de nuestro país, de nuestra provincia, de nuestra localidad,...

En el vídeo aparecen, en la primera escena, los personajes en el barrio de La Boca (Ciudad Autónoma de Buenos Aires) con el fondo del Viejo transbordador Avellaneda. El escenario no es casual. La estructura de dicho puente es un símbolo, no sólo de atracción turística, sino que muestra fundamentalmente el concepto de estructura donde se pueden visualizar perfectamente sus elementos estructurales, forma de vinculación entre los mismos, materiales, función, etc.

Entonces podemos utilizar este escenario para que los alumnos realicen la actividad que a continuación proponemos:

- a. búsqueda de información sobre el viejo puente transbordador Avellaneda: historia, materiales, tipo de estructura, función que cumplía, forma en que cumplía dicha función,...
- b. búsqueda de información sobre otro puente emblemático: el viejo puente Pueyrredón (recientemente reinaugurado): historia, materiales, tipo de estructura, función que cumplía y que hoy cumple, forma en que cumplía dicha función,...
- c. comparación entre ambos puentes, en cuanto a la función para la cual se los construyó, en lo que respecta al tipo de estructura, a los materiales,...





- d. elección de un puente construido en la provincia o en la localidad donde está la institución educativa,
- e. búsqueda de información sobre el puente elegido: historia, materiales, tipo de estructura, función que cumple,...
- f. comparación entre los dos viejos puentes de La Boca y el elegido que se encuentra en la provincia o en la localidad de la institución educativa: tipo de estructura, materiales, uso,...

## Actividad 5



### Los sismos que sacudieron a Haití y a Chile...

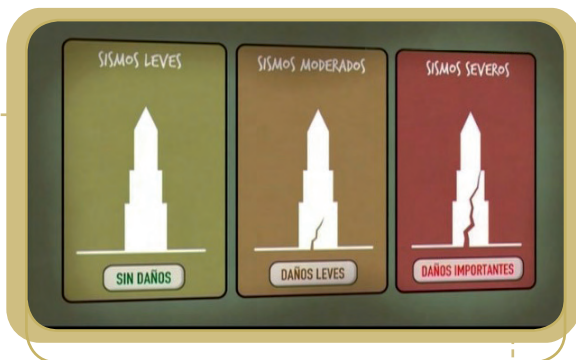
Los terremotos que sacudieron a Haití y a Chile en el año 2010, y a Japón (10 de marzo 2011), constituyen ejemplos concretos de la importancia que tiene la estructura de un edificio frente a las cargas actuantes.

Por otra parte las normativas que existen en cada país y en cada región con posibilidades de ser afectados por terremotos son muy claras sobre la forma de construcción, de diseño arquitectónico y estructural, y de materiales que se deben utilizar para que, ante un sismo el edificio sufra el menor daño posible y, de este modo poner a los seres humanos en el menor riesgo físico.

Entonces es una buena oportunidad didáctica para que los alumnos realicen la siguiente actividad:

- a. búsqueda de información sobre las condiciones edilicias de los edificios menos dañados y sobre los más afectados por el último terremoto que afectó a Chile y a Japón;
- b. considerar dos edificios de la misma localidad y realizar una comparación entre las características edilicias de uno y del otro;
- c. búsqueda de información sobre cómo afectó en la vida del ser humano en Chile la no consideración de las normas sismorresistentes;
- d. búsqueda de información sobre cómo están construídas las pagodas y los puentes en Japón mediante el uso de la madera, y cuáles son las normativas y prevenciones que se toman en dicho país ante un sismo.

La forma de presentación del trabajo es libre, a criterio de cada docente consensuado con sus alumnos.



## Actividad 6



### Encontrando las cargas que actúan sobre una estructura

Uno de los datos que debe buscar el calculista de estructuras es el valor de las cargas (fuerzas) que actúan sobre los distintos elementos estructurales.

Entonces resulta importante que los alumnos, como futuros calculistas, tomen conciencia de la importancia que tiene la determinación de las cargas, ya sean las permanentes como las accidentales o sobrecargas.

En esta actividad proponemos realizar un análisis de carga. Planteamos un caso hipotético.

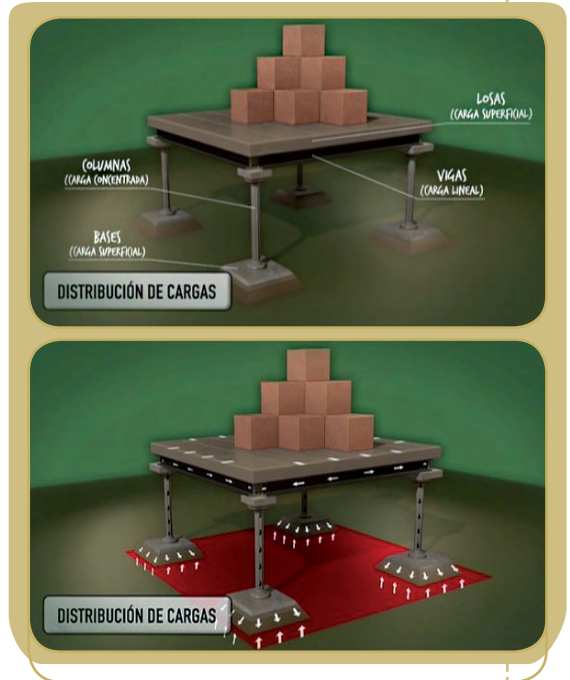
Una pequeña vivienda unifamiliar de planta baja y primer piso está ubicada en una zona resguardada de la acción del viento y de la nieve.

La estructura sobre planta baja está constituida por una losa de hormigón armado, cuatro vigas perimetrales, cuatro columnas y cuatro bases.

De acuerdo con el plano de estructura las dimensiones geométricas de la losa son: 8 m x 7,50 m. Los locales sobre planta baja son dormitorios.

Solicitamos a los alumnos:

- realización del croquis de la estructura con sus diferentes elementos estructurales;
- selección de materiales para piso, contrapiso, etc.
- búsqueda de los pesos de cada uno de los materiales que constituyen las cargas permanentes,
- determinación del valor de la sobrecarga o carga adicional,
- determinación de la carga específica total.



## Actividad 7

### Recorremos la ciudad en búsqueda de los apoyos



Seguramente en su localidad existen puentes de madera, de acero o de hormigón armado, alguna obra en construcción, un tinglado de acero o de madera o un edificio con cubierta a dos aguas donde se pueda apreciar la estructura de reticulado donde apoya la cubierta o una vieja estación de trenes con estructura de acero.

Entonces a través de una salida didáctica, le proponemos realizar la siguiente actividad:

- visita a un puente, a una vieja estación de trenes, a una obra que esté en el momento de construcción de las bases y a un edificio el que se visualice la estructura de reticulado;
- identificación de los apoyos (vínculos): tipos de apoyo e identificación de los nudos en la estructura de reticulado;
- realización del croquis en tres dimensiones de cada una de las estructuras y de los apoyos y nudos visualizados;
- realización del croquis del esquema de cada tipo de apoyo y de cada elemento estructural con sus apoyos.



La forma de presentación del trabajo es libre, a criterio de cada docente consensuado con sus alumnos.

### 6.5.2. Temática. Las reacciones de vínculos

Los vínculos entre dos elementos estructurales se ponen en evidencia mediante las denominadas *reacciones de vínculo*.

El cálculo de las reacciones de vínculo constituye el primer paso del cálculo estático. Por eso presentamos una serie de actividades que siguen una secuencia graduada en dificultad, presentando casos que van de lo más simple a lo más complejo.

## Objetivos

1. Aplicar, en situaciones reales concretas, las ecuaciones de equilibrio de un sistema de fuerzas concurrentes y no concurrentes.
2. Distinguir las cargas externas activas de las externas reactivas.
3. Aplicar la secuencia del cálculo estático en situaciones reales concretas.
4. Valorar la importancia del cálculo estático como una parte fundamental en la etapa previa a la construcción de un edificio.

En el tratamiento de este tema planteamos y resolvemos siete problemas. En todos ellos hacemos referencia exclusivamente, tal como lo expresamos en un párrafo anterior, al primer paso de la secuencia del cálculo estático: el cálculo de las reacciones de vínculo.

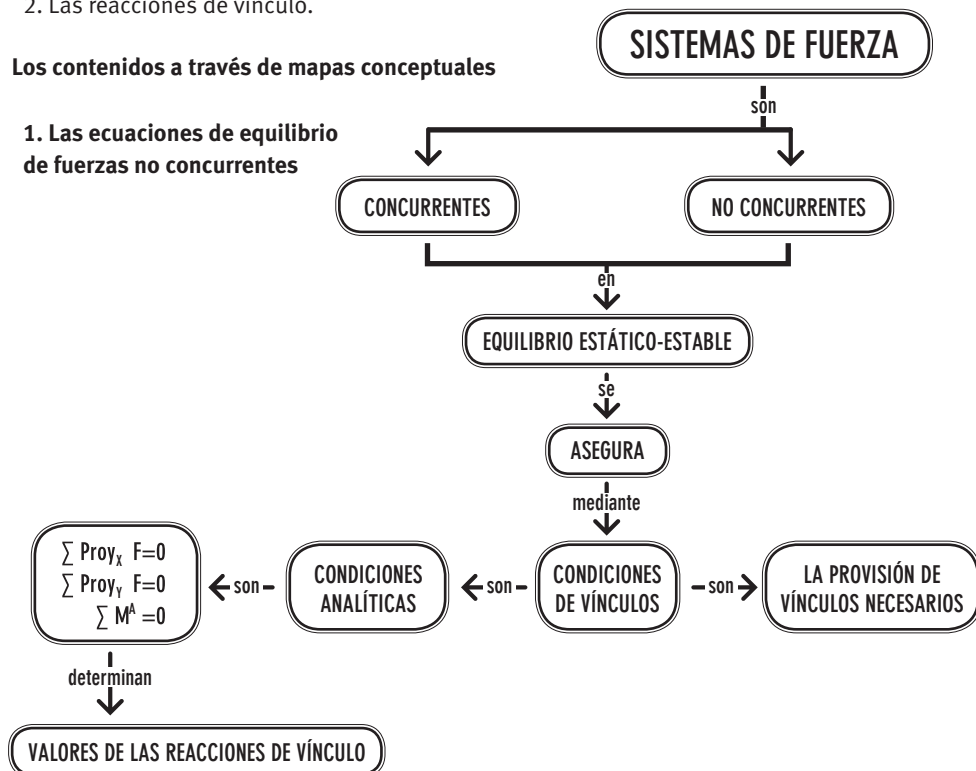
Para resolverlos elegimos un modelo que no es único. El lector podrá utilizar otro modelo. Lo importante es que, tanto el proceso como el resultado, sean correctos.

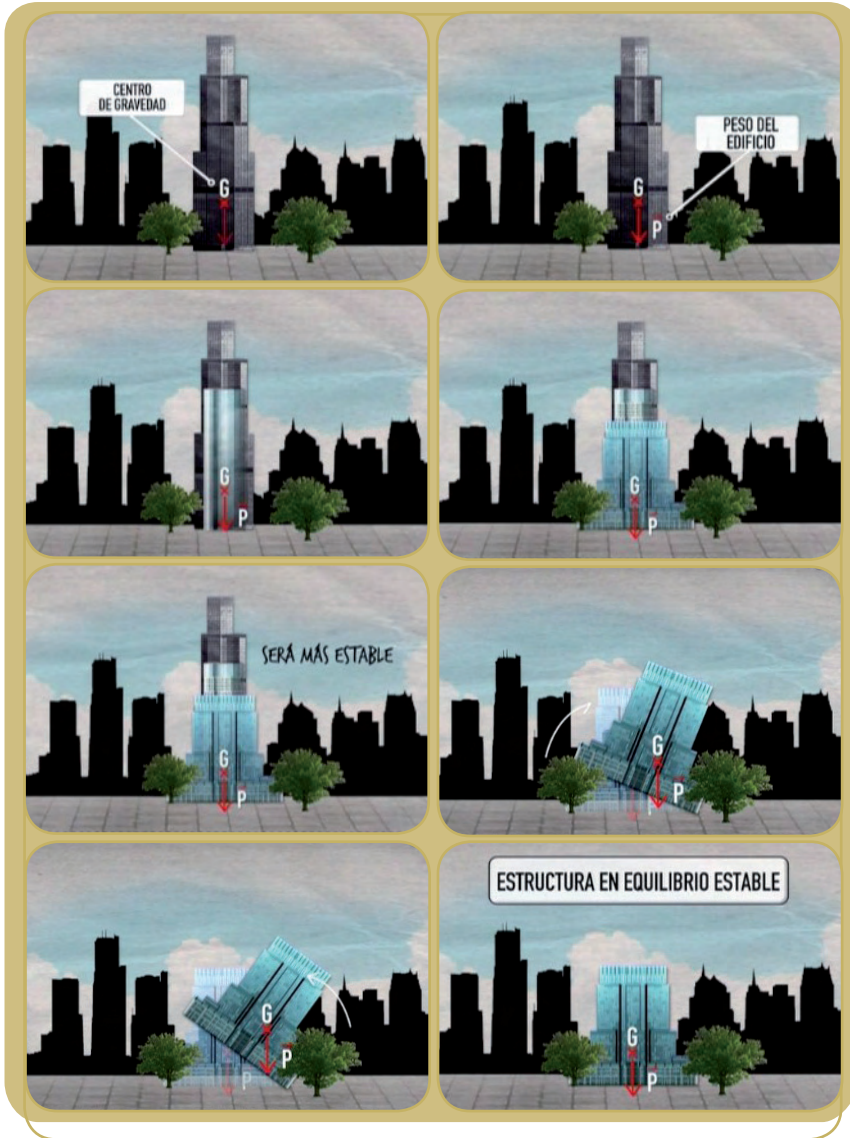
## Los contenidos conceptuales que se incluyen en esta temática

1. Las ecuaciones de equilibrio de fuerzas no concurrentes.
2. Las reacciones de vínculo.

## Los contenidos a través de mapas conceptuales

### 1. Las ecuaciones de equilibrio de fuerzas no concurrentes





## 2. Las reacciones de vínculo

REACCIONES DE VÍNCULO

—son—>

FUERZAS EXTERNAS

—proporcionados—>

APOYO

### 3. Cálculo de las reacciones de vínculo

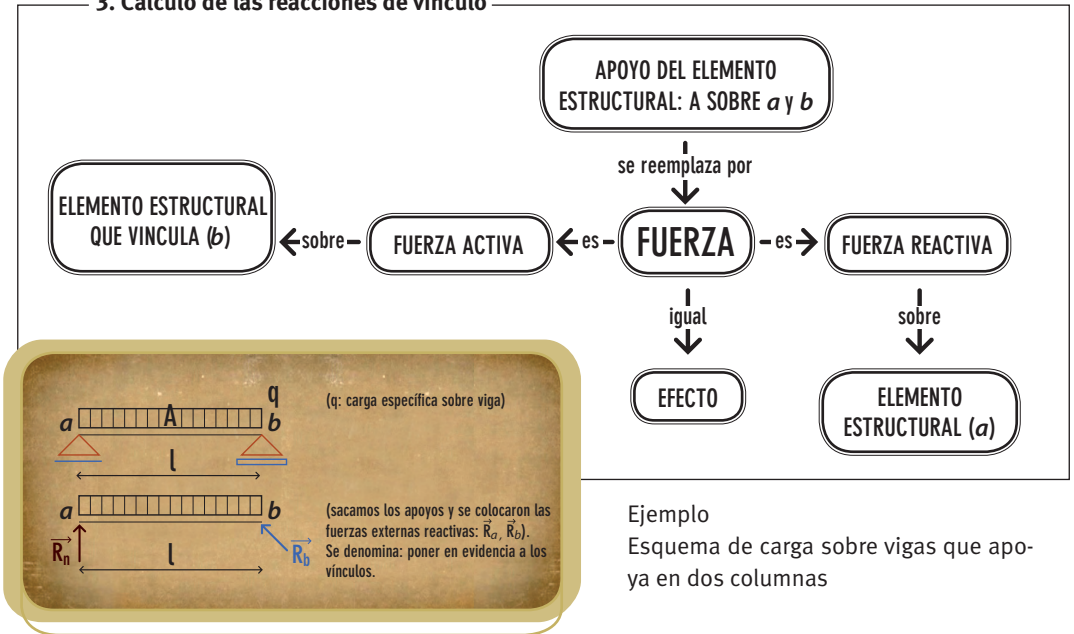


Figura 1. Perspectiva de una viga

## Actividad 8

### Problema N° 1

Tomás nos invita a visitar la casa de su abuela...

#### Enunciado

La abuela de Tomás vive en una casa edificada en el año 1940. El techo está construido con vigas de perfiles de acero y ladrillos cerámicos. Las paredes son muros de carga; esto quiere decir que forman parte de la estructura y son ellas quienes reciben y transmiten a los cimientos la carga del entrepiso (figura 1).

La carga  $q$  (carga específica) de la viga se obtiene mediante la carga que recibe del entrepiso, y de su peso propio y del muro (si es que existe) sobre la viga.

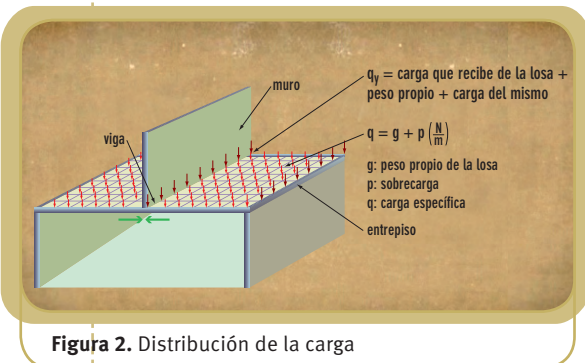


Figura 2. Distribución de la carga

La viga tiene el esquema estático de carga que se muestra en la figura 3.

¿Cuál será la carga que recibe la pared “a” y cuál la pared “b”?

### Desarrollo

- Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)
  - Dibujamos el diagrama de sólido libre, en el que ponemos en evidencia los vínculos (figura 4).

Aplicamos las ecuaciones de equilibrio de fuerzas no concurrentes:

$$\begin{cases} \sum M^a = 0 \Rightarrow -V_b \cdot l + H_b \cdot 0 + ql \frac{l}{2} = 0 \\ \sum M^b = 0 \Rightarrow V_a \cdot l - ql \frac{l}{2} = 0 \\ \sum H = 0 \Rightarrow H_b = 0 \end{cases}$$

- Calculamos el valor de  $V_b$ :

$$-V_b \cdot l = -\frac{ql^2}{2}$$

$$V_b = \frac{-ql^2}{-2l}$$

$$V_b = \frac{ql}{2}$$

$$V_b = \frac{20 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{7m}{2} \Rightarrow V_b = 70 \text{ kN}$$

- Calculamos el valor de  $V_a$ :

$$V_a \cdot l - q \frac{l^2}{2} = 0$$

$$V_a = \frac{ql^2}{2l}$$

$$V_a = \frac{20 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{7m}{2} \Rightarrow V_a = 70 \text{ kN}$$

- Calculamos el valor de  $H_b$ :

$$H_b = 0$$

- Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\sum Pr_{oy} = V_a + V_b - 20 \text{ kN} \times 7,00 \text{ m} = ?$$

$$70 \text{ kN} + 70 \text{ kN} - 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 7,00 \text{ m} = 0, \text{ verifica}$$

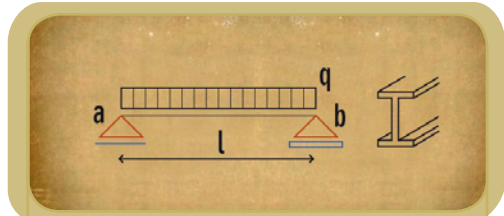


Figura 3. Esquema estático de carga

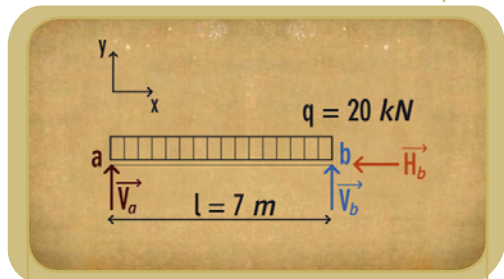


Figura 4. Diagrama de sólido libre

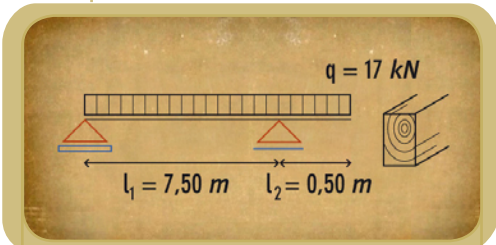
Como el apoyo fijo restringe la traslación en la dirección del eje y en la dirección perpendicular al eje, por este motivo las reacciones en “b” son  $H_b$  y  $V_b$ .

### Respuesta

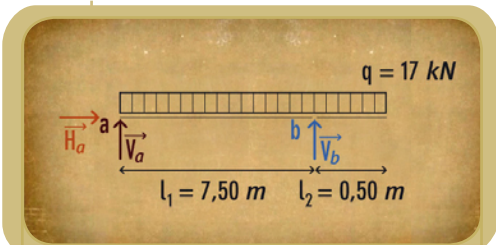
Las fuerzas reactivas en los apoyos son: en el apoyo móvil “a”,  $V_a = 70 \text{ kN}$  y en el apoyo fijo “b”,  $V_b = 70 \text{ kN}$  y  $H_b = 0 \text{ kN}$



**Figura 4.** *Primeros pasos*, 1937. Óleo sobre tela, 200 x 180,5 cm. Antonio Berni. Colección Museo Nacional de Bellas Artes



**Figura 5.** Esquema estático de carga de la viga



**Figura 6.** Diagrama de sólido libre

## Problema Nº 2

El entrepiso de una de las habitaciones de la casa de la abuela de Tomás es de madera.

### Enunciado

Una viga de madera de la estructura del entrepiso tiene el esquema estático de carga que se indica en la figura 5 (el valor de la carga lo suponemos)

¿Cuáles serán los valores de las reacciones en los apoyos?

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre, en el cual se ponen en evidencias los vínculos (figura 5).

Los datos son los indicados en el esquema estático de carga de la viga .

b. Calculamos el valor de  $V_b$

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow q (l_1 + l_2) \frac{(l_1 + l_2)}{2} - V_b \cdot l_1 = 0$$

$$17 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{(8 \text{ m})^2}{2} - V_b \cdot 7,50 \text{ m} = 0$$



$$V_b = \frac{17 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{64 \text{ m}^2}{(-2) \cdot 7,50 \text{ m}}$$

$$V_b = 72,53 \text{ kN}$$

c. Calculamos el valor de  $V_a$

$$\sum M^b = 0 \Rightarrow V_a \cdot l_1 - q \frac{l_1^2}{2} + \frac{q l_2^2}{2} = 0$$

$$V_a l_1 = \frac{q l_1^2}{2} - \frac{q l_2^2}{2}$$

$$V_a = \frac{17 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{(7,50 \text{ m})^2}{2 \cdot 7,50 \text{ m}} - \frac{17 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{(0,50 \text{ m})^2}{2 \cdot 7,50 \text{ m}}$$

$$V_a = 63,47 \text{ kN}$$

d. Calculamos el valor de  $H_a$

$$H_a = 0 \text{ kN}$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\sum \text{Pr } o_{y_y} = V_a + V_b - 17 \text{ kN} \times 8,00 \text{ m} = ?$$

$$72,53 \text{ kN} + 63,47 \text{ kN} - 17 \text{ kN/m} \cdot 8,00 \text{ m} = 0, \text{ verifica}$$

### Respuesta

Las fuerzas reactivas en los apoyos son: en el apoyo fijo "b",  $V_b = 72,53 \text{ kN}$ , y  $H_a = 0 \text{ kN}$ . En el apoyo móvil "a",  $V_a = 63,47 \text{ kN}$

### Problema N° 3



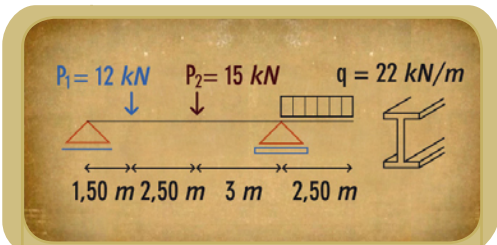
Continuamos en la casa de la abuela de Tomás. Una de las vigas de uno de los entresijos está en voladizo.

#### Enunciado

Una viga construida con un perfil de acero doble T recibe las cargas de una columna y de otra viga que apean<sup>3</sup> en ella. En el tramo apoya un muro cuya carga específica suponemos es  $q = 22 \text{ kN/m}$ . Despreciamos la carga debido al peso propio de la viga (figura 7).

**¿Cuáles son los valores de las reacciones en los apoyos?**

<sup>3</sup> Una columna apea en una viga cuando apoya en ella. También puede suceder que una viga apeee sobre otra viga, es decir una viga apoya sobre otra viga.



**Figura 7.** Diagrama de carga

**Desarrollo**

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre, en el cual se ponen en evidencias los vínculos (figura 8)

b. Calculamos el valor de  $V_a$

$$\sum M^d = 0 \Rightarrow V_a \cdot 7 \text{ m} - P_1 \cdot 5,50 \text{ m} - P_2 \cdot 3 \text{ m} + \frac{q \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}}{2} = 0$$

$$V_a \cdot 7 \text{ m} - 12 \text{ kN} \cdot 5,50 \text{ m} - 15 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} + \frac{22 \text{ kN/m} \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 2,50 \text{ m}}{2} = 0$$

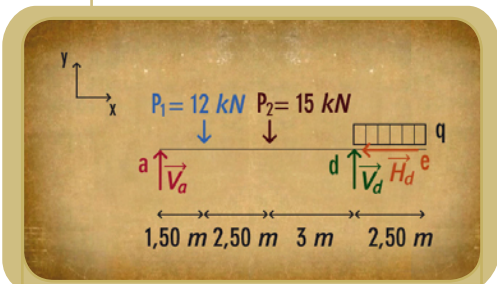
$$V_a \cdot 7 \text{ m} - 66 \text{ kNm} - 45 \text{ kNm} + 68,75 \text{ kNm} = 0$$

$$V_a \cdot 7 \text{ m} - 66 \text{ kNm} - 45 \text{ kNm} + 68,75 \text{ kNm} = 0$$

$$V_a \cdot 7 \text{ m} - 42,25 \text{ kNm} = 0$$

$$V_a \cdot 7 \text{ m} = 42,25 \text{ kNm}$$

$$V_a = 6,036 \text{ kN}$$



**Figura 8.** Diagrama de sólido libre

c. Calculamos el valor de  $V_d$

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow -V_d \cdot 7 \text{ m} + P_1 \cdot 1,50 \text{ m} + P_2 \cdot 4 \text{ m} + q \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 8,25 \text{ m} = 0$$

$$-V_d \cdot 7 \text{ m} + 12 \text{ kN} \cdot 1,50 \text{ m} + 15 \text{ kN} \cdot 4 \text{ m} + 22 \text{ kN m} \cdot 2,50 \text{ m} \cdot 8,25 \text{ m} = 0$$

$$-V_d \cdot 7 \text{ m} + 18 \text{ kNm} + 60 \text{ kNm} + 453,75 \text{ kNm} = 0$$

$$-V_d \cdot 7 \text{ m} + 531,75 \text{ kNm} = 0$$

$$-V_d \cdot 7 \text{ m} = -531,75 \text{ kNm}$$

$$V_d = 75,96 \text{ kN}$$

d. Calculamos el valor de  $H_d$

$$H_d = 0 \text{ kN}$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\sum \text{Pr } o_{y_y} = V_a - P_1 - P_2 + V_d - q \cdot 2,50 \text{ m} = ?$$

$$6,036 \text{ kN} - 12 \text{ kN} - 15 \text{ kN} + 75,96 \text{ kN} - 22 \text{ kN/m} \cdot 2,50 \text{ m} \approx 0$$

el error de 0,004 se origina por la aproximación de los decimales, entonces verifica

### Respuesta

Las fuerzas reactivas en los apoyos son: en el apoyo  $a$ ,  $V_a = 6,036 \text{ kN}$ ; en el apoyo  $d$ ,  $V_d = 75,96 \text{ kN}$  y  $H_d = 0$ .

## Problema Nº 4

Un problema diferente, tal vez no visto en la realidad, pero de gran valor didáctico.

### Enunciado

Una viga simplemente apoyada está cargada con un momento de módulo  $M = 45 \text{ kN m}$  aplicado en el centro de la viga ( figura 9).

¿Cuáles son las fuerzas reactivas en “a” y en “b”?

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre, en el cual se ponen en evidencia los vínculos ( figura 10).

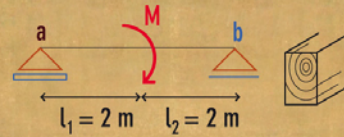


Figura 9. Diagrama de carga

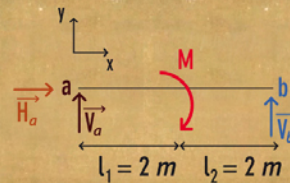


Figura 10. Diagrama de sólido libre

b. Calculamos el valor de  $V_a$

$$\sum M^b = 0 \Rightarrow V_a \cdot 4 \text{ m} + M = 0$$

$$V_a \cdot 4 \text{ m} + 45 \text{ kNm} = 0$$

$$V_a \cdot 4 \text{ m} = -45 \text{ kNm}$$

$$V_a = \frac{-45 \text{ kNm}}{4 \text{ m}}$$

$$V_a = -11,25 \text{ kN}$$

El signo (-) significa que el sentido adoptado a priori para  $\vec{V}_a$  no es el correcto. Se debe considerar el sentido contrario al adoptado.

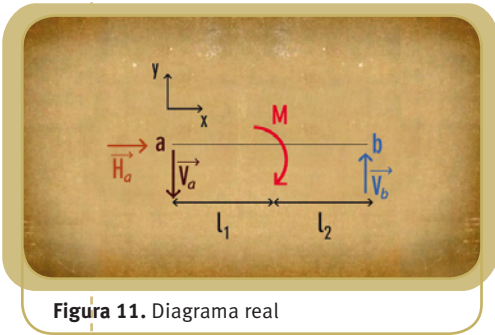


Figura 11. Diagrama real

a. Calculamos el valor de  $V_b$

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow V_b \cdot 4 \text{ m} + M = 0$$

$$V_b \cdot 4 \text{ m} = -45 \text{ kNm}$$

$$V_b = \frac{-45 \text{ kNm}}{-4 \text{ m}}$$

$$V_b = 11,25 \text{ kN}$$

b. Calculamos el valor de  $H_a$

$$H_a = 0$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\sum \text{Pr } o_{y_y} = 0 \Rightarrow V_a + V_b = ?$$

$$-11,25 \text{ kN} + 11,25 \text{ kN} = 0, \text{ verifica}$$

### Respuesta

Las fuerzas reactivas en los apoyos son: en el apoyo a,  $V_a = -11,25 \text{ kN}$ ; en el apoyo b,  $V_b = 11,25 \text{ kN}$ .



## Problema N° 5

Otro problema interesante.

### Enunciado

Una viga simplemente apoyada está sometida a cargas concentradas en el tramo y a momentos en sus apoyos (figura 12).

¿Cuáles son las fuerzas reactivas en los apoyos “a” y “b”?

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre, en el cual se ponen en evidencia los vínculos (figura 13)

b. Calculamos el valor de  $V_b$

$$\begin{aligned}\sum M^a = 0 &\Rightarrow -M_2 - V_b \cdot 6 \text{ m} + P_3 \cdot 4,5 \text{ m} + P_2 \cdot 3 \text{ m} + P_1 \cdot 1,5 \text{ m} + M_1 = 0 \\ -20 \text{ kN m} - V_b \cdot 6 \text{ m} + 20 \text{ kN} \cdot 4,5 \text{ m} + 15 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} + 20 \text{ kN} \cdot 1,5 \text{ m} + 10 \text{ kN m} &= 0 \\ -20 \text{ kN m} - V_b \cdot 6 \text{ m} + 90 \text{ kN m} + 45 \text{ kN m} + 30 \text{ kN m} + 10 \text{ kN m} &= 0 \\ -V_b \times 6 \text{ m} + 155 \text{ kN m} &= 0\end{aligned}$$

$$V_b = \frac{-155 \text{ kN m}}{-6 \text{ m}}$$

$$V_b = 25,83 \text{ kN}$$

c. Calculamos el valor de  $V_a$

$$\begin{aligned}\sum M^b = 0 &\Rightarrow V_a \cdot 6 \text{ m} - P_1 \cdot 4,5 \text{ m} - P_2 \cdot 3 \text{ m} - P_3 \cdot 1,5 \text{ m} + M_1 - M_2 = 0 \\ V_a \cdot 6 \text{ m} - 20 \text{ kN} \cdot 4,5 \text{ m} - 15 \text{ kN} \cdot 3 \text{ m} - 20 \text{ kN} \cdot 1,5 \text{ m} + 10 \text{ kN m} - 20 \text{ kN m} &= 0 \\ V_a \cdot 6 \text{ m} - 90 \text{ kN} \cdot \text{m} - 45 \text{ kN} \cdot \text{m} - 30 \text{ kN} \cdot \text{m} + 10 \text{ kN} \cdot \text{m} - 20 \text{ kN} \cdot \text{m} &= 0 \\ V_a \cdot 6 \text{ m} - 175 \text{ kN} \cdot \text{m} &= 0\end{aligned}$$

$$V_a = \frac{175 \text{ kN m}}{6 \text{ m}}$$

$$V_a = 29,16 \text{ kN}$$

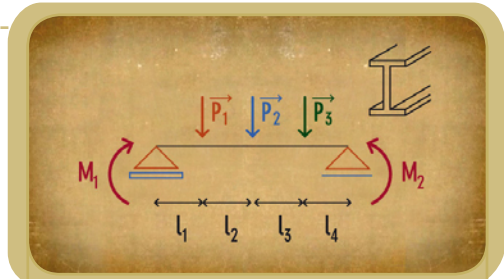


Figura 12. Diagrama de carga

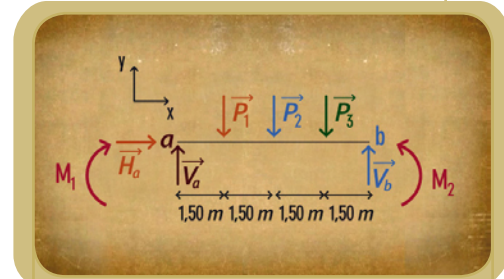


Figura 13. Diagrama de sólido libre

d. Calculamos el valor de  $H_a$

$$H_a = 0 \text{ kN}$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\begin{aligned}\sum \text{Pr } \alpha y &= 0 \Rightarrow V_a - P_1 - P_2 - P_3 + V_b = ? \\ 25,83 \text{ kN} - 20 \text{ kN} - 15 \text{ kN} - 20 \text{ kN} + 29,16 \text{ kN} &= 0,01 \\ &\approx 0\end{aligned}$$

el error de 0,01 se debe a la aproximación de decimales, entonces verifica

### Respuesta

Las fuerzas reactivas en los apoyos son: en el apoyo  $a$ ,  $V_a = 29,16 \text{ kN}$ ;  $H_a = 0 \text{ kN}$ ; en el apoyo  $b$ ,  $V_b = 25,83 \text{ kN}$ .

## Problema N° 6



Observamos uno de los entrepisos de la casa de la abuela de Tomás y, pensamos:

**¿cómo se habrá determinado el tipo de perfil que fue colocado, y cómo se supo qué dimensiones debía tener cada perfil?**

Nuestra profe nos explica que el calculista de estructuras es quien determina, mediante cálculos, las dimensiones de la totalidad de los elementos estructurales que tiene un edificio: losas, vigas, columnas, bases, tensores, puntales, etc.

En el caso de los perfiles del entrepiso de la casa de la abuela de Tomás el calculista tuvo que:

1. elegir el tipo de perfil;
2. buscar sus dimensiones: sección de un perfil de acero (en el caso del entrepiso de madera debió encontrar la escuadría de cada una de las vigas).

En la actualidad con el uso del hormigón armado (hormigón y acero) el calculista busca el diámetro del acero y la dimensión del elemento estructural: losa, viga, columna, etc.)

*El calculista siempre debe comenzar por el cálculo estático. Éste comienza, a su vez, por el cálculo de las reacciones de vínculo.*

Volvamos a nuestro problema

### Enunciado

En el Estudio de Ingeniería “MONTINOC”, uno de sus calculistas de estructuras, Raúl, tiene que dimensionar una viga de hormigón armado. Comienza por el cálculo de las reacciones de vínculo.

El esquema estático de una viga de hormigón armado es el de la figura 14.

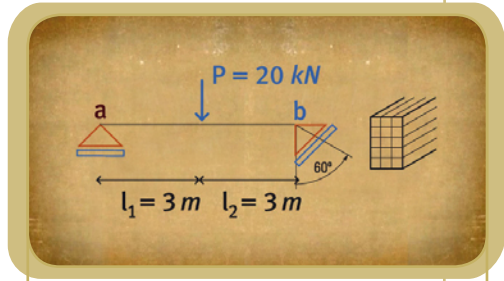


Figura 14. Esquema estático

¿Cuáles son las fuerzas reactivas en los apoyos “a” y “b”?

### Desarrollo

El cálculo estático implica el cálculo de las reacciones de vínculo.

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 15)

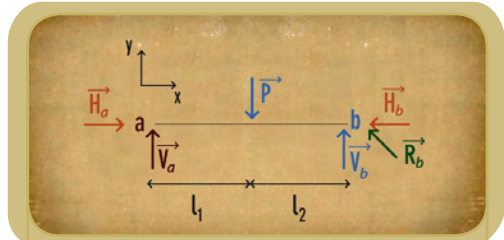


Figura 15. Diagrama de sólido libre

b. Calculamos el valor de  $V_a$

$$\sum M^b = 0 \Rightarrow V_a \times 6 \text{ m} - P \times 3 \text{ m} = 0$$

$$V_a \times 6 \text{ m} = -20 \text{ kN} \times 3 \text{ m}$$

$$V_a = \frac{60 \text{ kN m}}{6 \text{ m}}$$

$$V_a = 10 \text{ kN}$$

c. Calculamos el valor de  $R_b$

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow P \times 3 \text{ m} - R_b \times \cos 60^\circ \times 6 \text{ m} = 0$$

$$20 \text{ kN} \times 3 \text{ m} - R_b \times 3 \text{ m} = 0$$

$$-R_b \times 3 \text{ m} = -60 \text{ kN m}$$

$$R_b = \frac{60 \text{ kN m}}{3 \text{ m}}$$

$$R_b = 20 \text{ kN}$$

d. Calculamos el valor de  $V_b$

$$V_b = R_b \times \cos 60^\circ$$

$$V_b = 20 \text{ kN} \times 0,5$$

$$V_b = 10 \text{ kN}$$

e. Calculamos el valor de  $H_b$  y  $H_a$

$$H_b = R_b \times \sen 60^\circ$$

$$H_b = 20 \text{ kN} \times 0,87$$

$$H_b = 17,4 \text{ kN}$$

$$\sum \text{Pr } o_{y_x} = 0 \Rightarrow H_a - H_b = 0$$

$$H_a = 17,4 \text{ kN}$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y

$$\sum \text{Pr } o_{y_y} = 0 \Rightarrow V_a - P + V_b = ?$$

$$20 \text{ kN} - 30 \text{ kN} + 10 \text{ kN} = 0, \text{ verifica}$$



### Respuesta

Las reacciones de vínculo en los apoyos son:

$$V_a = 10 \text{ kN}$$

$$R_b = 20 \text{ kN} \rightarrow V_b = 10 \text{ kN}$$

$$\rightarrow H_b = 17,4 \text{ kN}$$

$$\rightarrow H_a = 17,4 \text{ kN}$$

### Problema Nº 7

Un edificio con columnas inclinadas.

#### Enunciado

Salimos de la casa de la abuela de Tomás. Caminamos unas cuadras y nos encontramos con un edificio que tiene amplios jardines en la planta baja y un gran hall central. Una particularidad nos llama la atención: las columnas son inclinadas.

Una de las vigas de la estructura de hormigón armado apoya sobre dos de esas columnas inclinadas, según el esquema de carga (figura 16).

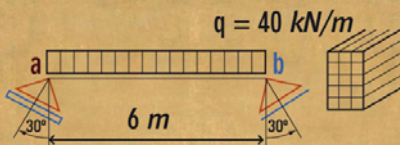


Figura 16. Esquema de carga



¿Cuáles serán las fuerzas que soportan las columnas provenientes de la viga?

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 17)

b. Calculamos el valor de  $R_a$

$$\sum M^b = 0 \Rightarrow R_a \cos 45^\circ \cdot 6 \text{ m} - \frac{40 \text{ kNm} (6 \text{ m} \cdot 6 \text{ m})}{2 \text{ m}} = 0 \quad (\text{consideramos } \cos 45^\circ = 0,71)$$

$$R_a = \frac{720 \text{ kNm}}{4,26 \text{ m}}$$

$$R_a = 169,01 \text{ kN}$$

c. Calculamos el valor de  $V_a$  y  $H_a$

$$V_a = R_a \cos 45^\circ \Rightarrow V_a = 169,01 \text{ kN} \times 0,71$$

$$V_a = 120 \text{ kN}$$

$$H_a = R_a \cdot \text{sen } 45^\circ \Rightarrow H_a = 169,01 \text{ kN} \cdot 0,71$$

$$H_a = 120 \text{ kN}$$

d. Calculamos el valor de  $R_b$

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow -R_b \cdot \cos 45^\circ \cdot 6 \text{ m} + \frac{40 \text{ kNm} (6 \text{ m} \cdot 6 \text{ m})}{2 \text{ m}} = 0$$

$$R_b = \frac{-720 \text{ kNm}}{-4,26 \text{ m}}$$

$$R_b = 169,01 \text{ kN}$$

2. Verificamos con la ecuación de proyección sobre el eje y y sobre el eje x

$$V_b = R_b \cdot \cos 45^\circ \Rightarrow V_b = 169,01 \text{ kN} \cdot 0,71$$

$$V_b = 120 \text{ kN}$$

$$H_b = R_b \text{ sen } 45^\circ \Rightarrow H_b = 169,01 \text{ kN} \cdot 0,71$$

$$H_b = 120 \text{ kN} \text{ el signo de } H_b \text{ es negativo}$$

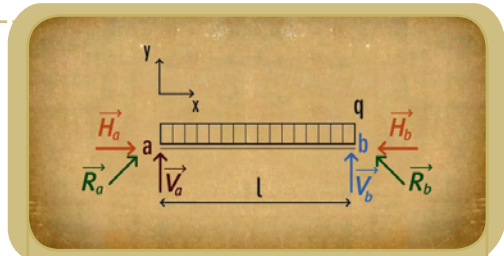


Figura 17. Diagrama de sólido libre

### Respuesta

Las fuerzas  $V_a = 120 \text{ kN}$ ;  $V_b = 120 \text{ kN}$ ;  $H_b = 120 \text{ kN}$  y  $H_a = 120 \text{ kN}$ , son fuerzas reactivas de las columnas sobre las vigas. Las fuerzas activas de la viga sobre las columnas son de igual dirección, de igual módulo, pero de sentido contrario.

Hemos desarrollado siete problemas similares a los que se le plantean a un calculista en el ejercicio de su profesión<sup>4</sup> y, en ellos calculamos las reacciones de vínculo de diferentes casos de vigas.

En las próximas actividades planteamos ejercicios que permiten calcular los esfuerzos de características a los que está sometido un elemento estructural debido a las cargas actuantes sobre él. Éste es el segundo paso del cálculo de una estructura.

### 6.5.3. Temática. Reacciones de vínculos + esfuerzos característicos

El segundo paso en el procedimiento para el dimensionamiento de un elemento estructural lo constituye la determinación de los esfuerzos característicos, pero no en forma aislada sino relacionada con el cálculo de las reacciones de vínculo. Por este motivo, la temática hace referencia a dichas reacciones más los esfuerzos característicos.

#### Objetivos

1. *Aplicar las ecuaciones de equilibrio de un sistema de fuerzas no concurrentes.*
2. *Aplicar los conceptos de esfuerzos característicos.*
3. *Analizar las gráficas de los esfuerzos característicos.*
4. *Aplicar la secuencia del cálculo estático.*
5. *Valorar la importancia del cálculo estático como una parte fundamental en la etapa previa a la construcción de un edificio.*

Para el logro de los objetivos planteados proponemos una serie de ejercicios. Adoptamos, en este caso, como modelo de actividad “el ejercicio” porque sólo nos interesa que el alumno adquiera la capacidad de calcular y analizar gráficos y la secuencia del cálculo estático en forma independiente de la situación real concreta.

Los primeros ejercicios planteados permiten continuar con la secuencia del cálculo estático, en este caso con el segundo paso. No utilizamos valores numéricos ya que nos interesa sólo el procedimiento de cálculo y no el resultado.

#### Los contenidos conceptuales que se incluyen en esta temática

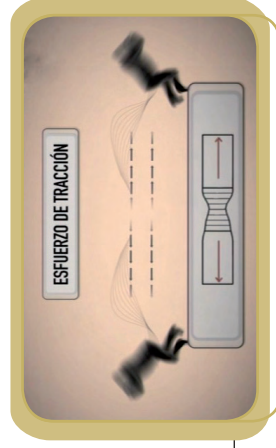
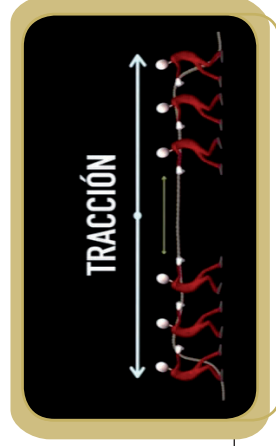
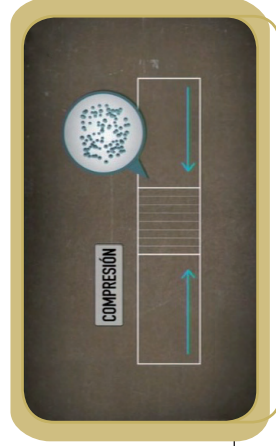
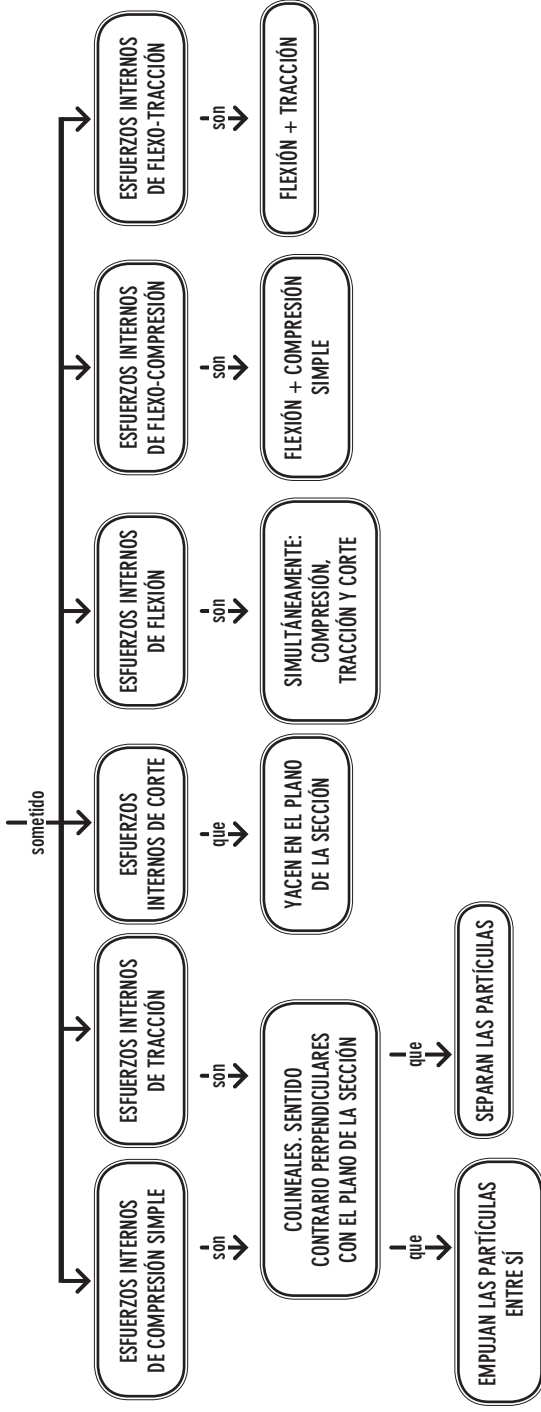
1. Los esfuerzos característicos: esfuerzo de corte, momento flexor y esfuerzo normal.
2. Diagramas de esfuerzos característicos

<sup>4</sup> En la actualidad el calculista utiliza herramientas (programas de computación) que le facilitan la rapidez en el cálculo. Nosotros en esta guía desarrollamos los problemas, por razones didácticas, con todas sus secuencias, por cuanto esta guía está destinada al aprendizaje de los alumnos de la escuela técnica secundaria.

Los contenidos a través de mapas conceptuales

1. Los esfuerzos característicos: esfuerzo de corte, momento flexor y esfuerzo normal

**ELEMENTO ESTRUCTURAL**



## Actividad 8



### Ejercicio N° 1

Dada una viga simplemente, apoyada, cuya luz es “ $l$ ” y, con una carga uniformemente repartida “ $q$ ”, determinar:

1. las reacciones en los apoyos;
2. el esfuerzo de corte, el momento flexor y el esfuerzo normal o axil en diferentes secciones;
3. los diagramas del esfuerzo de corte, del momento flexor y del esfuerzo normal o axil.

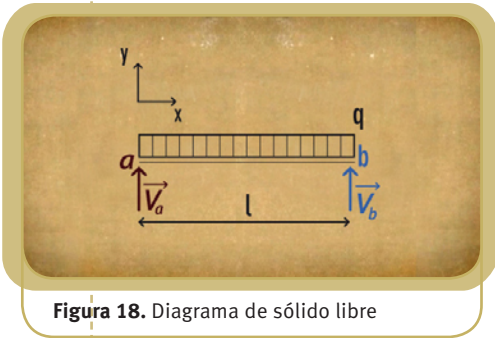


Figura 18. Diagrama de sólido libre

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico).
  - a. Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 18).
  - b. Calculamos las reacciones de vínculo en los apoyos.

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow -V_b \times l - \frac{ql^2}{2} = 0$$

$$\sum M^b = 0 \Rightarrow V_a \times l - \frac{ql^2}{2} = 0$$

$$V_a = \frac{ql^2}{2l}$$

$$V_a = \frac{ql}{2}$$

$$-V_b \times l = -\frac{ql^2}{2}$$

$$V_b \times l = \frac{ql^2}{2}$$

$$V_b = \frac{ql^2}{2l}$$

$$V_b = \frac{ql}{2}$$

2. Calculamos el esfuerzo de corte en una sección x-x arbitraria.

En el apoyo “a”, el esfuerzo de corte es:

$$V_a = +\frac{ql}{2}$$

A una distancia “x”, el esfuerzo de corte es:

$$Q - Q_a = -qx$$

$$Q = Q_a - qx$$

$$Q = \frac{ql}{2} - qx \quad \text{En } x = \frac{l}{2}, Q = 0$$

$$Q = q\left(\frac{l}{2} - x\right) \rightarrow \text{expresión matemática que corresponde a una función lineal, cuya representación gráfica es una recta}$$

3. Calculamos el momento flexor en una sección x-x arbitraria.

En el apoyo “a”, el momento flexor es cero.  
A una distancia “x”, el momento flexor es:

$$M_x = V_a x - q \frac{x^2}{2}$$

$$M_x = \frac{q l}{2} x - q \frac{x^2}{2}$$

$$M_x = \frac{q}{2} (-x^2 + lx)$$

$(-x^2 + lx)$ : expresión matemática que corresponde a una parábola cuadrática.

4. Calculamos el esfuerzo normal o axil en una sección x-x arbitraria.

Como no existe carga externa activa en la dirección del eje de la viga, el esfuerzo normal N es cero a lo largo de toda la viga.

5. Realizamos los diagramas de esfuerzo de corte, momento flexor y esfuerzo normal.

### Convención de signos en la representación de los diagramas

#### 1. Diagrama de esfuerzo de corte

Dibujamos sobre la recta que representa el eje, en la escala correspondiente, el valor del esfuerzo de corte con signo positivo y debajo de la recta el de signo negativo.

#### 2. Diagrama de momento flexor

Dibujamos debajo de la recta que representa el eje, en la escala correspondiente, el valor del momento flexor con signo positivo y arriba de la recta el de signo negativo.

#### 3. Diagrama de esfuerzo normal

Dibujamos debajo de la recta que representa el eje, en la escala correspondiente, el valor del esfuerzo normal de tracción y arriba el de compresión.

El gráfico del momento flexor es una parábola cuadrática. En el siguiente ítem explicamos el procedimiento para trazar dicha parábola cuadrática.

Figura 19.  
Diagrama de sólido libre

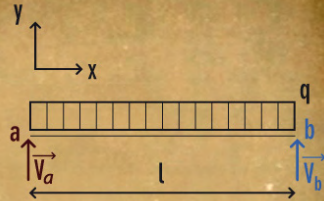


Figura 20.  
Diagrama de esfuerzo de corte

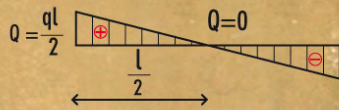


Figura 21.  
Diagrama de momento flexor

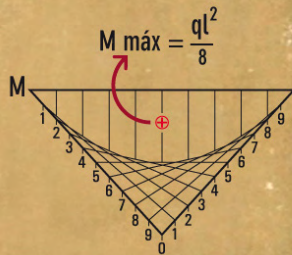


Figura 22.  
Diagrama de esfuerzo normal



### Trazado de la parábola cuadrática

Dado que  $\frac{dM}{dx} = Q$ , para  $x = \frac{l}{2}$  donde  $Q = 0$

$\frac{dM}{dx} = 0 \Rightarrow$  que en  $x = \frac{l}{2}$  existe un máximo o un mínimo y la recta tangente es horizontal.

El momento en  $x = \frac{l}{2}$  es máximo con signo (+).

El trazado de la curva es igual que el de una parábola cuadrática que tenga la expresión matemática  $f(x) = \frac{q}{2} (l \cdot x - x^2)$

### Procedimiento para el trazado de la parábola cuadrática

- a. En  $x = \frac{l}{2}$  se traza la perpendicular al eje y en la escala correspondiente dos veces el valor del momento máximo

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q}{2} \left[ -\left(\frac{l}{2}\right)^2 + l \cdot \frac{l}{2} \right]$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q}{2} \left[ -\left(\frac{l}{2}\right)^2 + \frac{l^2}{2} \right]$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q}{2} \left( -\frac{l^2}{2} + \frac{l^2}{2} \right)$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q}{2} \left( \frac{-l^2 + 2l^2}{4} \right)$$

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q l^2}{8}$$

- b. Se trazan las rectas determinadas por los puntos de apoyo y el punto “o”.
- c. Se dividen en partes iguales cada uno de esas rectas y se numeran en sentido contrario. Se traza la recta que pasa por los números de igual denominación. Dado que dichas rectas son tangentes a la parábola, ésta queda envuelta por los mismos.
- d. Cada segmento comprendido entre la parábola y el eje, en la escala correspondiente, representa al momento flexor en su sección.
- e. El momento flexor (+) lo representamos debajo del eje y el negativo sobre el eje.

### Ejercicio Nº 2

Dada una viga empotrada-libre sometida a una carga, uniformemente distribuida “q” (figura 22), determinar:



- las reacciones en los apoyos;
- el esfuerzo de corte, el momento flexor y el esfuerzo normal o axil en diferentes secciones;
- los diagramas del esfuerzo de corte, del momento flexor y del esfuerzo normal o axil.

### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 23)

b. Aplicamos las ecuaciones de equilibrio

$$\sum M^a = 0 \Rightarrow q l \cdot \frac{l}{2} + M_a = 0$$

$$M_a = -q \frac{l^2}{2}$$

$$\sum \text{Pr } o_{y} = 0 \Rightarrow V_a - ql = 0$$

$$V_a = ql$$

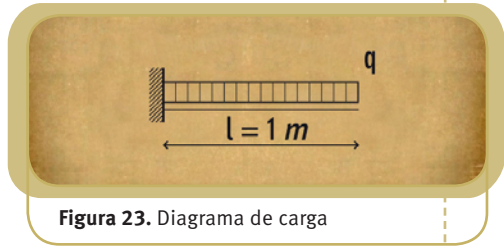


Figura 23. Diagrama de carga

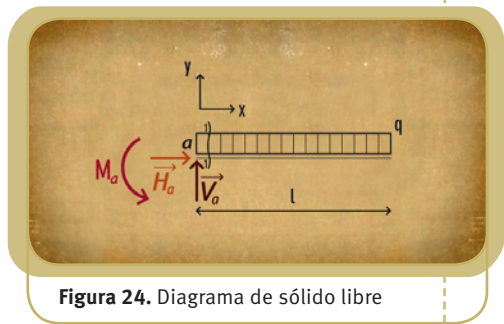


Figura 24. Diagrama de sólido libre

2. Determinación de los valores del esfuerzo de corte, momento flexor y esfuerzo normal en secciones críticas y realización de los respectivos diagramas.

#### a. Esfuerzo de corte

En el apoyo "a", el esfuerzo de corte es  $V_a$ .

$$Q_a = V_a$$

$$Q_a = ql$$

El esfuerzo de corte a una distancia "x" es:

$$Q_x = V_a - qx$$

$$Q_x = ql - qx$$

$$Q_x = q(l - x) \rightarrow l: \text{expresión matemática que corresponde a una función lineal, cuya representación gráfica es una recta}$$

Si  $x \rightarrow$  sección 1-1 (un infinitésimo a la izquierda del apoyo), entonces:

$$Q_{x=l} = -ql$$

## b. Momento flexor

En el apoyo "a", con signo negativo.

El momento flexor a una distancia "x" es:

$$M_x = V_a x - \frac{q x^2}{2}$$

$M_x = qx - \frac{q x^2}{2} \rightarrow$  expresión matemática de una función de segundo grado, cuya representación gráfica es una parábola.

El momento máximo es negativo e igual a:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{ql^2}{2}$$

## c. Esfuerzo normal

$$N = 0$$

### Procedimiento para el trazado del diagrama de momento flexor negativo

El trazado es similar al de una parábola correspondiente a la función:

a. En la escala de momentos adoptada se traza el valor de  $M_a$  en la sección del apoyo sobre eje.

b. El eje horizontal y la perpendicular en el apoyo son las rectas tangentes en los extremos de la parábola.

c. Se dividen en partes cada una de esas rectas y se las enumera siguiendo un sentido contrario.

d. Se trazan las rectas determinadas por pares de puntos de igual denominación. Dichas rectas son rectas tangentes que envuelven a la parábola cuadrática.

Figura 25. Diagrama de sólido libre

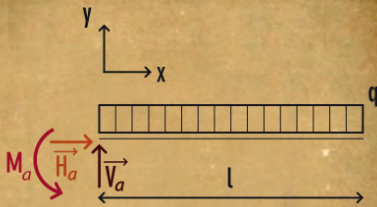


Figura 26. Diagrama de esfuerzo de corte

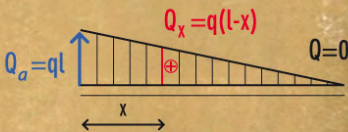


Figura 27. Diagrama de momento flexor

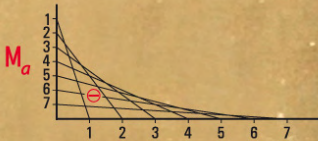


Figura 28. Diagrama de esfuerzo normal

$$N = 0$$

Los ejercicios que siguen tienen datos numéricos. Aquí nos interesa el resultado porque nos servirá para aplicarlo en la próxima temática referida al dimensionamiento.





### Ejercicio N° 3

Dada una viga apoyada en dos muros cuya luz es  $l=5\text{ m}$  y, con una carga uniformemente repartida  $q = 3.000\text{ N/m}$ , (figura 29) determinar:

- las reacciones en los apoyos;
- el esfuerzo de corte, el momento flexor y el esfuerzo normal o axil en diferentes secciones;
- los diagramas del esfuerzo de corte, del momento flexor y del esfuerzo normal o axil.

#### Desarrollo

1. Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico).

a. Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 30).

b. Calculamos las reacciones de vínculo en los apoyos.

$$V_a = \frac{ql}{2} \Rightarrow V_a = \frac{3.000 \times 5}{2} \text{ N}$$

$$V_a = 7.500 \text{ N}$$

$$V_b = \frac{ql}{2} \Rightarrow V_b = \frac{3.000 \times 5}{2} \text{ N}$$

$$V_b = 7.500 \text{ N}$$

2. Calculamos el esfuerzo de corte en una sección x-x arbitraria.

a. En el apoyo "a", el esfuerzo de corte es:

$$V_a = Q_a = 7.500 \text{ N}$$

b. A una distancia  $2,50\text{ m}$  del apoyo a, el esfuerzo de corte es:

$$Q = 7.500 \text{ N} - 3.000 \text{ N} \cdot 2,50 \text{ m}$$

c. En  $x = 2,50\text{ m}$ ,  $Q = 0$

d. En el apoyo "b", el esfuerzo de corte es:

$$V_b = Q_{b_{izq}} = 7.500 \text{ N}$$

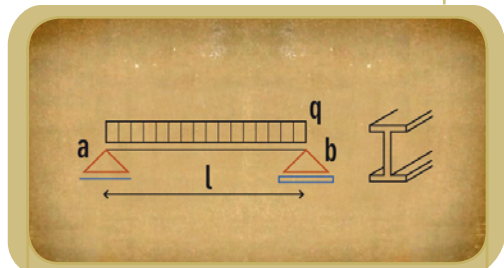


Figura 29. Esquema de carga

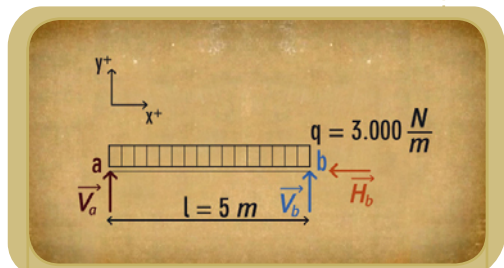


Figura 30. Diagrama de sólido libre

e. A la derecha de "b"  $\Rightarrow Q_{b\text{ der}} = 7.500\text{ N} - 7.500\text{ N}$   
 $Q_{b\text{ der}} = 0\text{ N}$

3. Calculamos el momento flexor en una sección x-x arbitraria.

a. En el apoyo "a", el momento flexor es cero.

b. A una distancia  $x = 1\text{ m}$ , el momento flexor es:

$$M_{x=1} = \frac{3.000\text{ N}}{2\text{ m}} \left( -(1\text{ m})^2 + 5\text{ m} \times 1\text{ m} \right)$$

$$M_{x=1} = 6.000\text{ Nm}$$

c. A una distancia  $x = 2,50\text{ m}$ , el momento flexor es:

$$M_{x=2,50} = \frac{3.000\text{ N}}{2\text{ m}} \left( -(2,50\text{ m})^2 + 5\text{ m} \times 2,50\text{ m} \right)$$

$$M_{x=2,50} = 9.375\text{ Nm} \text{ (momento máximo)}$$

4. Calculamos el esfuerzo normal o axil en una sección x-x arbitraria.

Como no existe carga externa activa en la dirección del eje de la viga, el esfuerzo normal  $N$  es cero a lo largo de toda la viga.

5. Diagramas de los esfuerzos característicos  $\rightarrow$

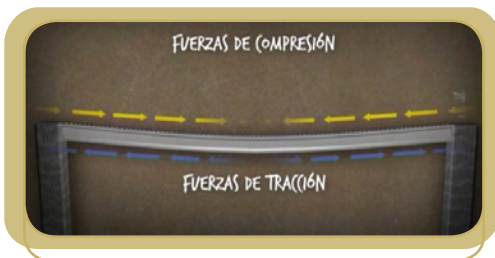


Figura 31.  
Diagrama de sólido libre

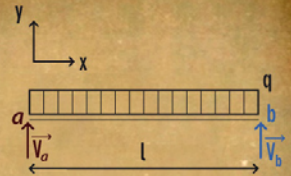


Figura 32.  
Diagrama de esfuerzo de corte

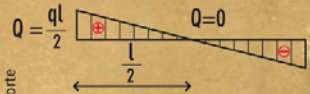


Figura 33.  
Diagrama de momento flexor

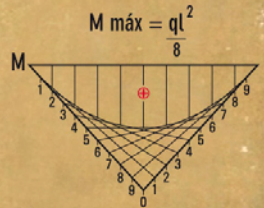


Figura 34.  
Diagrama de esfuerzo normal



## Respuesta

- Las reacciones en los apoyos tienen los siguientes valores:  $V_a = 7.500 \text{ N}$  y  $V_b = 7.500 \text{ N}$
- El esfuerzo de corte es:
  - en los apoyos:  $Q_a = 7.500 \text{ N}$ ;  $Q_{b\text{ izq}} = 7.500 \text{ N}$ ;  $Q_{b\text{ der}} = 0 \text{ N}$
  - en  $x = 2,50 \text{ m}$ :  $Q = 0$
- El momento flexor es:
  - en el apoyo "a":  $M_{x=0} = 0 \text{ Nm}$
  - en el apoyo "b":  $M_{x=5} = 0 \text{ Nm}$
  - a una distancia  $x = 2,50 \text{ m}$ :  $M_{x=2,50} = 9.375 \text{ Nm}$
- El esfuerzo normal o axil en las diferentes secciones es  $0 \text{ N}$



## Ejercicio Nº 4

Dada una viga empotrada-libre sometida a una carga, uniformemente distribuida  $q = 30 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$  (figura 35), determinar:

- las reacciones en los apoyos;
- el esfuerzo de corte, el momento flexor y el esfuerzo normal o axil en diferentes secciones;
- los diagramas del esfuerzo de corte, del momento flexor y del esfuerzo normal o axil.

### Desarrollo

- Determinación del valor de cada una de las reacciones en los apoyos (método analítico)
  - Dibujamos el diagrama de sólido libre (figura 36)

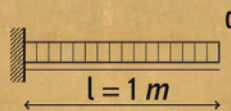


Figura 35. Diagrama de carga

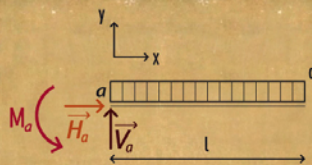


Figura 36. Diagrama de sólido libre



ESTRUCTURA EMPOTRADA LIBRE

b. Hallamos el valor de las reacciones de vínculo en el empotramiento

$$M_a = -30 \text{ kN} \times 1 \text{ m} \quad V_a = -30 \text{ kN} \times 1 \text{ m}$$

$$M_a = -30 \text{ kNm} \quad V_a = -30 \text{ kNm}$$

2. Determinación de los valores del esfuerzo de corte, momento flexor y esfuerzo normal en secciones críticas y realización de los respectivos diagramas.

**a. Esfuerzo de corte**

En el apoyo "a", el esfuerzo de corte es  $V_a$

$$Q_{a=5} = 30 \text{ kN}$$

El esfuerzo de corte a una distancia  $x = 1 \text{ m}$  es:

$$Q_{x=1} = -30 \text{ kN/m} (1 \text{ m} - 1 \text{ m})$$

$$Q_{x=1} = 0 \text{ kN}$$

**b. Momento flexor**

En el apoyo "a",  $M_a = q \frac{l^2}{2}$  con signo negativo  $M_a = -15 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m}$   
 $M_a = -15 \text{ kNm}$

El momento flexor a una distancia  $x = 1 \text{ m}$  es:

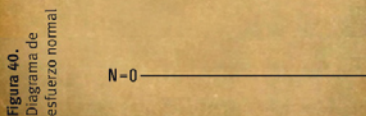
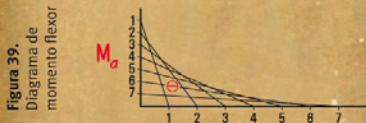
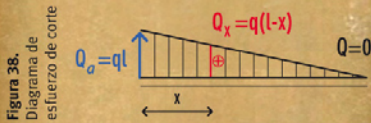
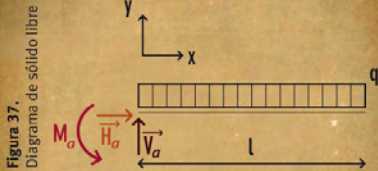
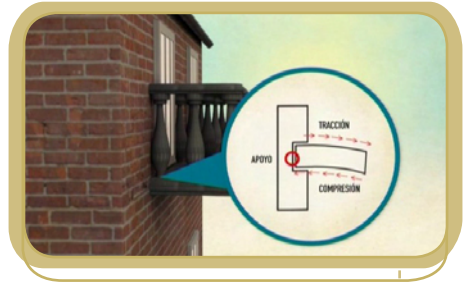
$$M_{x=1} = qx - \frac{q \cdot x^2}{2} - M_a$$

$$M_{x=1} = 30 \text{ kN} \cdot 1 \text{ m} - \frac{30 \text{ kN} (1 \text{ m})^2}{2} - 15 \text{ kNm}$$

$$M_{x=1} = 0 \text{ kNm}$$

**c. Esfuerzo normal**

$$N = 0 \text{ kN}$$



## Respuesta

1. Las reacciones en los apoyos tienen los siguientes valores:  $V_a = 30 \text{ kN}$  y  $V_b = 30 \text{ kN}$
2. El esfuerzo de corte es:
  - a. en los apoyos:  $Q_a = 30 \text{ kN}$
  - b. en  $x = 1 \text{ m}$ :  $Q = 0 \text{ kN}$
3. El momento flexor es:
  - a. en el apoyo "a":  $M_{x=0} \Rightarrow M_x = -15 \text{ kNm}$
  - b. a una distancia  $x = 1 \text{ m}$ :  $M_{x=1} = 0 \text{ kNm}$
4. El esfuerzo normal o axil en diferentes secciones es  $0 \text{ N}$

Hasta aquí hemos transitado el camino del cálculo estático que conduce al dimensionamiento de un elemento estructural.

Continuamos, entonces con el dimensionamiento. Para ello, también resolveremos ejercicios de aplicación referidos al dimensionamiento y verificación de vigas de acero y de madera.

## 6.5.4. Temática. Dimensionamiento de vigas de acero y de madera

### Objetivos

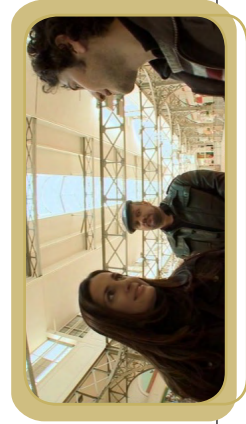
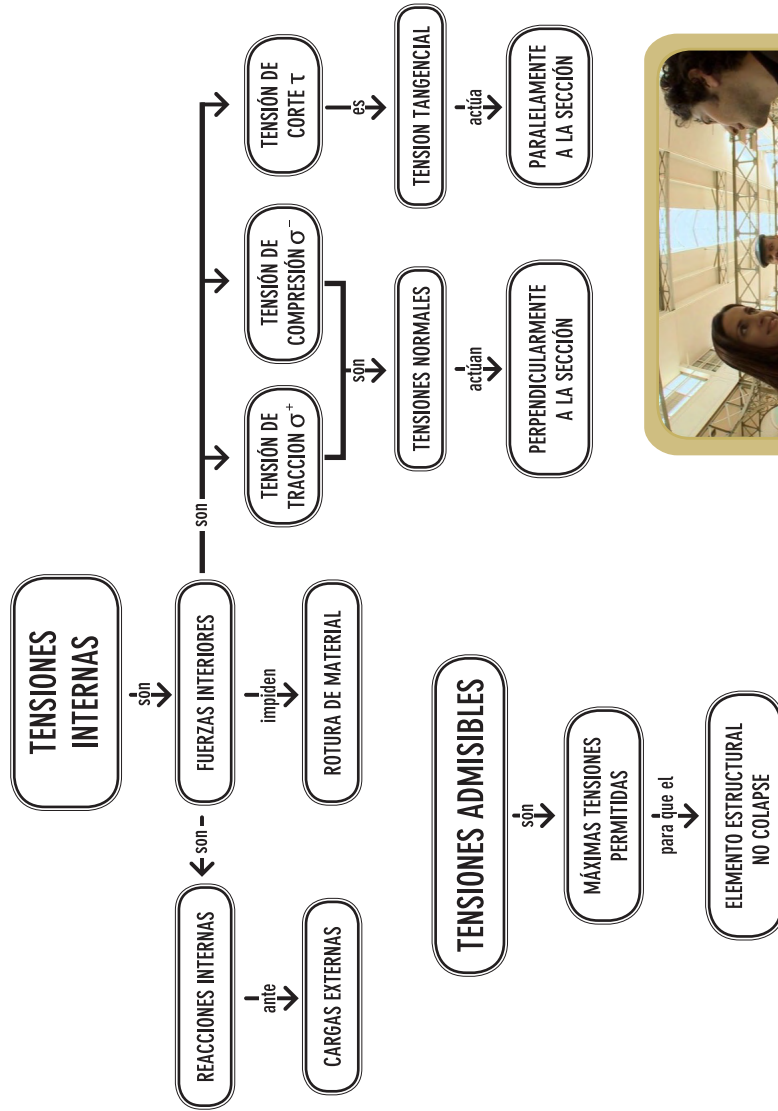
1. *Aplicar la secuencia de cálculo estático y de dimensionamiento de un elemento estructural.*
2. *Analizar los esfuerzos a los que está sometido el elemento estructural considerado.*
3. *Discutir soluciones según el material que se utilice en el elemento estructural.*
4. *Valorar la importancia que tiene el cálculo estático y el cálculo del dimensionamiento de un elemento estructural como parte previa a la construcción de un edificio.*

Para el logro de los objetivos planteados proponemos una serie de ejercicios. Aquí también, en forma similar al desarrollo de la temática anterior, adoptamos, en este caso, como modelo de actividad "el ejercicio" porque sólo nos interesa que el alumno adquiera la capacidad de analizar, calcular y aplicar la secuencia del cálculo estático y del dimensionamiento, en forma independiente de la situación real concreta.

Utilizamos los datos y los valores obtenidos en los ejercicios 3 y 4 para desarrollar esta temática.

1. Las tensiones: tensión normal y tangencial. Tensiones admisibles

Mapa conceptual



Los contenidos a través de mapas conceptuales y diagrama de flujo

1. Las tensiones: tensión normal y tangencial. Tensiones admisibles.
2. Momento de inercia. Flecha. Momento de inercia indispensable y obtenido mediante el cálculo.
3. La geometría de la sección de un elemento estructural.
4. Procedimiento de dimensionamiento de un elemento estructural sometido a la flexión.

## 2. La geometría de la sección de un elemento estructural

Mapa conceptual

### MAGNITUDES GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN DE UN ELEMENTO ESTRUCTURAL

↓  
son

MÓDULO O MOMENTO RESISTENTE (W)

↓  
son

MOMENTO INERCIA (J)

↓  
es

↓  
es

← siendo —

$$W_x = \frac{J_x}{y}$$

$$J_x = \int y^2 dA$$

↓  
depende

↓  
depende

FORMA DE LA SECCIÓN

FORMA DE LA SECCIÓN

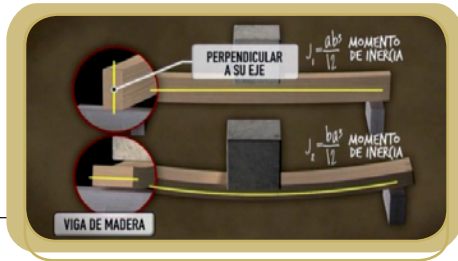
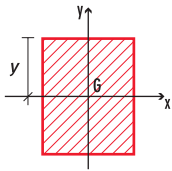
↓  
siendo

↓

$$[W_x] = \begin{cases} \text{cm}^3 \\ \text{m}^3 \\ \text{mm}^3 \end{cases}$$

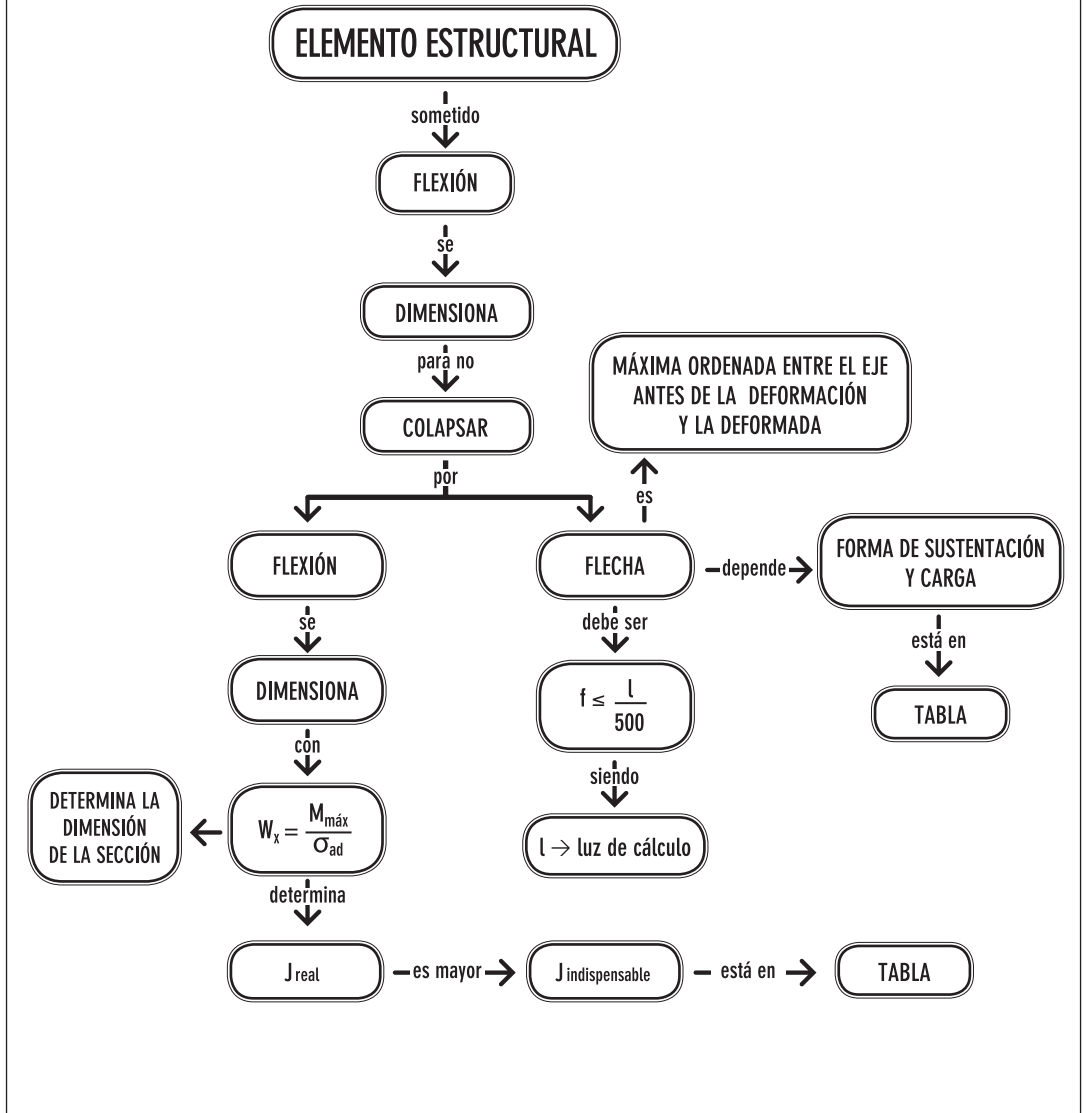
$$[J_x] = \begin{cases} \text{cm}^4 \\ \text{m}^4 \\ \text{mm}^4 \end{cases}$$

y → distancia desde el baricentro a la fibra más alejada



### 3. Momento de inercia. Flecha. Momento de inercia indispensable y obtenido mediante el cálculo

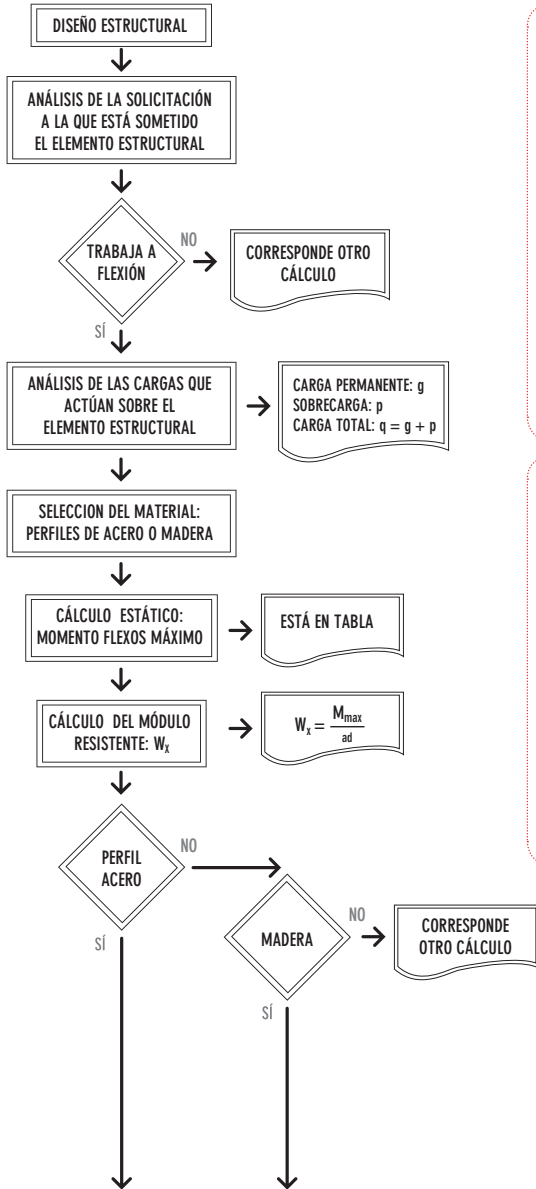
Mapa conceptual



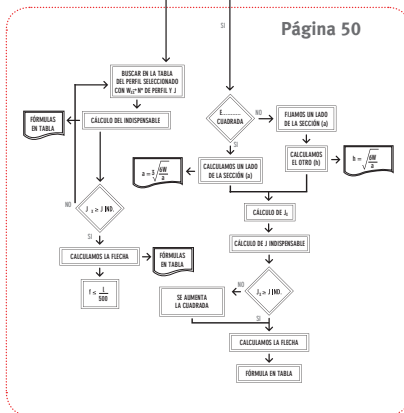
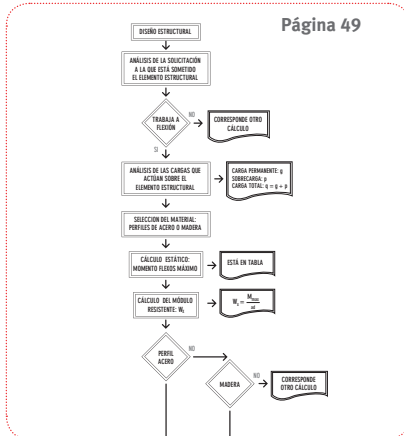


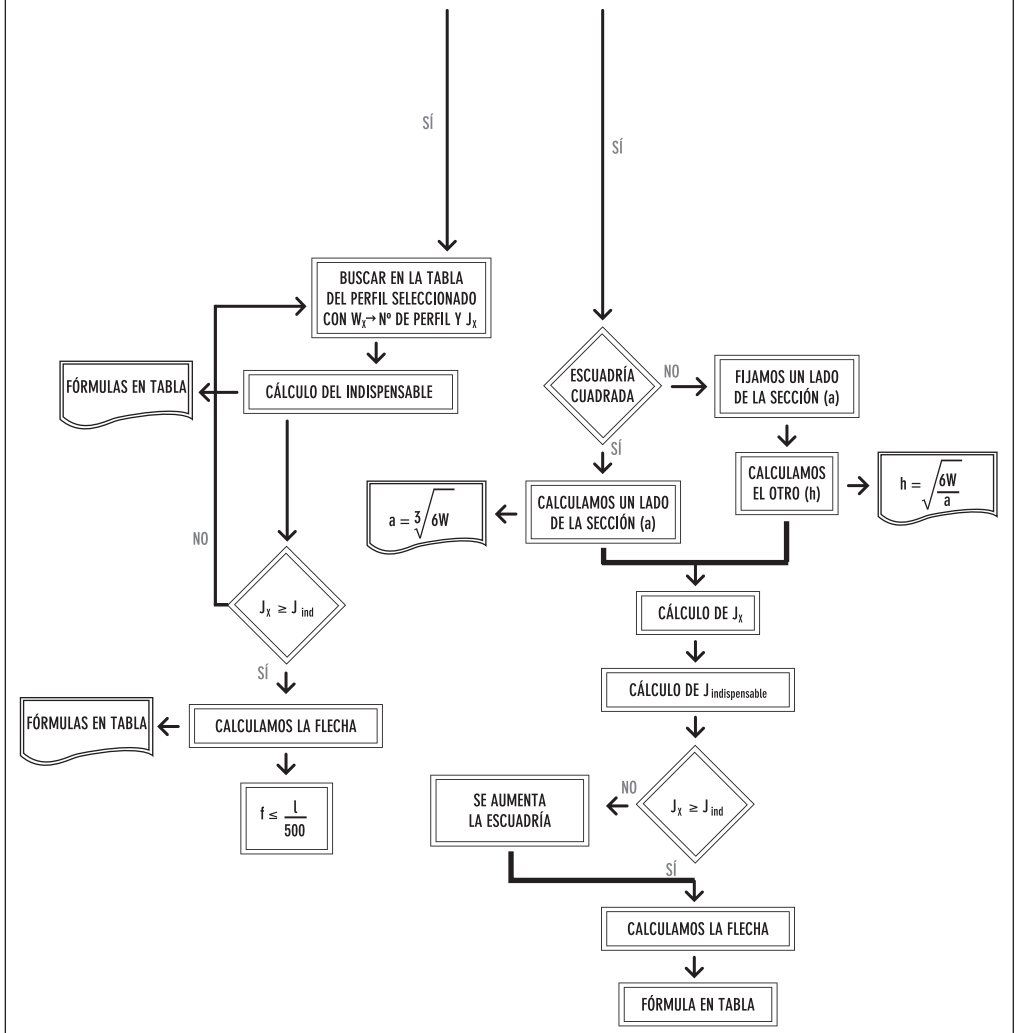
#### 4. Procedimiento de dimensionamiento de un elemento estructural sometido a la flexión

##### Diagrama de flujo



continúa en página 50





## Actividad 9



### Ejercicio N° 1

Dada la viga del ejercicio 3 de la actividad 8 deseamos construirla con un perfil de acero doble T. Recordemos que los datos son:

- a.  $l = 5 \text{ m}$
- b.  $q = 3.000 \text{ N/m}$  (carga uniformemente repartida).

El valor obtenido en el ejercicio 3 que interesa, en este caso, para el dimensionamiento es:

$$M_{x=2,50} = 9.375 \text{ Nm} \text{ (Momento flexor máximo)}$$

Además de estos datos, también se requiere conocer algunas fórmulas y otros datos.

- a. Tensión admisible del acero sometido a la flexión:

$$\sigma_{ad} = 1.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_{ad} = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

- b. Módulo resistente con respecto al eje x:  $W_x = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{ad}}$

- c. Momento de inercia indispensable:

$J_{nec} = 312 \cdot P \cdot l_{\text{cálculo}}^2 \text{ cm}^4$  ( $P = q \cdot l$ ) con  $[P] = t$  y  $l$  en  $m$ . Esta fórmula depende de la forma de sustentación y del tipo de carga.

- d. Valor de la flecha:  $f = 0,013 \frac{P \cdot l^3}{E \cdot J_x}$ . La flecha debe ser  $f < \frac{l}{500}$ .

### Desarrollo

En los ejercicios anteriores hemos calculado el momento flexor máximo con el valor de la luz libre porque nuestro objetivo fue, en ese caso, el aprendizaje del cálculo estático. En cambio para el dimensionamiento debemos considerar la denominada luz de cálculo.

Para el ejercicio que presentamos:  $l_{\text{cálculo}} = l + 5\% l$   
 $l_{\text{cálculo}} = 5 \text{ m} + 0,05 \cdot 5 \text{ m}$   
 $l_{\text{cálculo}} = 5,25 \text{ m}$

Recordemos la secuencia que continua al cálculo estático

#### 1. Análisis del tipo de esfuerzo al que está sometido el elemento estructural

En este caso se trata de una viga simplemente apoyada con una carga uniformemente

repartida. Evidentemente trabaja a la flexión. Entonces tenemos que encontrar un perfil de acero que no colapse por flexión.

Pero la pieza cuando está sometida a la flexión se deforma. La máxima ordenada de la deformación es lo que se denomina flecha. El perfil elegido también tiene que ser tal que no se rompa por flecha.

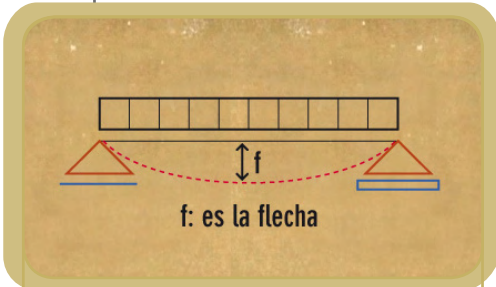


Figura 41. Elástica o deformada

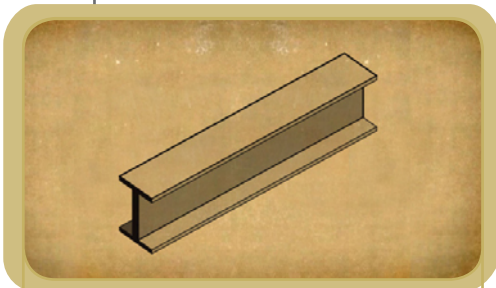


Figura 42. Viga doble T

En síntesis:

- debemos verificar que no colapse por flexión;
- debemos verificar que no se rompa por la flecha;
- calcular el valor de la flecha del perfil adoptado.

## 2. Cálculo del momento máximo considerando a la luz de cálculo

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{q l^2_{c\acute{a}lculo}}{8} \Rightarrow M_{m\acute{a}x} = \frac{3.000 \text{ N} \times 5,25^2 \text{ m}^2}{8}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 10.336 \text{ Nm}$$

## 3. Cálculo del módulo resistente

$$W_x = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{ad}}$$

$$W_x = \frac{10.336 \text{ N} \times 100 \text{ cm}}{16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$W_x = 65 \text{ cm}^3$$

## 4. Dimensionar el perfil doble T

Con este valor buscamos el perfil correspondiente en la tabla de perfiles.

Como el valor  $W_x = 65 \text{ cm}^3$  no está en la tabla consideramos el valor próximo mayor:  $W_x = 81,9 \text{ cm}^3$  que corresponde al perfil doble T (PNI 14).

Este perfil no colapsará, entonces por flexión.

## 5. Verificar que el perfil adoptado no se rompa por flecha

$$\text{La flecha debe ser } f < \frac{l_{c\acute{a}lculo}}{500} \Rightarrow \frac{525 \text{ cm}}{500} = 1,05 \text{ cm}$$

Para verificar la flecha tenemos que calcular el momento de inercia indispensable o necesario.

$$J_{nec.} = 31 \cdot P \cdot l^2$$

$$J_{nec.} = 31 \cdot q \cdot l^3_{c\acute{a}lculo}$$

$$J_{nec.} = 31 \cdot 1,5 \cdot 5,25^2$$

$$J_{nec.} = 1.282 \text{ cm}^4$$

Comparando este valor con el valor del momento de inercia real del perfil adoptado  $J_{real} = 573 \text{ cm}^4$ , observamos que  $J_{real} < J_{nec}$ , entonces el perfil, si bien no colapsará por flexión lo hará por flecha.

Se adopta el PNI 18, ya que el  $J_{real} = 935 \text{ cm}^4$ ; para el PNI 16 tampoco verifica. Para el PNI 18, el  $J_{real} = 1.450 \text{ cm}^4 > J_{nec} = 1.282 \text{ cm}^4$ , entonces verifica la flecha.

### 6. Cálculo de la flecha del perfil adoptado

$$f = 0,013 \frac{P \cdot l^3}{E \cdot J_x} \Rightarrow f = 0,013 \frac{1.500 \times 500^3}{2 \cdot 100.000 \times 1.450}$$
$$f = 0,8 \text{ cm} < 1,05 \text{ cm}$$

### Respuesta

El perfil adoptado es PNI 18



### Ejercicio N° 2

Dada la viga del ejercicio 4 de la actividad 8 deseamos construirla con un perfil de acero doble T. Recordemos que los datos son:

- a.  $l = 1 \text{ m}$
- b.  $q = 30 \text{ kN/m}$  (carga uniformemente repartida)

El valor obtenido en el ejercicio 4 y que interesa, en este caso, para el dimensionamiento es:

$$M_{x=0} = -15 \text{ kNm} \text{ (momento flexor máximo)}$$

Además de estos datos, también se requiere conocer algunas fórmulas y otros datos.

- a. Tensión admisible del acero sometido a la flexión:

$$\sigma_{ad} = 1.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_{ad} = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

- b. Módulo resistente con respecto al eje x:  $W_x = \frac{M_{máx}}{\sigma_{ad}}$

- c. Momento de inercia indispensable:

$$J_{nec} = 312 \cdot P \cdot l^2_{cálculo} \text{ cm}^4 (P = q \cdot l) \text{ con } [P] = t \text{ y } l \text{ en m}$$

Esta fórmula depende de la forma de sustentación y del tipo de carga.

- d. Valor de la flecha:  $f = \frac{P \cdot l^3}{8 \times E \cdot J_x}$ . La flecha debe ser  $f < \frac{l}{500}$

## Desarrollo

### 1. Análisis del tipo de esfuerzo al que está sometido el elemento estructural

En este caso se trata de una viga en voladizo con una carga uniformemente repartida. Evidentemente la viga trabaja a la flexión. Entonces tenemos que encontrar un perfil de acero que no colapse por flexión.

Pero la pieza cuando está sometida a la flexión se deforma. El perfil elegido también tiene que ser tal que no se rompa por flecha.

En síntesis:

- debemos verificar que no colapse por flexión;
- debemos verificar que no se rompa por la flecha;
- calcular el valor de la flecha del perfil adoptado.

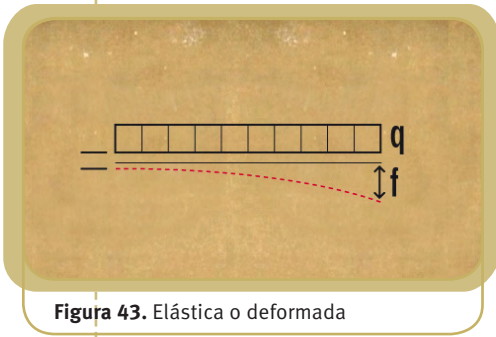


Figura 43. Elástica o deformada

### 2. Cálculo del momento máximo considerando a la luz de cálculo

$$M_a = q \frac{l_{\text{cálculo}}^2}{2}$$

$$M_a = 30 \cdot \frac{(1,05)^2}{2} \text{ kNm}$$

$$M_a = 16,538 \text{ kNm}$$

$$M_a = 16.538 \text{ Nm}$$

### 3. Cálculo del módulo resistente

$$W_x = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{ad}}$$

$$W_x = \frac{16.538 \text{ Nx } 100 \text{ cm}}{16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$W_x = 103,36 \text{ cm}^3$$

### 4. Dimensionar el perfil doble T

Con este valor buscamos el perfil correspondiente en la tabla de perfiles.

Como el valor  $W_x = 103,36 \text{ cm}^3$  no está en la tabla consideramos el valor próximo mayor:

$W_x = 117 \text{ cm}^3$  que corresponde al perfil doble T (PNI 16).

Este perfil no colapsará, entonces por flexión.

### 5. Verificar que el perfil adoptado no se rompa por flecha

La flecha debe ser  $f < \frac{l_{\text{cálculo}}}{500} \Rightarrow \frac{105 \text{ cm}}{500} = 0,21 \text{ cm}$

Para verificar la flecha tenemos que calcular el momento de inercia indispensable o necesario.

$$J_{\text{nec.}} = 312 \cdot P \cdot l^2$$

$$J_{\text{nec.}} = 312 \cdot 3 \cdot 1,05^2$$

$$J_{\text{nec.}} = 1.032 \text{ cm}^4$$

Comparando este valor con el valor del momento de inercia real del perfil adoptado  $J_{\text{real}} = 935 \text{ cm}^4$ , observamos que  $J_{\text{real}} < J_{\text{nec.}}$ , entonces el perfil, si bien no colapsará por flexión lo hará por flecha.

Se adopta el PNI 18, ya que el  $J_{\text{real}} = 935 \text{ cm}^4$  para el PNI 16 tampoco verifica.

Para el PNI 18, el  $J_{\text{real}} = 1.450 \text{ cm}^4 > J_{\text{nec.}} = 1.032 \text{ cm}^4$ , entonces verifica la flecha.

### 6. Cálculo de la flecha del perfil adoptado

$$f = \frac{P \cdot l^3}{8 \times E \cdot J_x} \Rightarrow f = \frac{3.000 \times 100^3}{8 \times 2 \cdot 100.000 \times 1.450}$$

$$f = 0,12 \text{ cm} < 0,21 \text{ cm}$$

### Respuesta

El perfil adoptado es PNI 18

### Ejercicio N° 3



Dada la viga del ejercicio 3 de la actividad 8 deseamos construirla de madera. Recordemos que los datos son:

a.  $l = 5 \text{ m}$

b.  $q = 3.000 \text{ N/m}$  (carga uniformemente repartida)

El valor obtenido en el ejercicio 3 y que interesa, en este caso, para el dimensionamiento es:

$$M_{x=2,50} = 9.375 \text{ Nm} \text{ (Momento flexor máximo)}$$

Además de estos datos, también se requiere conocer algunas fórmulas y otros datos.

a. Tensión admisible (coeficiente de trabajo) de la madera (urunday-madera dura) sometida a la flexión:

$$\rho_{ad} = 100 \frac{kg}{cm^2} \Rightarrow \rho_{ad} = 1.000 \frac{N}{cm^2}$$

b. Módulo resistente con respecto al eje x:  $W_x = \frac{M_{máx}}{\rho_{ad}}$

c. Momento de inercia indispensable:

$$J_{nec} = 320 \cdot P \cdot l_{cálculo}^2 \text{ cm}^4 \quad (P = q \cdot l) \text{ con } [P] = t \text{ y } l \text{ en m.}^5$$

Esta fórmula depende de la forma de sustentación y del tipo de carga.

### Desarrollo

#### Cálculo de la luz de cálculo

$$l_{cálculo} = l + 5\% l$$

$$l_{cálculo} = 5 \text{ m} + 0,05 \cdot 5 \text{ m}$$

$$l_{cálculo} = 5,25 \text{ m}$$

Recordemos la secuencia que continua al cálculo estático.

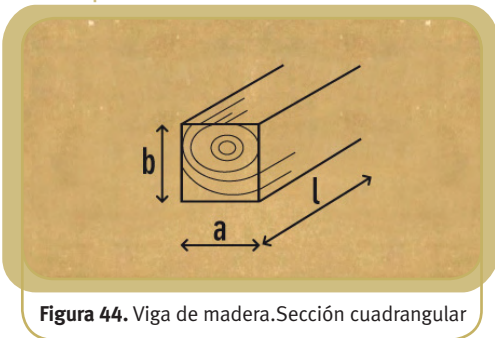
#### 1. Análisis del tipo de esfuerzo al que está sometido el elemento estructural

En este caso se trata de una viga simplemente apoyada con una carga uniformemente repartida. Evidentemente la viga trabaja a la flexión. Entonces tenemos que encontrar la escuadría (sección de la viga) para que no colapse por flexión.

Pero la pieza cuando está sometida a la flexión se deforma, por lo tanto no se puede romper por flexión.

En síntesis:

- a. debemos verificar que no colapse por flexión;
- b. debemos verificar que no se rompa por la flecha.



**Figura 44.** Viga de madera. Sección cuadrangular

#### 2. Cálculo del momento máximo considerando a la luz de cálculo

$$M_{máx} = \frac{q l_{cálculo}^2}{8} \Rightarrow M_{máx} = \frac{3.000 \text{ N} \times 5,25^2 \text{ m}^2}{8}$$

$$M_{máx} = 10.336 \text{ Nm}$$

<sup>5</sup> Los coeficientes que acompañan a la fórmula dependen de la carga y del tipo de madera. Para carga uniformemente repartida: madera blanda, el coeficiente es 500 y para madera dura, 320. Para carga concentrada: madera blanda, el coeficiente es 800 y para madera dura, 450.



### 3. Cálculo del módulo resistente

$$W_x = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\rho_{ad}}$$

$$W_x = \frac{10.336 \text{ N} \times 100 \text{ cm}}{1.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$W_x = 1033,6 \text{ cm}^3$$

### 4. Dimensionar la pieza de madera

La pieza de madera puede ser de sección cuadrangular, rectangular, etc. Tenemos que tomar la decisión de elegir la sección de la pieza. Por razones didácticas realizamos el cálculo considerando ambos casos.

a. Primer caso

Sección cuadrangular

$$W_x = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

Como la sección es cuadrangular, entonces  $a = b \Rightarrow W_x = \frac{b^3}{6}$

$$1.033,6 \text{ cm}^3 = \frac{b^3}{6} \Rightarrow 6 \times 1.033,6 \text{ cm}^3 = b^3$$

$$\sqrt[3]{6.201,6 \text{ cm}^3} = b$$

$$b = 18,37 \text{ cm}$$

Adoptamos como escuadría 20 x 20 cm

Esta pieza no colapsará, entonces por flexión.

### 5. Verificar que la pieza adoptada no se rompa por flecha

Para verificar la flecha tenemos que calcular el momento de inercia indispensable o necesario.

$$J_{nec.} = 320 \cdot P \cdot l^2 \text{ (320 coeficiente para madera dura y carga uniformemente repartida)}$$

$$J_{nec.} = 320 \cdot q \cdot l \cdot l \text{ cálculo}$$

$$J_{nec.} = 320 \cdot 1,5 \cdot 5,25^2$$

$$J_{nec.} = 13.230 \text{ cm}^4$$

Para el caso de la pieza cuadrangular de 20 x 20 cm el momento de inercia respecto del eje x es:



$$J_{real} = \frac{b^4}{12} \Rightarrow J_{real} = \frac{20^4}{12} \text{ cm}^4$$

$$J_{real} = 13.333,33 \text{ cm}^4$$

Como la pieza adoptada tiene un momento de inercia respecto del eje x mayor que el momento de inercia necesario o indispensable, entonces la pieza no se rompe por flecha.

b. Segundo caso

Sección rectangular

$$W_x = \frac{a \cdot b^2}{6}$$

En este caso debemos fijar un lado de la sección, por ejemplo determinamos que el lado

$$a = 2b \Rightarrow W_x = \frac{2b \cdot b^2}{6}$$

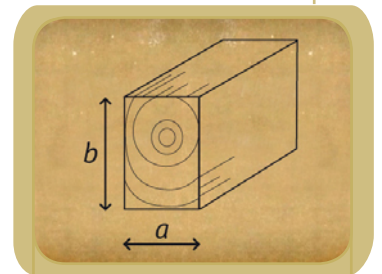
$$1.033,6 \text{ cm}^3 = \frac{2 \cdot b^3}{6}$$

$$6 \times 1.033,6 \text{ cm}^3 = 2 \cdot b^3$$

$$14,6 \text{ cm} = b$$

$$\text{Como } a = 2b \Rightarrow a = 2 \times 14,6 \text{ cm}$$

$$a = 29,2 \text{ cm}$$



**Figura 45.** Viga de madera. Sección rectangular

Adoptamos la siguiente escuadría: 15 x 30 cm. Esta pieza no colapsará, entonces por flexión.

### 5. Verificar que la pieza adoptada no se rompa por flecha

Para verificar la flecha tenemos que calcular el momento de inercia indispensable o necesario.

$$J_{nec.} = 320 \cdot P \cdot l^2 \text{ (320 coeficiente para madera dura y carga uniformemente repartida)}$$

$$J_{nec.} = 320 \cdot q \cdot l \cdot l \text{ cálculo}$$

$$J_{nec.} = 320 \cdot 1,5 \cdot 5,25^2$$

$$J_{nec.} = 13.230 \text{ cm}^4$$

Para el caso de la pieza cuadrangular de 15 x 30 cm el momento de inercia respecto del eje x es:

$$J_{real} = \frac{a \cdot b^3}{12} \Rightarrow J_{real} = \frac{15 \cdot 30^3}{12} \text{ cm}^4$$

$$J_{real} = 33.750 \text{ cm}^4$$

Como la pieza adoptada tiene un momento de inercia respecto del eje x mayor que el momento de inercia necesario o indispensable, entonces la pieza no se rompe por flecha.

Hemos resuelto el caso de una viga de madera de sección cuadrangular y/o rectangular. Ahora, cabe que nos preguntemos: si la viga es de sección rectangular, ¿cómo colocamos la viga en el momento de la construcción?

La pregunta tiene lugar porque visualizamos que podemos colocar la viga de dos formas diferentes:

1. con el lado menor como altura de la sección, o bien;
2. con el lado mayor como altura de la sección.

Evidentemente elegimos el caso cuyo momento de inercia respecto del eje x sea mayor, esto significa que tiene mayor resistencia a la deformación.

Si el lado menor es base y el lado mayor altura:

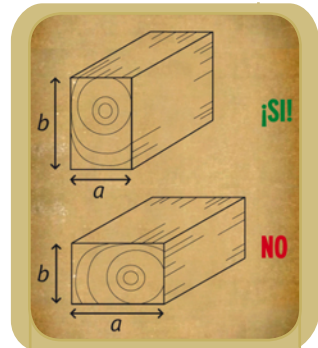
$$J_{real} = 33.750 \text{ cm}^4 \quad (1)$$

Veamos, ahora cuánto vale el momento de inercia si el lado menor es altura y el mayor es base de la sección.

$$J_{real} = \frac{a^3 \cdot b}{12} \Rightarrow J_{real} = \frac{15^3 \cdot 30}{12} \text{ cm}^4$$

$$J_{real} = 8.437,5 \text{ cm}^4 \quad (2)$$

Comparando la expresión (1) y (2), la forma de colocación que da mayor rigidez es aquella donde el lado mayor es altura de la sección.



**Figura 44.** Forma de colocación de una viga

### Respuesta

La sección de la viga de madera urunday puede tener las siguientes dimensiones:

- a. 20 x 20 cm
- b. 15 x 30 cm

## 6.5.5. Temática. Pandeo

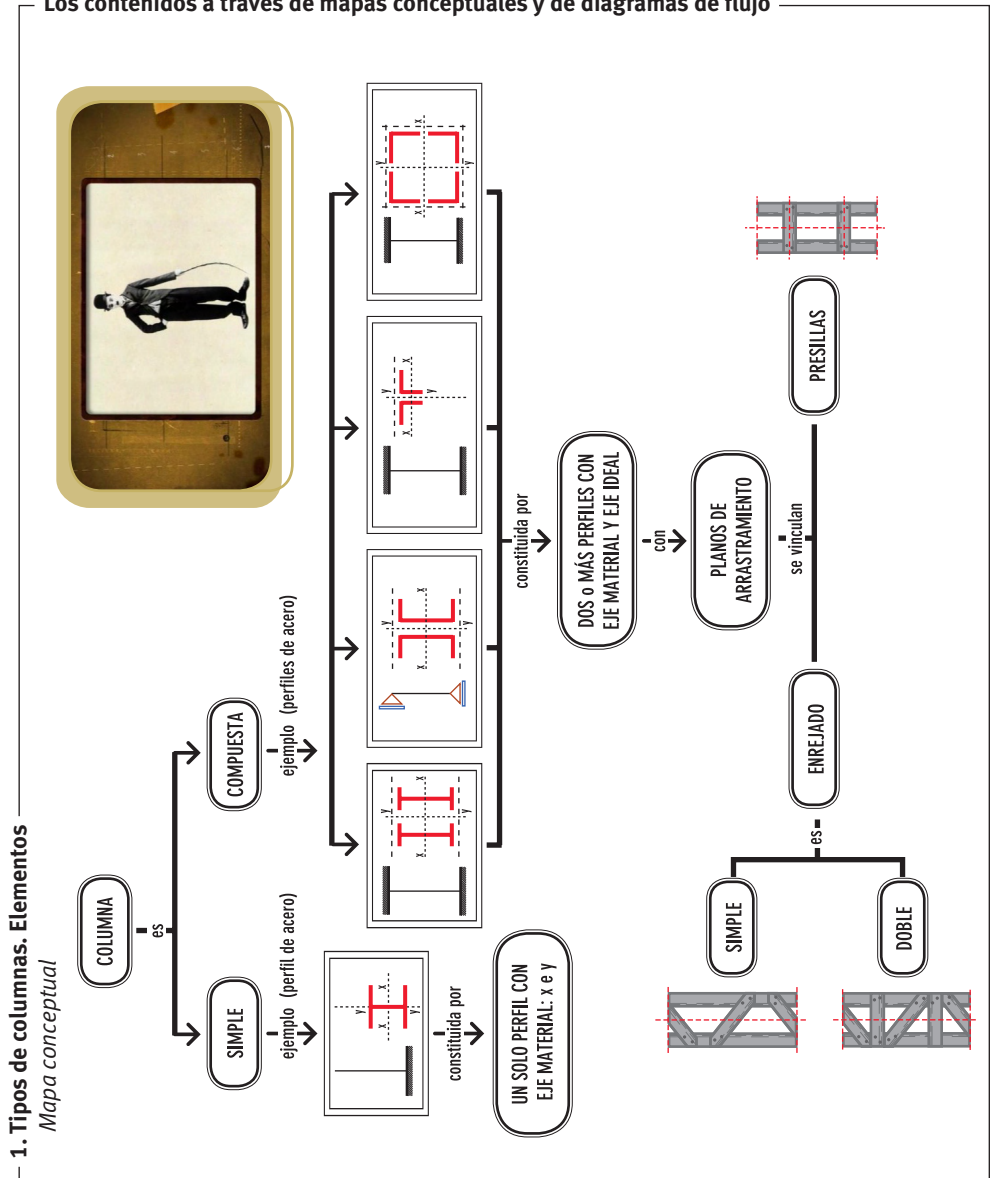
### Objetivos

1. Aplicar, en situaciones reales concretas, las condiciones para que una columna de acero no se rompa por pandeo.
2. Analizar diferentes tipos de columnas de edificios emblemáticos.
3. Valorar la importancia del cálculo como una parte fundamental en la etapa previa a la construcción de un edificio.

## Los contenidos conceptuales que se incluyen en esta temática

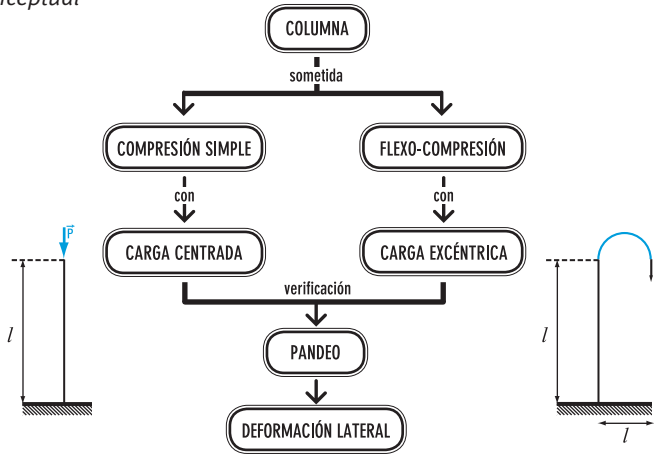
1. Tipos de columnas. Elementos.
2. Esfuerzos a los que puede estar sometida una columna.
3. Columnas simples con carga concentrada: procedimiento de cálculo.
4. Columnas compuestas: procedimiento de cálculo.

## Los contenidos a través de mapas conceptuales y de diagramas de flujo



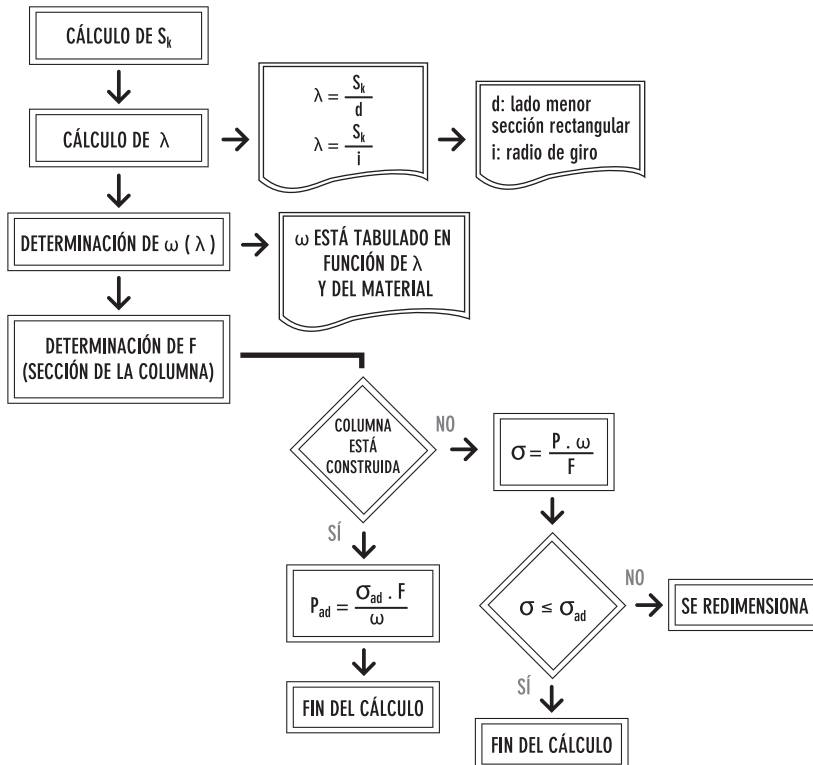
## 2. Esfuerzos a los que puede estar sometida una columna

Mapa conceptual



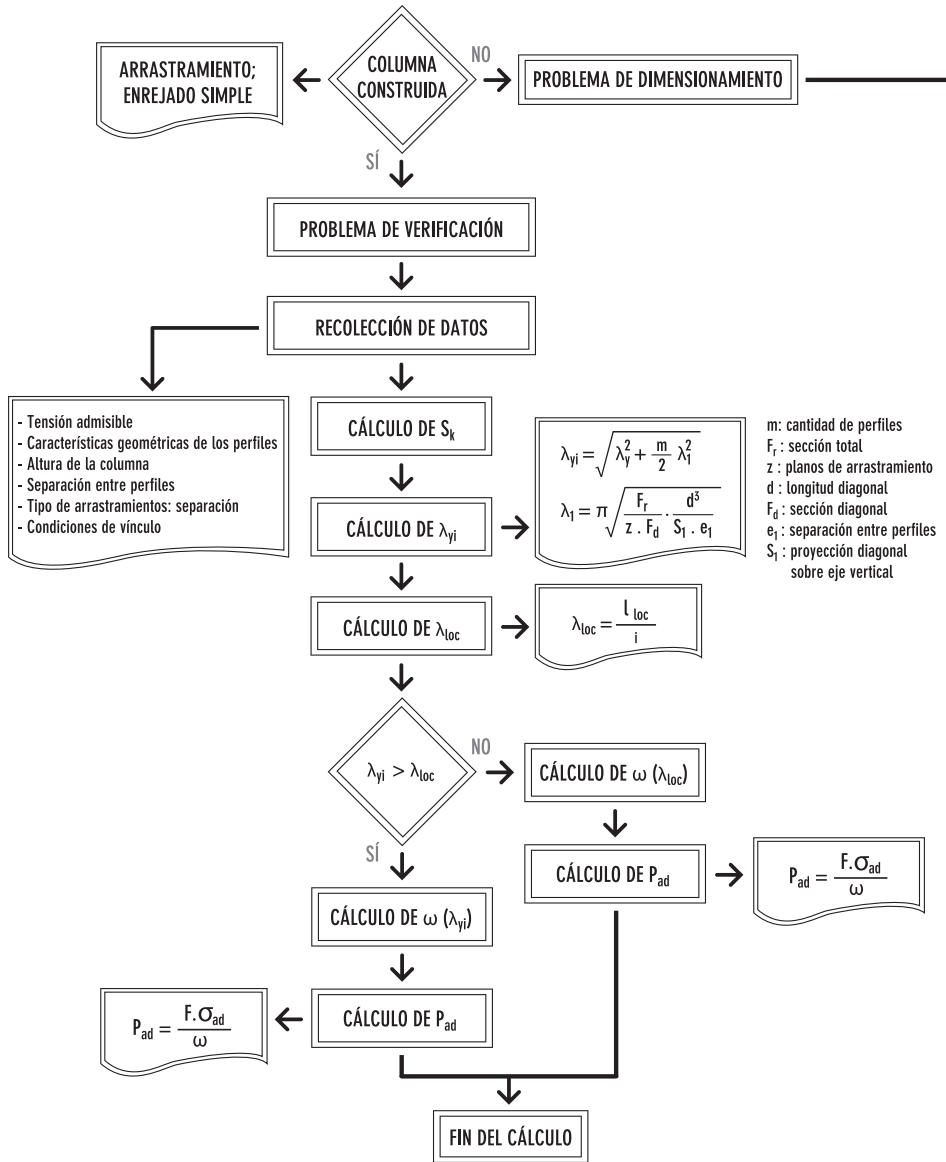
## 3. Columnas simples con carga concentrada: procedimiento de cálculo (para perfiles de acero)

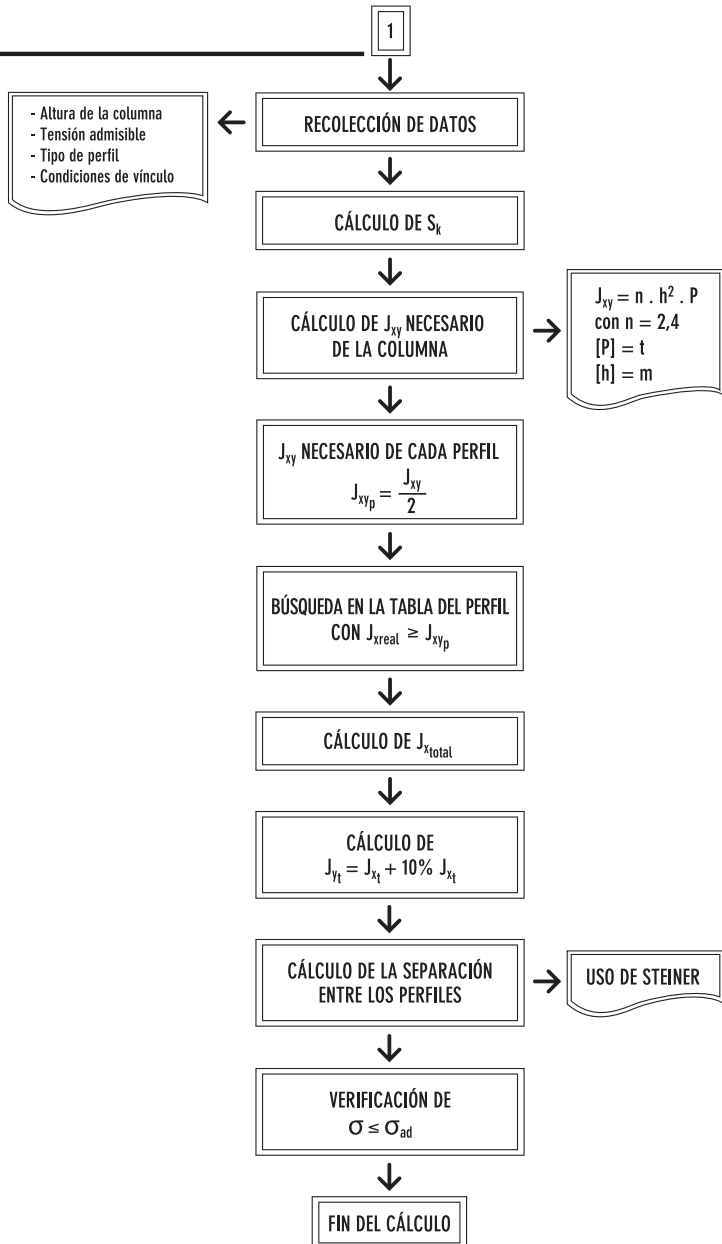
Diagrama de flujo



#### 4. Columnas compuestas: procedimiento de cálculo (para perfiles de acero)

Diagrama de flujo





En el recorrido que realizamos hasta aquí ya el alumno habrá aprendido que la estructura de un edificio configura un sistema; de allí que podamos hablar de un sistema estructural, en el que existe una interrelación muy estrecha entre sus partes constitutivas.

Si bien cada elemento estructural, por sí sólo, tiene la fuerza que le da su propia función, existe un elemento que, además, posee un valor estético que lo distingue. Ese elemento es la *columna*.

*La normativa CIRSOC 201 establece que una columna es el elemento estructural cuyo ancho  $b \leq 5d$ , donde  $d$  es el lado menor ( $b \geq d$ ) (válido para columnas de sección rectangular)*

**Valores de la longitud de pandeo sk**

La luz de pandeo es igual a:  $sk = \beta \cdot l_{\text{libre}}$

El coeficiente  $\beta$  depende de la forma de sustentación de la columna. Aparecen, entonces los siguientes casos:

Caso 1. Columna articulada- articulada: el valor de  $\beta = 1$ , entonces  $sk = l_{\text{libre}}$

Caso 2. Columna empotrada- articulada: el valor de  $\beta = 0,75$ , entonces  $sk = 0,75 l_{\text{libre}}$

Caso 3. Columna empotrada- empotrada: el valor de  $\beta = 0,5$ , entonces  $sk = 0,5 l_{\text{libre}}$

Caso 4. Columna empotrada- libre: el valor de  $\beta = 2$ , entonces  $sk = 2 l_{\text{libre}}$

Longitud del pandeo según teoría de Euler, para materiales homogéneos	Determinación de la luz de cálculo	DEFORMACIÓN LATERAL POR PANDEO				
		CONDICIONES DE BORDE				
		$S_k = \beta \cdot l$	$S_k = l$	$S_k = 0,75 l$	$S_k = 0,5 l$	$S_k = 2 l$



## Actividad 10



Visitamos una vieja estación de ferrocarril ( las construidas por los ingleses) o un edificio con estructura de acero de principios del siglo XX o una vieja cancha de fútbol o un edificio de madera, ...

La elección del lugar donde planificamos realizar la visita debe ser aquél en el que se puedan visualizar las columnas. Por lo general, cuando la estructura es metálica o de madera la columna queda a la vista, no así cuando es de hormigón armado. Aunque, en algunos casos, también las columnas de acero en determinadas épocas fueron tapadas.

Durante el recorrido proponemos realizar la siguiente actividad:

- confección de las columnas;
- identificación de la forma de sustentación de cada una;
- descripción del tipo de columnas existentes.
- obtención de fotografías que se consideren útiles a los efectos del aprendizaje.

En el aula, los alumnos podrán realizar las siguientes tareas:

- realización de distintos croquis con la información recogida;
- análisis del tipo de sustentación de cada una y su influencia en la luz de pandeo;
- análisis del tipo de columna y de los materiales utilizados;
- análisis de las cargas que recibe cada columna.

El trabajo finaliza con la presentación de un informe.

La actividad que proponemos a continuación son *ejercicios de verificación*. Esto significa que, a partir de una columna ya construida se necesita, por algún motivo conocer la carga admisible que puede soportar la columna. Por tratarse de ejercicios de cálculo presentamos, en cada caso su resolución.

## Actividad 11



### Ejercicio 1

Una columna de acero tiene una luz  $l = 6$  m y está empotrada en ambos extremos. La sección del perfil es doble T, con las dimensiones que figuran en la figura 46. El acero

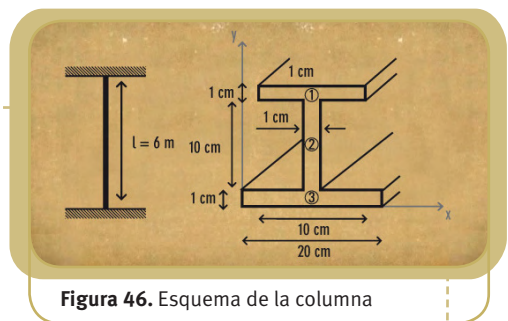


Figura 46. Esquema de la columna

es ST37 (notación según las Normas DIN, F22 de acuerdo al CIRSOC).

$$\sigma_{ad} = 14.000 \frac{N}{cm^2}$$

¿Cuál es la carga máxima que permite a la pieza no romperse por pandeo?

### Desarrollo

Como se trata de un perfil armado (no normalizado), entonces debemos hallar sus coordenadas baricéntricas, los momentos de inercia y el radio de giro mínimo. Si se tratara de un perfil con sección normalizada, todos estos valores están tabulados.

a. Cálculo de  $x_G$  e  $y_G$  (coordenadas baricéntricas)

Las expresiones matemáticas para el cálculo de las coordenadas baricéntricas son las siguientes:

$$S_T = F_T \cdot x_G \Rightarrow F_T \cdot x_G = \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_{x_i} \quad (\text{momento estático o de primer orden})$$

$$F_T \cdot x_G = \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_{x_i} \Rightarrow x_G = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot d_{x_i}}{F_T} \quad (\text{coordenada baricéntrica respecto del eje } y)$$

$$F_T \cdot y_G = \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_{y_i} \Rightarrow y_G = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot d_{y_i}}{F_T} \quad (\text{coordenada baricéntrica respecto del eje } x)$$

Aplicamos estas expresiones matemáticas a nuestro caso específico, para ello fijamos un sistema de coordenadas (figura 47)

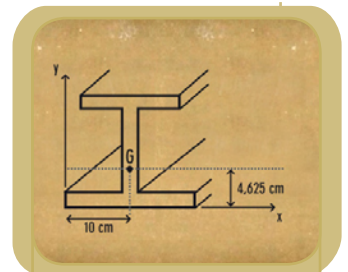
$$y_G = \frac{F_1 \cdot d_{1y} + F_2 \cdot d_{2y} + F_3 \cdot d_{3y}}{F_T}$$

$$y_G = \frac{10 \text{ cm}^2 \cdot 11,5 \text{ cm}^2 + 10 \text{ cm}^2 \cdot 6 \text{ cm} + 20 \text{ cm}^2 \cdot 0,5 \text{ cm}}{40 \text{ cm}^2}$$

$$y_G = \frac{115 \text{ cm}^3 + 60 \text{ cm}^3 + 10 \text{ cm}^3}{40 \text{ cm}^2}$$

$$y_G = 4,625 \text{ cm}$$

$$x_G = \frac{F_1 \cdot d_{1x} + F_2 \cdot d_{2x} + F_3 \cdot d_{3x}}{F_T}$$



**Figura 47.**  
Coordenadas baricéntricas

$$x_G = \frac{10 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} + 10 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm} + 20 \text{ cm}^2 \cdot 10 \text{ cm}}{40 \text{ cm}^2}$$

$$x_G = 10 \text{ cm}$$

Las coordenadas baricéntricas son  $(x_G; y_G)$ ; (4,625;10)

b. Cálculo del momento de inercia o de segundo orden  $J_{x_T}$   
(momento de inercia respecto al eje  $x$ ).

$$J_{x_T} = J_{x_1} + J_{x_2} + J_{x_3}$$

$$J_{x_1} = \frac{bh^3}{12} + F_1 y_1^2 \Rightarrow J_{x_1} = \frac{10 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}^3}{12} + 10 \text{ cm}^2 \cdot 6,875^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{x_1} = 474 \text{ cm}^4$$

$$J_{x_2} = \frac{bh^3}{12} + F_2 y_2^2 \Rightarrow J_{x_2} = \frac{1 \text{ cm} \cdot (10)^3 \text{ cm}^3}{12} + 10 \text{ cm}^2 \cdot 1,375^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{x_2} = 102,21 \text{ cm}^4$$

$$J_{x_3} = \frac{bh^3}{12} + F_3 y_3^2 \Rightarrow J_{x_3} = \frac{20 \text{ cm} \cdot 1^3 \text{ cm}^3}{12} + 20 \text{ cm}^2 \cdot 4,125^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{x_3} = 342 \text{ cm}^4$$

$$J_{x_T} = 474 \text{ cm}^4 + 102,21 \text{ cm}^4 + 342 \text{ cm}^4$$

$$J_{x_T} = 918,21 \text{ cm}^4$$

c. Cálculo del radio de giro

$$i_x = \sqrt{\frac{J_{x_T}}{F_T}} \Rightarrow i_x = \sqrt{\frac{918,21 \text{ cm}^4}{40 \text{ cm}^4}}$$

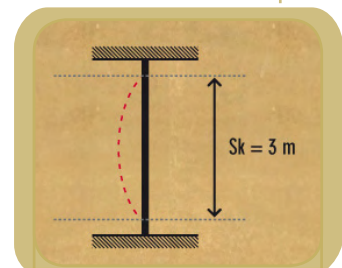
$$i_x = 4,79 \text{ cm}$$

d. Cálculo de la luz de pandeo

Como se trata de una columna empotrada-empotrada

$$sk = \frac{l}{2} \Rightarrow sk = \frac{6 \text{ m}}{2}$$

$$sk = 3 \text{ m}$$



**Figura 48.**  
Elástica o deformada

e. Cálculo de la esbeltez  $\lambda$

$$\lambda = \frac{sk}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{300 \text{ cm}}{4,79 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 62,6 \Rightarrow \omega = 1,37 \text{ consideramos } \lambda = 69$$

f. Cálculo de la carga admisible

$$P_X = \frac{\sigma_{ad} \cdot F_T}{\omega} \Rightarrow P_X = \frac{14.000 \frac{N}{cm^2} \cdot 40 \text{ cm}^2}{1,37}$$

$$P_X = 408.759 \text{ N}$$

g. Cálculo del momento de inercia o de segundo orden  $J_{yT}$  (momento de inercia respecto al eje y).

$$J_{yT} = J_{y_1} + J_{y_2} + J_{y_3}$$

$$J_{y_1} = \frac{bh^3}{12} + F_1 X_1^2 \Rightarrow J_{y_1} = \frac{10^3 \text{ cm}^3 \cdot 1 \text{ cm}}{12} + 10 \text{ cm} \cdot 0^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{y_1} = 83,3 \text{ cm}^4$$

$$J_{y_2} = \frac{bh^3}{12} + F_2 X_2^2 \Rightarrow J_{y_2} = \frac{1^3 \text{ cm}^3 \cdot 10 \text{ cm}}{12} + 10 \text{ cm}^2 \cdot 0^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{y_2} = 0,83 \text{ cm}^4$$

$$J_{y_3} = \frac{bh^3}{12} + F_3 X_3^2 \Rightarrow J_{y_3} = \frac{20^3 \text{ cm}^3 \cdot 1 \text{ cm}^3}{12} + 20 \text{ cm}^2 \cdot 0^2 \text{ cm}^2$$

$$J_{y_3} = 666,67 \text{ cm}^4$$

$$J_{yT} = 83,3 \text{ cm}^4 + 0,83 \text{ cm}^4 + 666,67 \text{ cm}^4$$

$$J_{yT} = 750,8 \text{ cm}^4$$

h. Cálculo del radio de giro

$$i_y = \sqrt{\frac{J_{yT}}{F_T}} \Rightarrow i_y = \sqrt{\frac{750,8 \text{ cm}^4}{40 \text{ cm}^2}}$$

$$i_y = 4,33 \text{ cm}$$

i. Cálculo de la esbeltez

$$\lambda = \frac{sk}{i} \Rightarrow \lambda = \frac{300 \text{ cm}}{4,33 \text{ cm}}$$

$$\lambda = 69,28 \Rightarrow \omega = 1,39 \text{ consideramos } \lambda = 70$$

j. Cálculo de la carga admisible

$$P_Y = \frac{\sigma_{ad} \cdot F_T}{\omega} \Rightarrow P_Y = \frac{14.000 \frac{N}{cm^2} \cdot 40 \text{ cm}^2}{1,39}$$

$$P_Y = 402.877,7 \text{ N}$$

¿Cuál de los dos cargas adoptamos  $P_x = 408.759 \text{ N}$  o  $P_y = 402.877,7 \text{ N}$ ?

Evidentemente, la columna se la debe cargar con la carga menor, porque de lo contrario en esa dirección la pieza pandearía

## Ejercicio 2

Una columna formada por dos perfiles L de lados desiguales está sometida a una carga centrada, cuyo módulo es  $R = 100 \text{ kN}$  (figura 49)

Conocemos los siguientes datos:

- la columna está articulada en ambos extremos
- $l_{\text{libre}} = 2,60 \text{ m}$
- acero St 37
- $\sigma_{ad} = 14.000 \frac{N}{cm^2}$

Se nos plantea elegir los perfiles que soporten la carga  $R$ .

### Desarrollo

$$\text{Sabemos que } F_T = \frac{R}{\sigma_{ad}} \Rightarrow F_T = \frac{100 \text{ kN}}{14.000 \frac{N}{cm^2}}$$

Para operar debemos transformar las unidades. Podemos expresar tanto el dividendo como el divisor en  $kN$  o bien en  $N$ .

Nosotros decidimos expresar en  $N$  (newton).

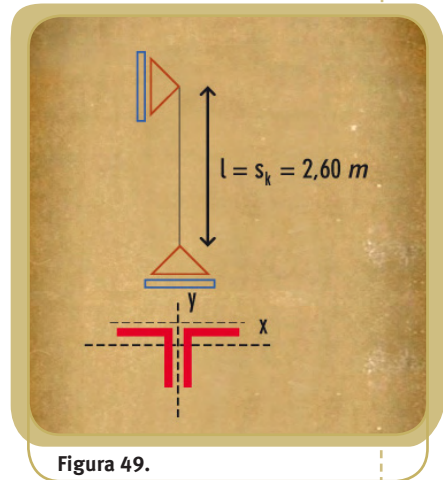


Figura 49.

$$F_T = \frac{100 \text{ kN}}{14.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}} \Rightarrow F_T = \frac{100.000 \text{ N}}{14.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}$$

$$F_T = 7,14 \text{ cm}^2$$

$$F_1 = \frac{7,14 \text{ cm}^2}{2} \Rightarrow F_1 = 3,57 \text{ cm}^2$$

$$F_2 = 3,57 \text{ cm}^2$$

Para cubrir esta sección se necesitan los siguientes perfiles:

PNL 50x30x5 mm con  $F_{\text{real}} = 3,78 \text{ cm}^2$  cada uno

$$F_{\text{real total}} = 7,56 \text{ cm}^2$$

Para estos perfiles el valor del radio de giro es  $i_x = 1,58 \text{ cm}$

Cálculo de la esbeltez

$$\lambda = \frac{sk}{i} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{260 \text{ cm}}{1,58 \text{ cm}}$$

$$\lambda_0 = 165 \Rightarrow \lambda = 112 \Rightarrow \omega = 2,96$$

(según el procedimiento Domke - se puede ver en el libro: "El Acero en la Construcción". Editorial Reverté).

$$F_{\text{necesaria}} = \frac{100.000 \text{ N} \times 2,96}{14.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}} \Rightarrow F_{\text{necesaria}} = 21,14 \text{ cm}^2$$

$$F_{\text{necesaria por perfil}} = \frac{21,14 \text{ cm}^2}{2} \Rightarrow F_{\text{nec.p/perfil}} = 10,57 \text{ cm}^2$$

*corresponde PNL 80 x 65 x 8 mm*

Sección real

$$F_{\text{real}} = 11 \text{ cm}^2 ; i_x = 2,49 \text{ cm} ; \lambda_x = \frac{260 \text{ cm}}{2,49 \text{ cm}} \Rightarrow \lambda_x = 104,4 \Rightarrow \omega = 2,60$$

$$\sigma = \frac{1,44 \cdot 100 \text{ kN}}{22 \text{ cm}^2}$$

$$\sigma = 6,55 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = 6,550 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{ad}$$

## Respuesta

La columna está compuesta por dos perfiles L 80 x 65 x 8 mm.

Como síntesis del aprendizaje realizado sobre esta temática tan importante en la construcción de un edificio, proponemos que se lleven a cabo las siguientes actividades.

## Actividad 12



### La evolución de la estructura en el transcurso de la historia

Se propone la siguiente actividad:

- búsqueda de información sobre la evolución de la estructura a lo largo de la historia, desde la época primitiva hasta la actualidad;
- presentación del trabajo en forma libre, a elección del alumno.

Por la magnitud del trabajo que implica esta actividad se sugiere que se la realice en equipo.

## Actividad 13



### Dar forma a la situación problemática que plantea Tomás en el vídeo: construcción de un entrepiso para la instalación de un laboratorio

Se propone la siguiente actividad:

- realización del diseño arquitectónico;
- realización del diseño estructural;
- análisis de los materiales a utilizar;
- análisis de las cargas: dar valores a dichas cargas ( $q$  sobre el entrepiso y sus distribución en vigas y columnas);
- dimensionamiento del entrepiso y de, por lo menos, una columna.

## 6.6. Bibliografía de consulta

---

Noceti, Haydeé - Montoto, Raúl. Construcciones en hormigón armado: tecnología, diseño estructural y dimensionamiento. (2006). Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología. INET-PNUD. Buenos Aires. Argentina.

Noceti, Haydeé. Construcción de edificios. Cómo enseñarla a través de la resolución de problemas (2006). Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología. INET-PNUD. Buenos Aires. Argentina.

Noceti, Haydeé. Ibañez, Susana. Avancini Noceti, Sol.-La estática en la vida cotidiana (2010). Ministerio de Educación. INET-OEI. Buenos Aires. Argentina.

Normas CIRSOC

Torroja, Eduardo. Razón y ser de los tipos estructurales. (1960). Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento- Madrid.