



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ARQUITECTURA



GUÍA METODOLÓGICA DE DIMENSIONAMIENTO ESTRUCTURAL PARA ARQUITECTOS (MÉXICO D.F.)

ASESORES:

FRANCISCO HERNÁNDEZ SPINOLA
RAMÓN ABUD RAMÍREZ
CARMEN HUESCA RODRÍGUEZ

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ARQUITECTA PRESENTA:

ELOISA GARCÍA SAINZ

DICIEMBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis papás Jorge y Esperanza por su apoyo incondicional durante toda mi carrera y por la paciencia que me tuvieron para terminarla y a mis hermanos por aguantarme.

A mis asesores de tesis Paco, Ramón y Carmen por todas las enseñanzas, sus palabras inspiradoras y acompañarme a lo largo de ese proceso. También a todos los asesores de proyectos con los que tuve buenas o malas experiencias ya que siempre aprendí algo nuevo de ellos.

A Nini Casas ya que sin ella esta tesis habría sido totalmente diferente, por ser mi compañera de viaje, por todas las risas y las interminables horas de tareas, series y proyectos de ingeniería.

A mis amigas Karen, Marisol, Michele y Nicole que están siempre que las necesito y que involuntariamente me impulsaron a terminar mi tesis porque acabaron antes que yo, las amo.

Gracias a todos mis compañeros y amigos a lo largo de la vida, a los que ya no están acompañándome y a los que aún continúan que, aunque no estemos siempre juntos, ahí estamos. A Raúl G., Vane R., Mariana L. y Cristóbal M. por todas las horas de proyectos juntos, a Ángel, Quique, Ale, Ana, Dafne, Alex, Bety, Stv, Luz, Odile y Pato por todas las pláticas, risas y estréses que compartimos a lo largo de estos años.

A Daniel por aguantarme en mis buenos y mis muy malos momentos, por ser mi soporte y estar siempre a mi lado dándome aliento para seguir adelante.

Gracias a todos aquellos que participaron conciente o inconcientemente y que me pidieron la tesis una vez terminada. Pero sobretodo a todos aquellos involucrados en que pueda, por fin, convertirme en arquitecta.

contenido

<u>capítulo 1: introducción</u>	6
1. problemática	6
2. objetivos	19
3. introducción	20
<u>capítulo 2: conceptos básicos</u>	28
1. componentes estructurales	28
a. líneas verticales	
b. líneas horizontales	
c. líneas inclinadas	
2. fuerzas	40
a. tipos	
b. dirección	
c. distribución	
d. cargas como origen de las fuerzas	
3. esfuerzos (estados de tensión)	82
a. compresión	
b. tracción	
c. cortante	
d. momento flexionante	
e. torsión	
4. resistencia	104
5. equilibrio	106
<u>capítulo 3 : elementos y sistemas estructurales ...</u>	116
1. muros	118
tipos	
geometría	
material	
esfuerzos	
2. columnas	124
tipos	
geometría	
material	
esfuerzos	
3. vigas	132
tipos	
geometría	
material	
esfuerzos	

CONTENIDO

4.	arcos	138
	tipos	
	geometría	
	material	
	esfuerzos	
5.	armaduras	144
	tipos	
	geometría	
	material	
	esfuerzos	
6.	losas	150
	tipos	
	geometría	
	material	
	esfuerzos	
8.	cables	158
	tipos	
	geometría	
	material	
	esfuerzos	

capítulo 4: diseño estructural 166

1. presimensionamiento
2. análisis real del predimensionamiento

conclusión general

bibliografía

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

problemática

Desde 1950 la población mundial ha aumentado de manera desmedida y actualmente ronda los 6,000 millones de habitantes. Sin embargo, este crecimiento no ha sido homogéneo, sino que, se ha dado, principalmente, en las grandes urbes del mundo.¹ Esto ha provocado que se requieran mayor cantidad de servicios, más trabajos, más atención médica, más esparcimiento, más infraestructura, es decir, más construcciones.

En un inicio el arquitecto tenía el perfil de artista, tecnólogo, proyectista y constructor, pero después de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII y principios del XIX, la especialización del conocimiento provocó la separación de las disciplinas y lo que antes hacía un sólo hombre, hoy lo hacen varios.² Surgieron los especialistas en carreteras y puentes, así como en construcción e instalaciones, generando a

1. véase: <http://www.portalplanetasedna.com.ar/poblacion01.htm>

2. véase: Salvadori, Mario y Heller, Robert. *Estructuras para Arquitectos*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones La Isla, 1966. pp. 14.

su vez una nueva carrera, ahora llamada ingeniería civil.

La generación de una nueva carrera trajo como consecuencia el desentendimiento académico en la carrera de arquitectura de disciplinas con las que inicialmente contaba, como son sistemas estructurales o instalaciones, muy importantes en la comprensión integral del diseño. Hoy en día las estructuras y la construcción se ven superficialmente dentro de los programas académicos de la carrera. Las nuevas generaciones de arquitectos no tienen una formación completa por todos los cambios en los planes de estudios. Desde este surgimiento el enfoque principal se convirtió en el diseño de la funcionalidad, la espacialidad, la comunicación y la formalidad sin detenerse a entender como se van a sostener los edificios. El diseño no implica únicamente el contexto, la orientación, el tipo de iluminación o el tipo de edificio que se esté diseñando, sino también involucra cómo va a ser la estructura y si ésta sirve para la función y la forma predestinada, cómo se va a orientar la estructura para que se

generen ciertas fachadas o entre cierta ventilación, y lo más importante, si la estructura resistirá las cargas que debe soportar. El diseño involucra mucho más de lo aprendido en el salón de clases.

Hoy en día todo arquitecto debe estar convencido de la importancia del conocimiento estructural, para diseñar un edificio, pero adquirir este conocimiento es mucho más complejo de lo que podría esperarse, gracias al desarrollo increíblemente rápido de las tecnologías, los materiales, los modos de construcción y la dificultad matemática que las nuevas formas estructurales prometen.

Es importante que el arquitecto contemporáneo este familiarizado con temas de estética, ingeniería, sociología, económica y planeamiento y a menudo ocurre que tiene una formación principalmente artística. La mayoría de las veces las materias como física, química o matemáticas no son de vital importancia, o son inexistentes en el plan de estudios.

En la Facultad de Arquitectura de la Universidad

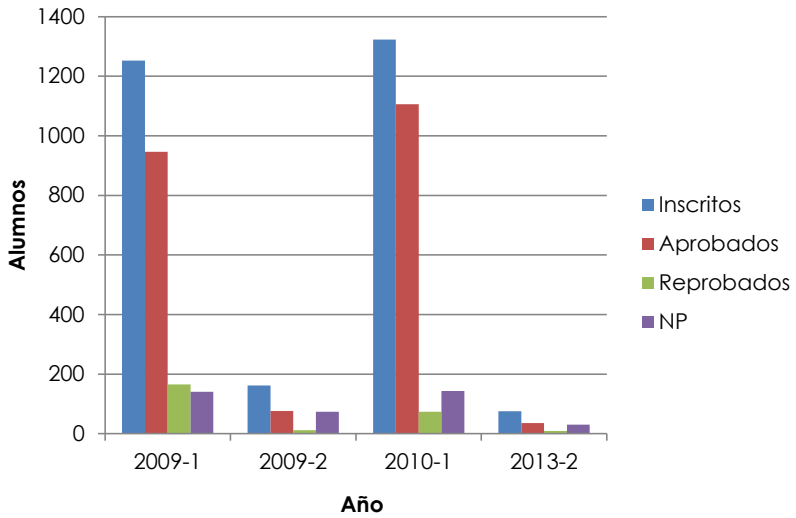
Nacional Autónoma de México, existe un problema relacionado con la comprensión de estructuras en arquitectura. Una gran parte de los estudiantes no tienen un criterio estructural en la generación de sus proyectos por la falta de interacción entre las materias que son impartidas. Prueba de ello es el alto número de alumnos reprobados en la materia de sistemas estructurales por semestre, mostrado en las gráficas realizadas a partir de de las evaluaciones de semestre de la Facultad de Arquitectura de la U.N.A.M. de los años 2009-1, 2009-2, 2010-1 y 2013-2.*

Los resultados obtenidos se introdujeron en tablas y gráficas para compararlos por año. En cada materia se muestra una tabla con la cantidad de alumnos incritos, aprobados, reprobados y los que no presentan y sus porcentajes. La gráfica de barras muestra la diferencia entre los semestres regulares e irregulares y la de pastel, demuestra los porcentajes de reprobación, valor obtenido de la sumatoria de los alumnos que obtienen 5 y NP.

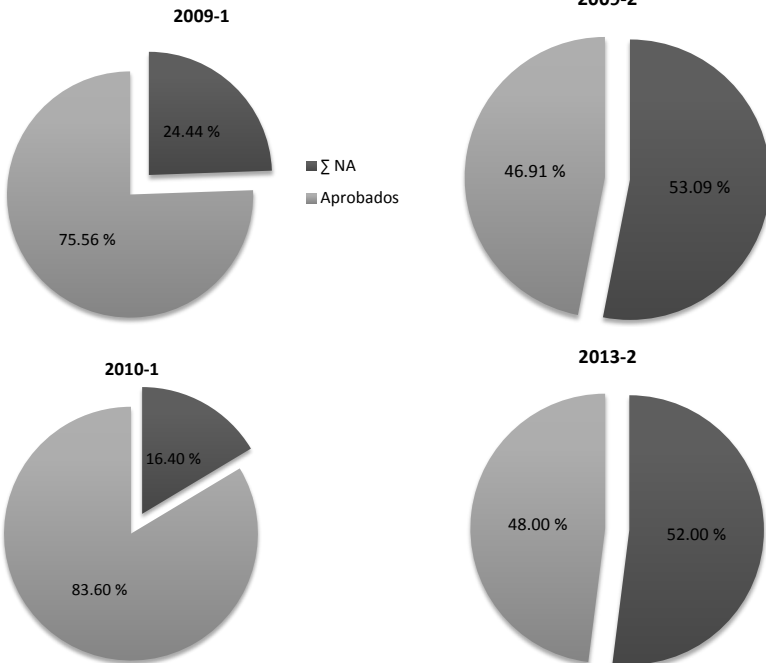
* Nota: No se cuenta con la información del 2010-2 al 2013-1 porque no existe, por problemas de logística dentro de la misma Facultad.

AÑO	I						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	1252	946	165	141	75.56	13.18	11.26
2009-2	162	76	12	74	46.91	7.41	45.68
2010-1	1323	1106	74	143	83.60	5.59	10.81
2013-2	75	36	9	30	48.00	12.00	40.00

SISTEMAS ESTRUCTURALES I



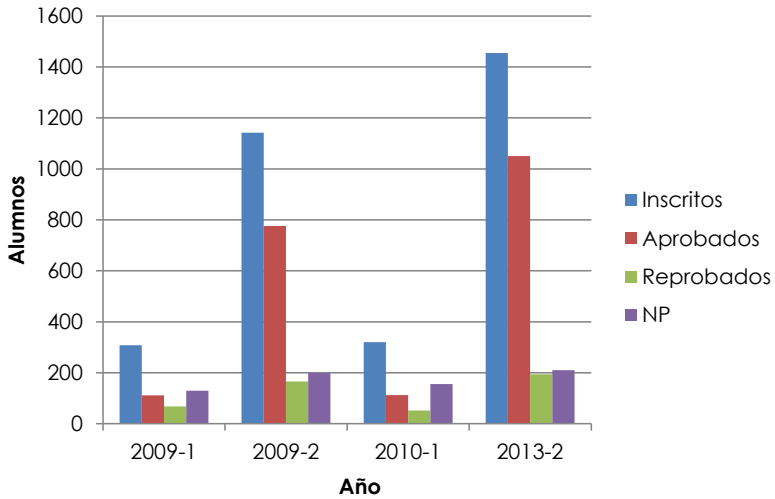
Sistemas Estructurales I



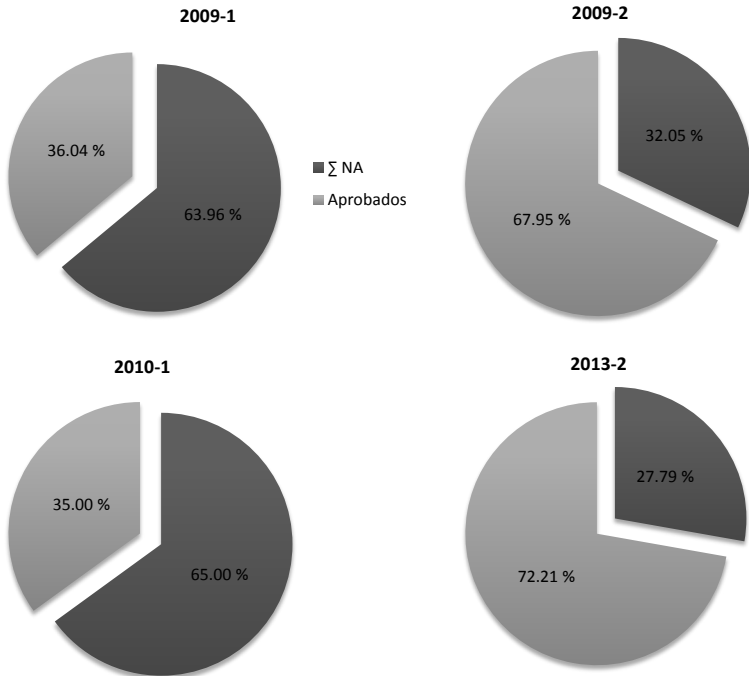
CONCLUSIONES

AÑO	II						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	308	111	68	129	36.04	22.08	41.88
2009-2	1142	776	166	200	67.95	14.54	17.51
2010-1	320	112	52	156	35.00	16.25	48.75
2013-2	1454	1050	194	210	72.21	13.34	14.44

SISTEMAS ESTRUCTURALES II

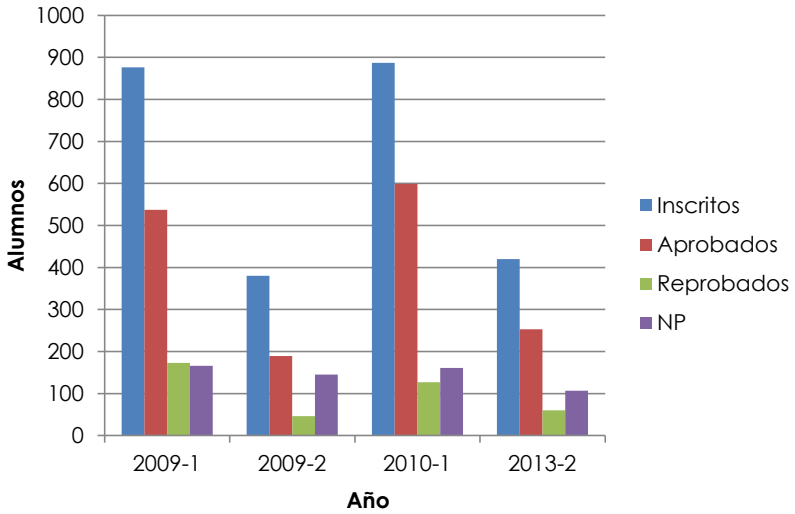


Sistemas Estructurales II

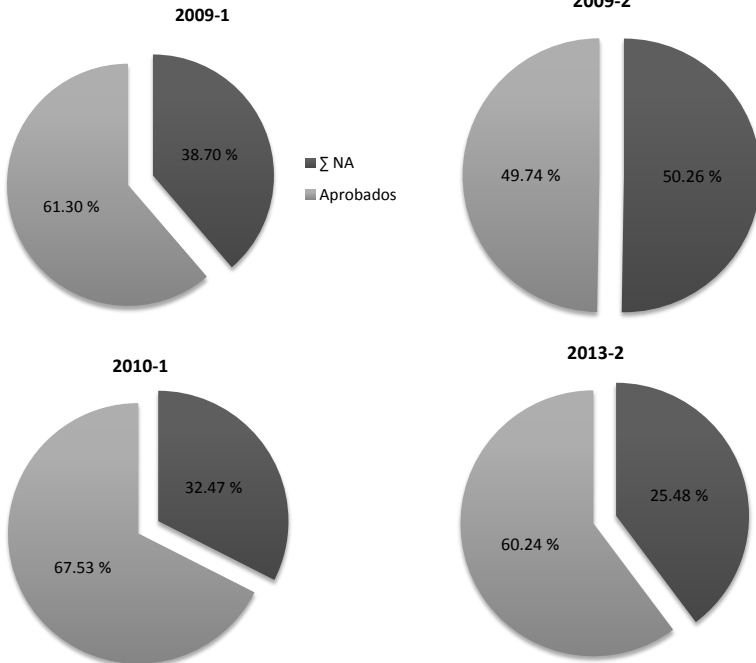


AÑO	III						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	876	537	173	166	61.30	19.75	18.95
2009-2	380	189	46	145	49.74	12.11	38.16
2010-1	887	599	127	161	67.53	14.32	18.15
2013-2	420	253	60	107	60.24	14.29	25.48

SISTEMAS ESTRUCTURALES III



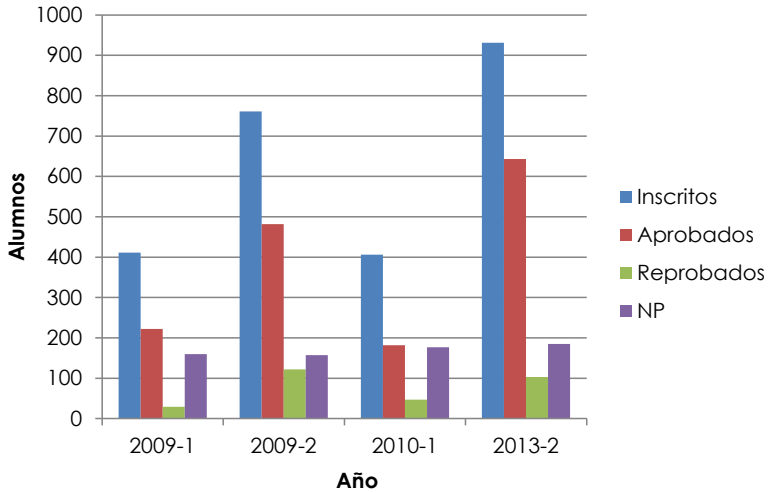
Sistemas Estructurales III



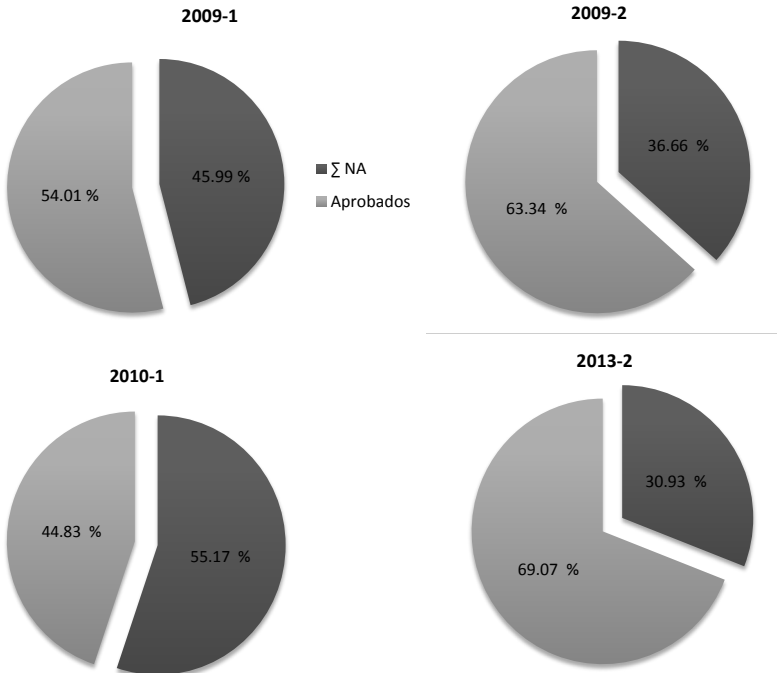
CONCLUSIONES

AÑO	IV						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	411	222	29	160	54.01	7.06	38.93
2009-2	761	482	122	157	63.34	16.03	20.63
2010-1	406	182	47	177	44.83	11.58	43.60
2013-2	931	643	103	185	69.07	11.06	19.87

SISTEMAS ESTRUCTURALES IV

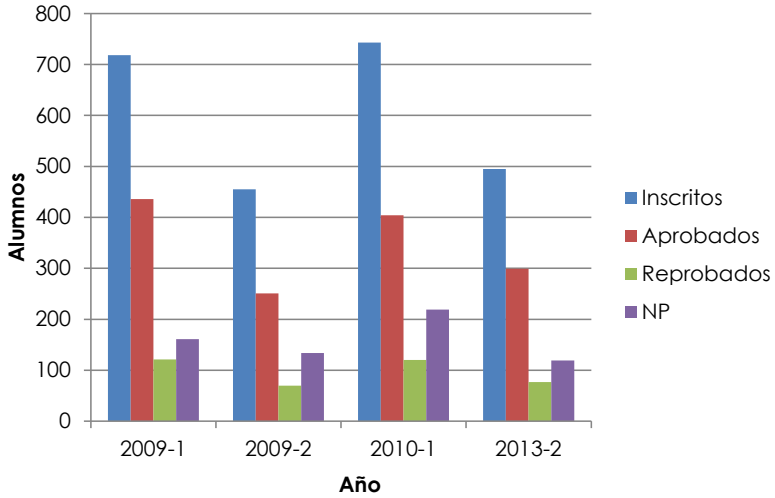


Sistemas Estructurales IV

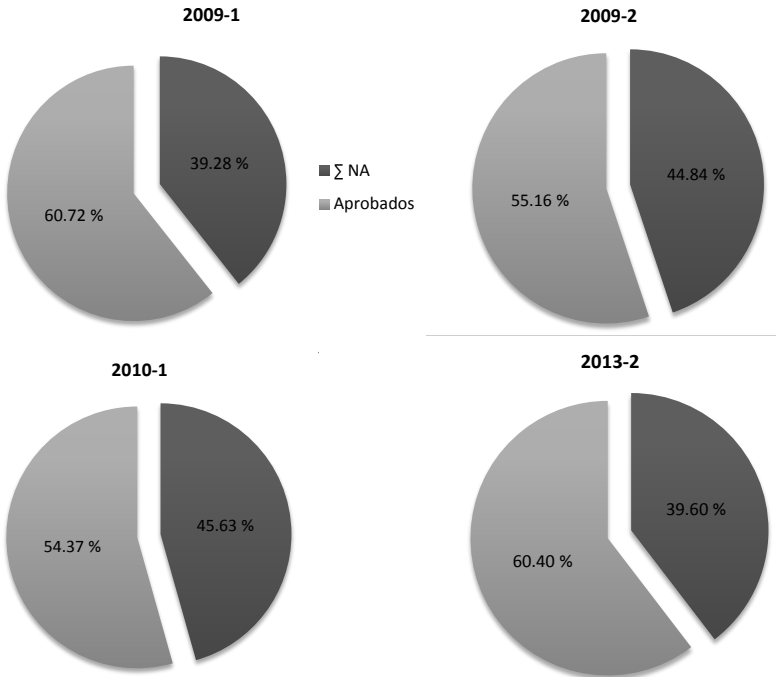


AÑO	V						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	718	436	121	161	60.72	16.85	22.42
2009-2	455	251	70	134	55.16	15.38	29.45
2010-1	743	404	120	219	54.37	16.15	29.48
2013-2	495	299	77	119	60.40	15.56	24.04

SISTEMAS ESTRUCTURALES V



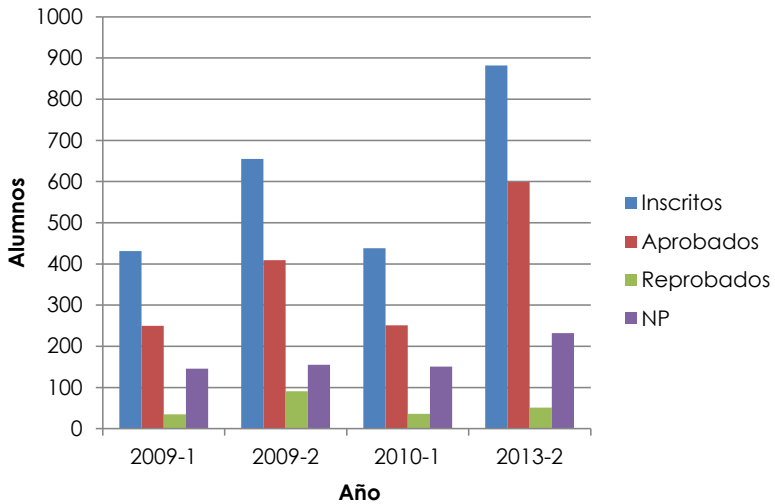
Sistemas Estructurales V



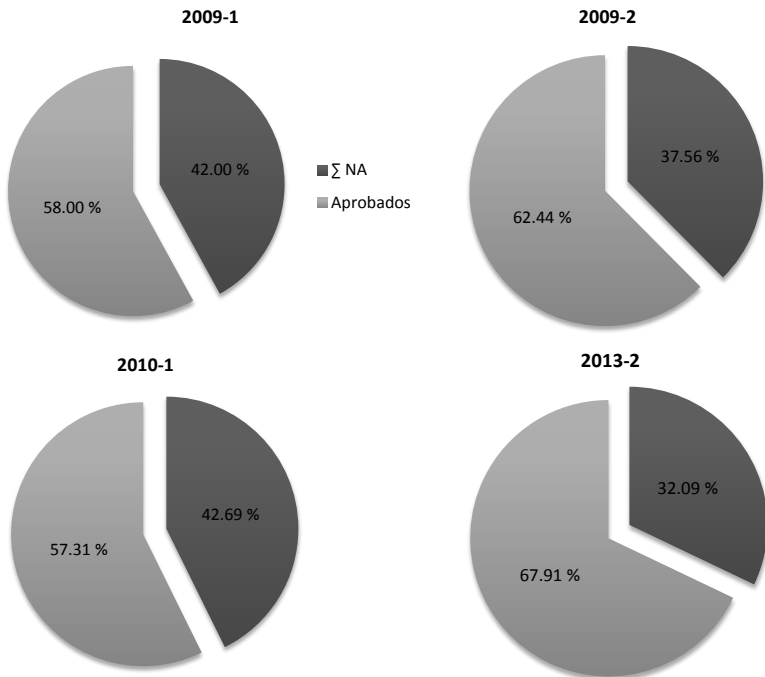
CONCLUSIONES

AÑO	VI						
	Inscritos	Aprobados	Reprobados	NP	% Aprob.	% Reprob.	% NP
2009-1	431	250	35	146	58.00	8.12	33.87
2009-2	655	409	91	155	62.44	13.89	23.66
2010-1	438	251	36	151	57.31	8.22	34.47
2013-2	882	599	51	232	67.91	5.78	26.30

SISTEMAS ESTRUCTURALES VI



Sistemas Estructurales VI



Este problema se ve afectado por la propuesta del plan de estudios de la facultad. Éste se divide en el taller de arquitectura el cuál incluye los cursos de: proyectos, metodologías de la investigación, construcción, representación gráfica, geometría y urbanismo; y los cursos obligatorios que en resumen son: teoría e historia de la arquitectura, sistemas estructurales, instalaciones, diseño urbano, administración y extensión universitaria. Esta separación tan marcada de las materias no permite que exista una correcta vinculación entre los cursos obligatorios y el taller de arquitectura.

Esta situación genera un desinterés por parte de los estudiantes, dicho acto se observa en los cursos de estructuras impartidos en la Facultad. Una razón, y probablemente el mayor porcentaje del problema, es que a muchos estudiantes de arquitectura se les complica el entendimiento de las matemáticas, y la manera de impartir la materia de estructuras es principalmente con modelos matemáticos, casi sin reparar en el tema de la lógica estructural, el cual debería ser la base principal del temario de

estudios de la materia de Sistemas Estructurales.

Es común que los estudiantes creen que las estructuras únicamente se pueden analizar desde un punto de vista matemático, porque así se enseñan desde los primeros cursos. Esta visión matemática se le complica a la mayoría de los estudiantes por la complejidad que sugiere, y como consecuencia, se les complican las estructuras.

El acervo bibliográfico enfocado a la formación de un criterio estructural es mínimo. De los libros existentes en la biblioteca de la Facultad de Arquitectura, aproximadamente el 5% o menos son de estructuras. La mayoría de estos libros no están actualizados y contienen normas que ya no son utilizadas, también algunos de los ejemplos estructurales propuestos son de materiales constructivos poco comunes hoy en día. Otro problema encontrado en los libros de estructuras es que existen muy pocos con la explicación de qué son realmente las estructuras y muchos que explican como se calculan, aunado al hecho de que algunos de éstos cálculos son

anticuados y ya no se utilizan o son fórmulas usadas en otros países.

Los recursos destinados a la producción de material didáctico y equipo de apoyo en el campo estructural son prácticamente nulos, así como un laboratorio experimental donde realmente se puedan hacer pruebas y se observe físicamente como reaccionan los elementos estructurales ante cierto tipo de condiciones.

Esta serie de factores se han ido acumulando poco a poco hasta generar un problema muy serio en la enseñanza de las estructuras en la Facultad de Arquitectura, así como probablemente se da en otras instituciones.

objetivos

objetivo general:

Facilitar el entendimiento de las estructuras a los alumnos de arquitectura para poder generar una lógica estructural y obtener el dimensionamiento mínimo requerido, a través de una guía metodológica.

objetivos específicos

1. Exponer el problema que existe en la facultad de arquitectura con respecto a la serie de las materias de Sistemas Estructurales.
2. Hacer un análisis cualitativo de las estructuras para comprender su funcionamiento y aprender como estructurar antes de aprender a calcular.
3. Explicar específicamente como funcionan los elementos más comunes utilizado en el diseño.
4. Aplicar las fórmulas obtenidos de la práctica para el predimensionamiento de los elementos estructurales hechos con concreto reforzado y comprobar las fórmulas.

introducción

Para toda construcción, relativamente importante, se requieren por lo menos dos hombres: el arquitecto y el ingeniero civil. Esta dependencia proviene del crecimiento considerable de las tendencias tecnológicas, de los factores económicos, de las exigencias de las nuevas culturas por tener estructuras más grandes, de la civilización actual.

El diálogo requerido entre estas nuevas condicionantes se vuelve casi imposible porque el ingeniero tiene una formación en los campos de estética y sociología, como lo tiene el arquitecto en cuestiones técnicas, y por lo tanto carecen de un vocabulario común. Es evidente que debe existir un puente entre ambas disciplinas, entonces, ¿el arquitecto debe tener más de ingeniero o viceversa?

Esta pregunta se responde con las siguientes afirmaciones: el arquitecto es el líder del equipo constructivo, mientras que el ingeniero es un integrante de éste; el arquitecto tiene la

responsabilidad y el renombre de las obras y el ingeniero presta sus servicios, por creador que sea, en la mayoría de los casos. Ésto sugiere que es el arquitecto el que debe crear el puente entre arquitectos e ingenieros, es decir, el arquitecto debe tener más de ingeniero.

Esta guía metodológica pretende generar, ese puente, así como romper los paradigmas, generados a través de los años, respecto a que las estructuras son complicadas por la visión que se ha generado, a lo largo de los años, de que únicamente son modelos matemáticos. Se propone generar una visión más amplia de lo que en verdad son las estructuras y se pretenden explicar de una manera más simple, para facilitar su comprensión.

La guía también trata de eliminar, a manera de lo posible, la diferencia entre la teoría y la práctica. Generar un puente entre la intuición común que poseén todos los seres humanos, con respecto a las estructuras, y el conocimiento científico acerca de ellas, el cuál brinda una representación física sobre

la base de los postulado matemáticas.

Si antiguamente no existía tal diferencia, entonces ahora no debería existir una diferencia tan grande. Las grandes obras del pasado se solucionaron con intuición, ya que no existían estos postulados, y hoy en día algunas siguen en pie.

Para inventar una estructura y darle proporciones exactas se debe seguir un camino tanto intuitivo, como matemático, es por esto que la teoría debe encontrar, en la intuición, la capacidad de transformar las fórmulas en conocimientos más humanos y comprensibles. Una vez comprendido el funcionamiento de dichas teorías y fórmulas, es necesario obtener resultados exactos para generar lo más con menos. Ambos conceptos deben fundirse en una síntesis única sí la finalidad del arquitecto es dar nacimiento a la unidad esencial de todas las grandes estructuras.

Las estructuras se pueden abordar como un conjunto de elementos estructurales que actúan de manera

independiente para lograr un todo resistente, un sistema estable e indeformable. ¹

Es de suma importancia tener un conocimiento cualitativo previo al estudio cuantitativo, para entender de qué manera funcionan las estructuras. La manera más simple de explicar el estudio cuantitativo de las estructuras es con un lenguaje apto para este estudio: las matemáticas. Pero las matemáticas no explican el comportamiento físico de las estructuras, sólo las describen. Hoy en día, para que los modernos conceptos estructurales sean utilizados y resueltos de manera correcta, es necesario que el arquitecto posea una comprensión del comportamiento de los sistemas estructurales. Este hecho no significa que los arquitectos deben ser expertos en matemáticas, mas bien sugiere que para que puedan expresarse a través de las formas estructurales, se requiere aprender un análisis cualitativo y uno cuantitativo básico. ²

1. véase: Becerra Padilla, Benjamín. *"Sistemas Estructurales"*. Casa Editorial Lomo Sapiens, 2011, D.F., México.
2. véase: Salvadori, Mario y Heller, Robert. *Estructuras para Arquitectos*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones La Isla, 1966. pp. 372 - 374.

Para estudiar y entender los sistemas estructurales primero se debe analizar las cualidades de sus elementos como un todo para integrar los conocimientos obtenidos a la fase del proyecto arquitectónico y, posteriormente, aislar los componentes de la estructura para poder situarlos en diferentes condiciones de carga y apoyo, para que con modelos matemáticos se puedan determinar dimensiones, esfuerzos y deformaciones.

El diseño estructural es imprescindible en la generación de arquitectura, a pesar del método de enseñanza, en el cuál la cuestión estructural, por lo general, se queda al último. Esto provocaría que la estructura dependa de la forma y no viceversa, como tiende a ocurrir, es decir, que la estructura se adapta a la forma. Actualmente existe una diferencia entre diseño arquitectónico y estructural referente a contenidos, procedimientos, valoración, e incluso, en su ejecución, la cual no tiene justificación, dado que el diseño estructural es parte intrínseca del proceso del diseño arquitectónico. Esta diferencia debe desaparecer.

Aceptando que la parte estructural es intrínseca en el proceso arquitectónico es importante saber hasta dónde es correcto y necesario ampliar el conocimiento sobre estructuras siendo que, como ya se mencionó, existen especialistas en éste ámbito. No se pretende minorizar el trabajo de los ingenieros civiles, ya que en arquitectura no se abarcan todos los temas que se imparten en ingeniería, pero sí generar una lógica estructural para que los arquitectos puedan generar una obra arquitectónica teniendo consciencia de que, aunque la estructura no es exacta, se acerca bastante a la realidad. Es mucho más sencillo reparar una obra bien estructurada pero mal calculada, que una obra bien calculada pero mal estructurada. Los arquitectos tienen la obligación de saber cómo funcionan las estructuras antes de empezar a calcularlas.

Es importante estudiar y reflexionar sobre las estructuras, porque si bien es cierto que se le pueden confiar a un especialista, primero deben ser capaces de inventarla, así como darle una ubicación y proporciones adecuadas. Hasta que dicho suceso

ocurra, habrá nacido una estructura sana, vital y, en lo posible, hermosa.

“Es un error demasiado corriente empezar a calcular la viga número 1 sin haber antes meditado si la construcción debe llevar vigas o no.”²

2. véase: Torroja Miret, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. pp. 2

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

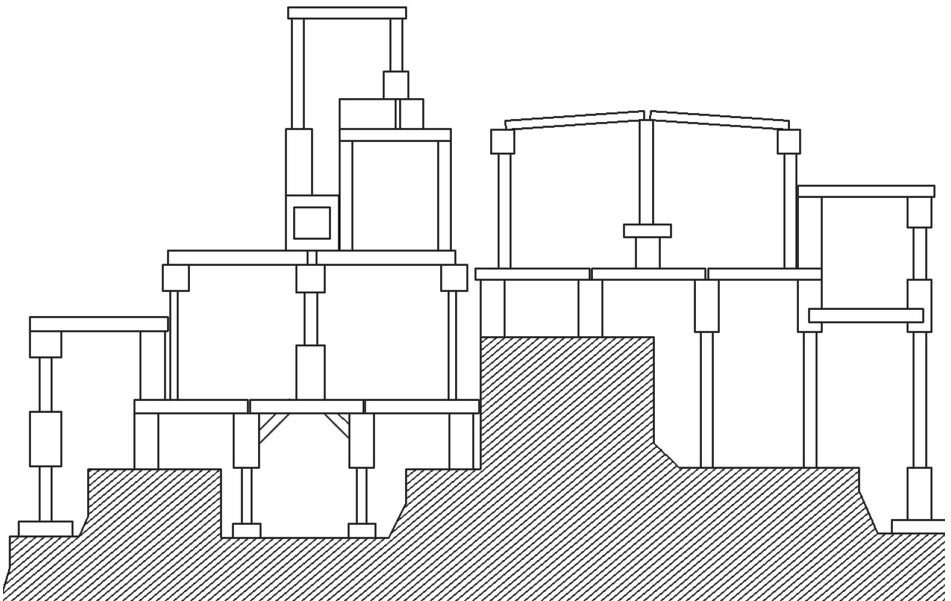
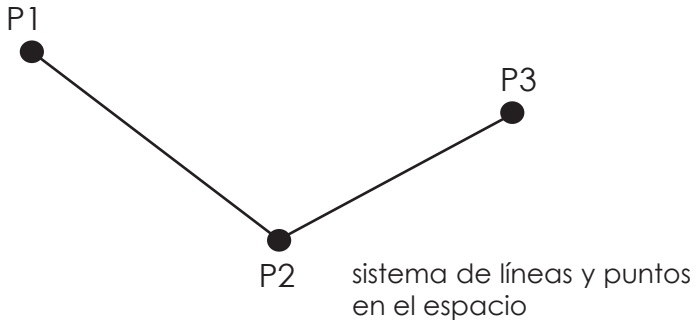
CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

componentes estructurales

Las estructuras se conforman por elementos afectadores (fuerzas como: la masa del propio edificio, masas externas, sismo, viento, etc.), así como con elementos afectados (vigas, columnas, muros, losas, etc.).

Los elementos afectados son aquellos que reciben las fuerzas externas (elementos afectadores), y en consecuencia provoca diversas reacciones internas de la misma magnitud en las estructuras.

Estos elementos se dividen principalmente en verticales, horizontales e inclinados, se generan por la unión de dos puntos con una línea recta, en un plano o en el espacio. A estos se les conoce arquitectónicamente como barras y nodos.



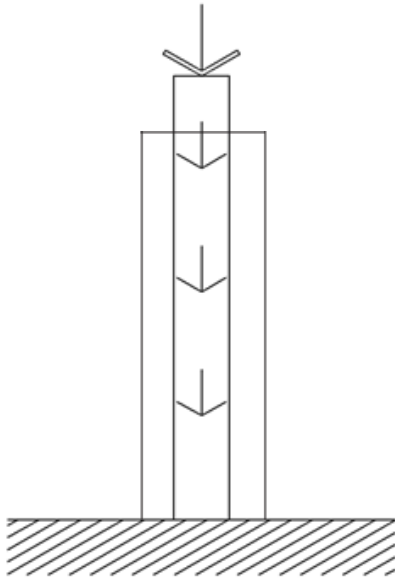
sistema de nodos y barras

Elementos Verticales

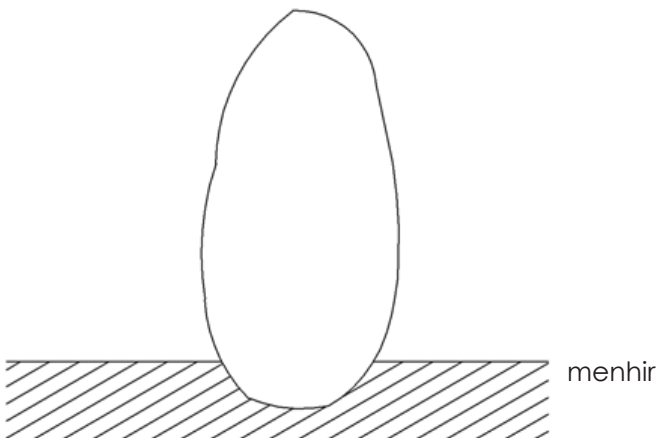
Son los elementos más simples ya que distribuyen las cargas de manera natural gracias a la fuerza de gravedad. Esta fuerza provoca que el elemento se aplaste, lo que sugiere que el material utilizado para estos elementos sea uno que no se pueda deformar mucho, como la piedra o el concreto.

El primer sistema de elementos verticales consistía en levantar grandes piedras monolíticas, se cree que eran para delimitar un espacio y posteriormente tener como referencia ese lugar, a estas rocas se le llaman menhires.

Hoy en día los elementos verticales que se encuentran en arquitectura son, principalmente las columnas y sirven para sostener una cubierta o una losa y tener el espacio entre columna y columna, conocido como claro libre (sin muros).



comportamiento de las fuerzas y aplastamiento del material

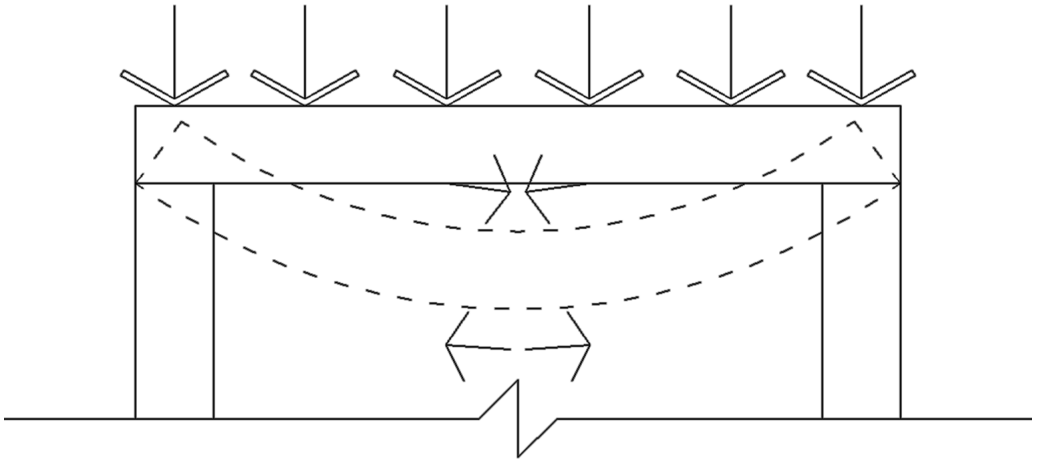


Elementos Horizontales

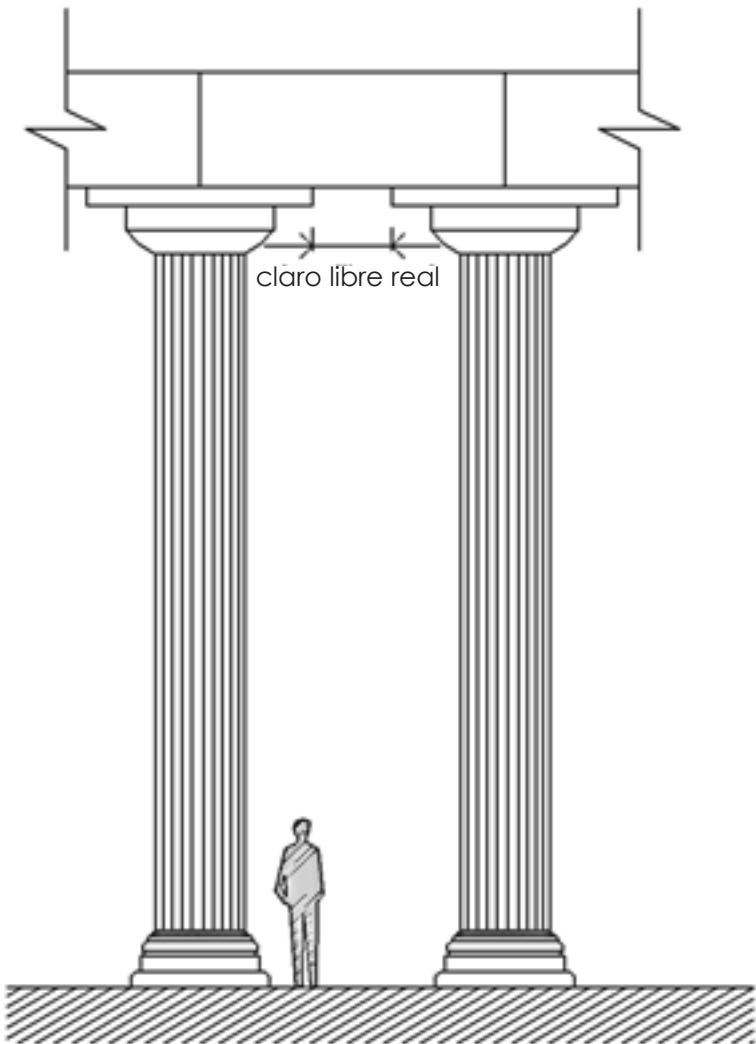
Los elementos horizontales siempre van a estar soportados por elementos verticales, éstos al recibir cargas en toda su longitud provoca que se flexione. Sí la fuerza está aplicada en la parte superior del elemento, éste tenderá a aplastarse en la parte superior y a estirarse en la parte inferior, por efectos de la flexión.

Todos los materiales constructivos deben resistir el aplastamiento, pero no todos resisten el estiramiento. Los materiales muy rígidos como el concreto y la piedra son un ejemplo de materiales que no resisten el estiramiento, es por ésto que lo ideal es que los elementos horizontales sean de materiales flexibles como la madera y el acero.

Sí es posible construir elementos horizontales con piedra pero es necesario reducir considerablemente su longitud y estar apoyados en elementos verticales muy pesados.



efecto de aplastamiento y estiramiento, por efecto de flexión, en la viga

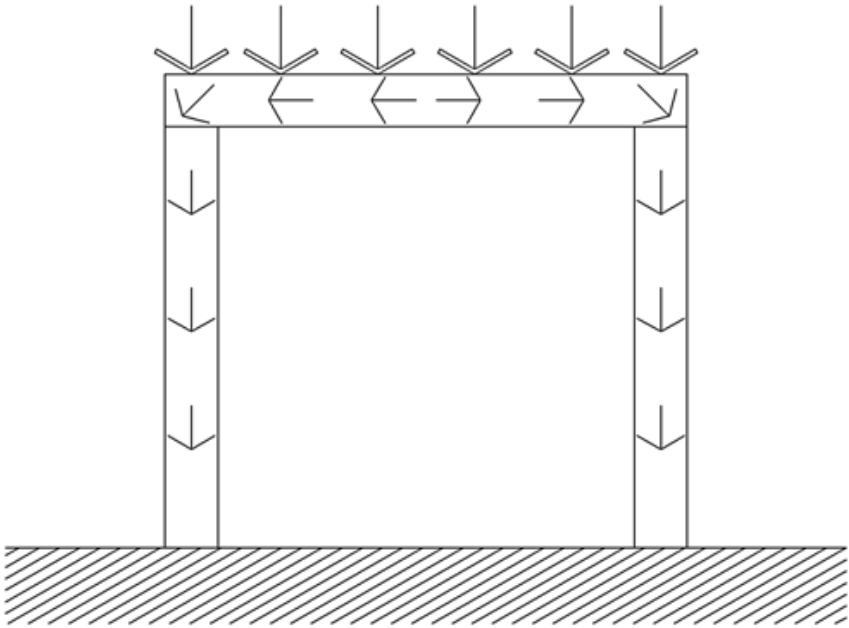


claro libre en columnas griegas hechas de piedra

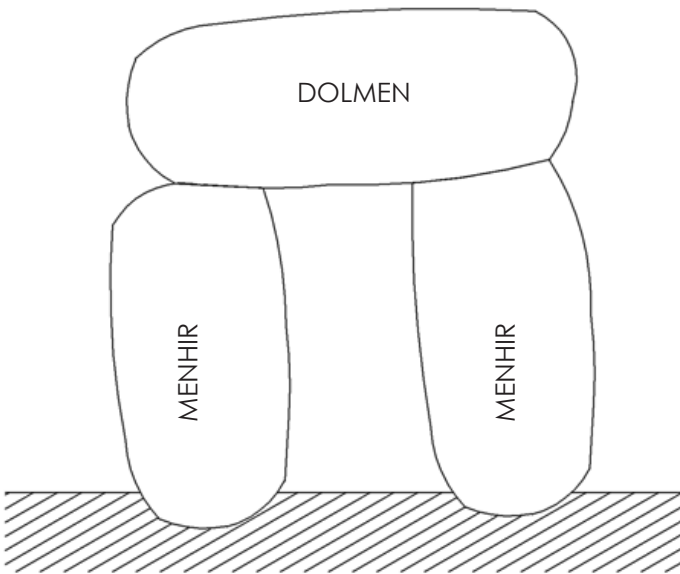
Los elementos horizontales, al estar siempre vinculados con los verticales, transmiten las cargas, equitativamente, hacia ambos lados del largo del cuerpo hasta encontrarse con los elementos verticales y éstos, a su vez las transmiten a la tierra, por la fuerza de gravedad.

La primera aparición registrada de elementos horizontales es en Stone Henge, Inglaterra, a estos elementos se les conocía como dolmenes. La única función que se ha supuesto para este sistema, a igual que con los menhires, es delimitar cierto espacio.

Actualmente, estos elementos horizontales son conocidos como vigas o traveses y a la unión de vigas y columnas como marco estructural. Este sistema es uno de los más utilizados para construir edificios con altura considerable por la facilidad de tener grandes claros con, relativamente, poco material.



comportamiento de las fuerzas en marcos estructurales



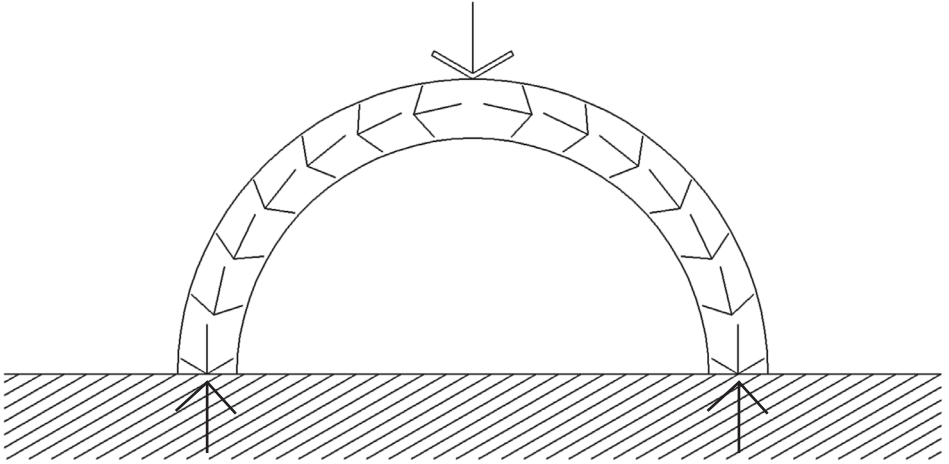
menhires y dolmen similares a los encontrados en Stone Henge, Inglaterra

Elementos Inclinados

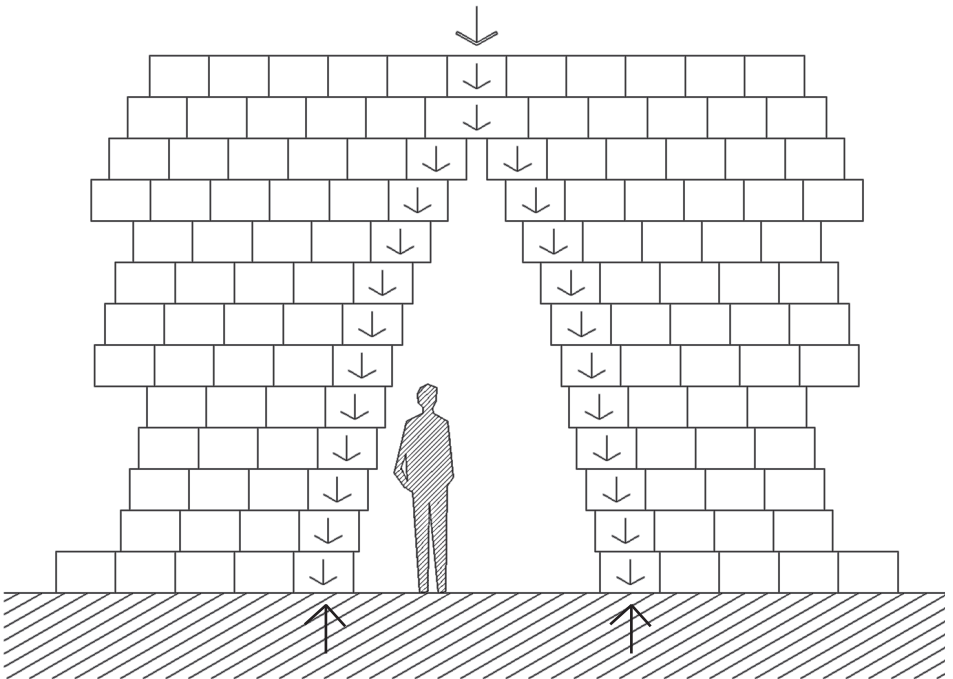
Se puede suponer que estos elementos son una combinación de los elementos verticales y horizontales, ya que las fuerzas se transmiten a lo largo del elemento hacia el suelo y tienen un efecto de aplastamiento, pero pueden llegar a generar claros semejantes a los de los elementos horizontales, pero sin sufrir efectos de estiramiento.

Un ejemplo de estos elementos son los arcos los cuales proveen grandes claros y no generan esfuerzos de estiramiento, por lo que la piedra sí es un material adecuado para construcciones de este tipo.

Un ejemplo de la buena utilización de este sistema es en las catedrales góticas las cuales satisfacen un sentido estético, así como la resistencia estructural, también son muy utilizados en puentes que cruzan, ríos y barrancos, ya que permite una distribución hacia los extremos apoyados en tierra firme, permitiendo el continuo flujo de agua.



comportamiento de las fuerzas en un arco



sistema previo a los arcos - sobreposición de piedras con un ligero desplazamiento, para ir abriendo el espacio y generar accesos o pasos

Conclusiones

Lo ideal es que siempre se le de importancia a la estructura, ya que colabora y es parte de la selección para el tipo de arquitectura requerida, pero no siempre es así. En la antigüedad, y aún hoy, existía una notable despreocupación por las estructuras en algunos proyectos arquitectónicos. Existen muchos casos donde las estructuras generadas con bases lógicas son un buen ejemplo de la solución de sistemas estructurales, pero también otros tantos donde no se tiene conciencia del trabajo estructural de los sistemas o los materiales.

Por ejemplo, el Partenón hace trabajar al mármol en formas estructurales típicas de la construcción en madera y desde el punto de vista estructural, eso es incorrecto. Hoy en día existen pocas estructuras griegas de este tipo porque terminaron fallando, a diferencia de las egipcias que al pasar los años siguen en pie.

Siempre hay que tomar en cuenta cuál es el material

ideal para ciertas estructuras, así como las condiciones del suelo donde se está desplantando, para que la estructura funcione de la mejor manera posible y genere la menor cantidad de problemas en su vida útil.

conceptos básicos

En la sección anterior se explicó brevemente cuáles son los elementos afectados que conforman un sistema, en ésta se pretende explicar cuáles son los elementos que los afectan.

Estos afectados se pueden analizar con las tres leyes presentadas por Isaac Newton, las cuáles son principios básicos que explican la mayor parte de los problemas presentados por la dinámica, publicadas en 1697 en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Estas leyes son:

- 1º ley o ley de la inercia: Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él.
- 2º ley o principio fundamental de la dinámica: La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración. $[F=ma]$
- 3º ley o principio de acción - reacción: Cuando un cuerpo ejerce fuerza sobre otro, éste ejerce

sobre el primero una fuerza igual y de sentido contrario.¹

Estas leyes en una estructura explican: las cargas, los esfuerzos y deformaciones, la resistencia y el equilibrio.

1. véase:<http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/fisica-2/las-leyes-de-newton/>

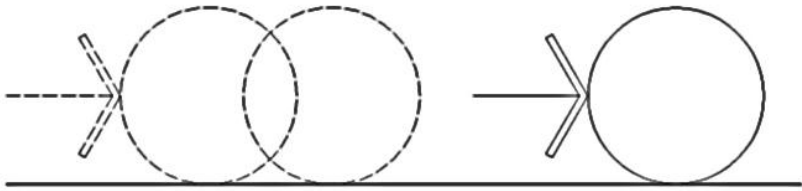
FUERZA

La fuerza es la magnitud que provoca que un cuerpo se mueva o se deforme de su estado o forma inicial. La fuerza se explica con la segunda ley de Newton (la fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración [$F=ma$].) y quiere decir que sí la aceleración del cuerpo o su masa aumentan, la fuerza por consecuencia aumentará.

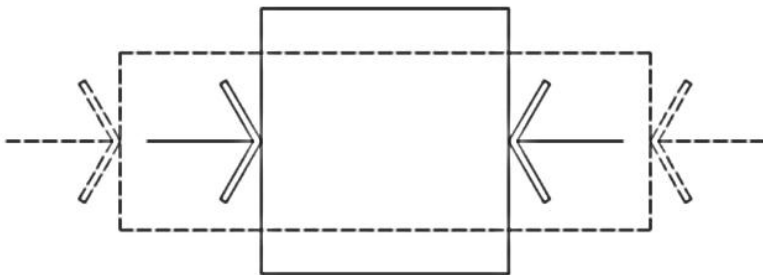
Como es gracias a Newton éste descubrimiento la fuerza se mide en unidades Newton [N], el cual es igual a un kilogramo [Kg] (aportación de la carga) por metros entre segundos al cuadrado [m/s^2] (aportación de la aceleración).

$$1N=1Kg \text{ m/s}^2$$

Si el objeto puede moverse se desplaza o cambia de ubicación, pero mantiene la misma forma; pero si el objeto tiene impedido el movimiento, como es el caso de las estructuras, tenderá a deformarse.



Movimiento de un cuerpo debido a cierta fuerza aplicada



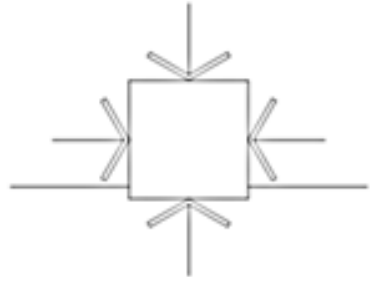
Deformación de un cuerpo debido a cierta fuerza aplicada

tipos de fuerzas

- Fuerzas externas: son aquellas fuerzas que ocurren fuera del objeto.
- Fuerzas internas: son la reacciones de las fuerzas externas. Es la fuerza que ocurre dentro del objeto.
- Fuerzas cortantes: es la fuerza perpendicular al eje centroidal longitudinal del objeto.
- Fuerzas actuantes: son fuerzas independientes al objeto, que como su nombre lo dice, actúan sobre este externamente.
- Fuerzas de reacción: son las fuerzas que resultan en el objeto, por las fuerzas actuantes.
- Fuerzas gravitatorias: son las fuerzas con que la Tierra atrae a los cuerpos a su centro.

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

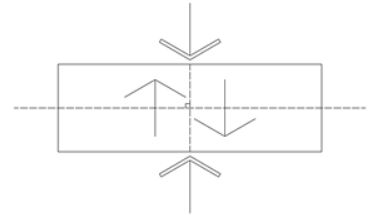
fuerzas externas



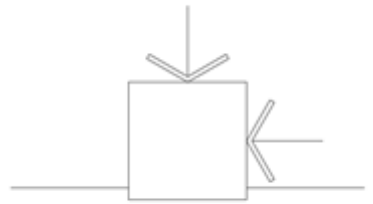
fuerzas internas



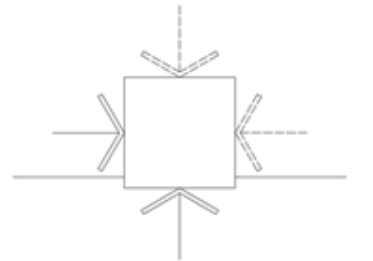
fuerzas cortantes



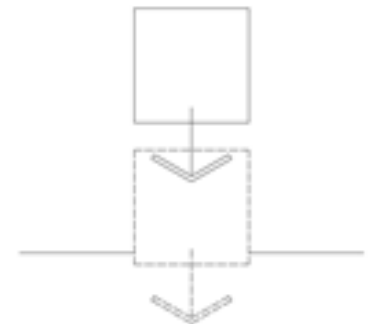
fuerzas actuantes



fuerzas de reacción



fuerzas gravitatorias

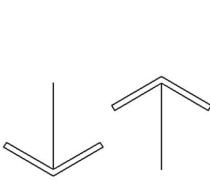


dirección de la fuerza

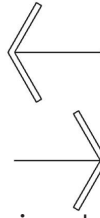
Las fuerzas pueden tomar distintas direcciones con respecto al espacio o en relación con el objeto. Las direcciones con respecto al espacio son verticales, horizontales e inclinadas, pero las últimas realmente son una resultante de una fuerza vertical más una fuerza horizontal, así como paralelas, perpendiculares y oblicuas, las cuales son aquellas que tienen la misma dirección pero sentido contrario.

Cuando se habla de la fuerza en relación a un objeto estructural las fuerzas existentes son las fuerzas transversales o cortantes, que son aquellas que son perpendiculares al eje longitudinal de simetría del objeto. Cuando son verticales con respecto al piso ocurren en los elementos horizontales (vigas), pero en caso de que fueran horizontales, como es en el caso del sismo, aparecerían en los elementos verticales (columnas); y las fuerzas longitudinales o normales, las cuáles son paralelas al eje longitudinal de simetría del objeto y ocurren inversamente que las transversales.

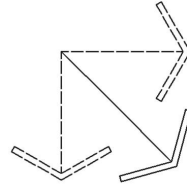
CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS



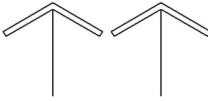
verticales



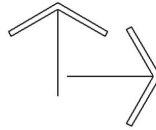
horizontales



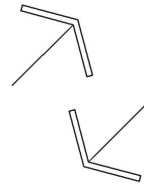
inclinadas



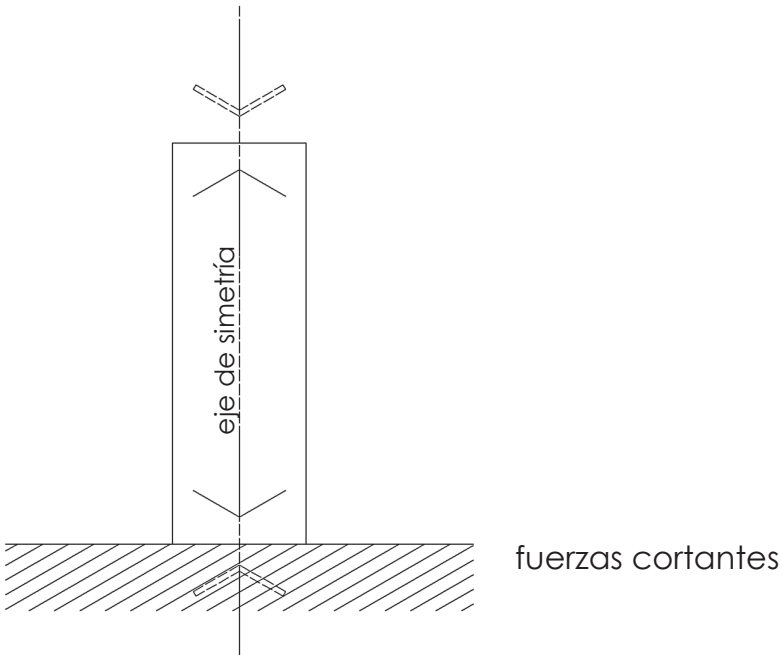
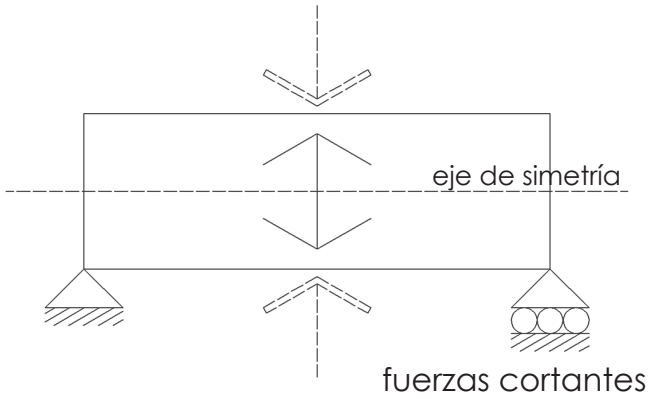
paralelas



perpendiculares



oblicuas

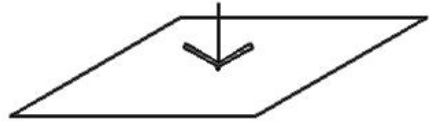


distribución de las fuerzas

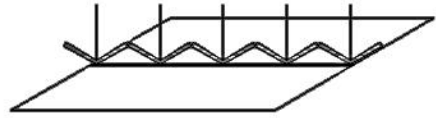
La distribución de las fuerzas sobre un objeto se da en relación con este mismo y varían dependiendo del tipo de análisis que se deseé. Los casos más utilizados para el análisis estructural son las cargas puntuales y la distribuida linealmente, pero existen también las distribuidas superficialmente y distribuidas espacialmente.

Las fuerzas normales ocurren únicamente de manera puntual; pero en el caso de las fuerzas puede ser puntuales o distribuidas.

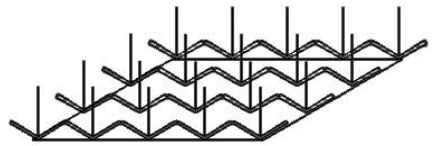
fuerza puntual



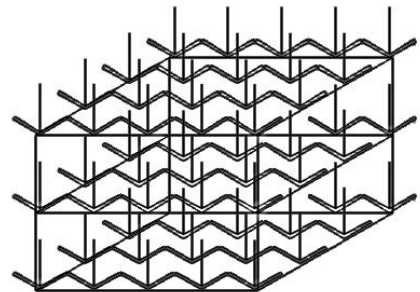
fuerza distribuida
lineal



fuerza distribuida
superficial



fuerza distribuida
espacial



cargas como origen de las fuerzas

Todas las cargas son fuerzas, pero no todas las fuerzas son cargas. Las cargas son sólo las fuerzas externas que modifican el estado inicial de un cuerpo.

$$F_A = W = (m)(g)$$

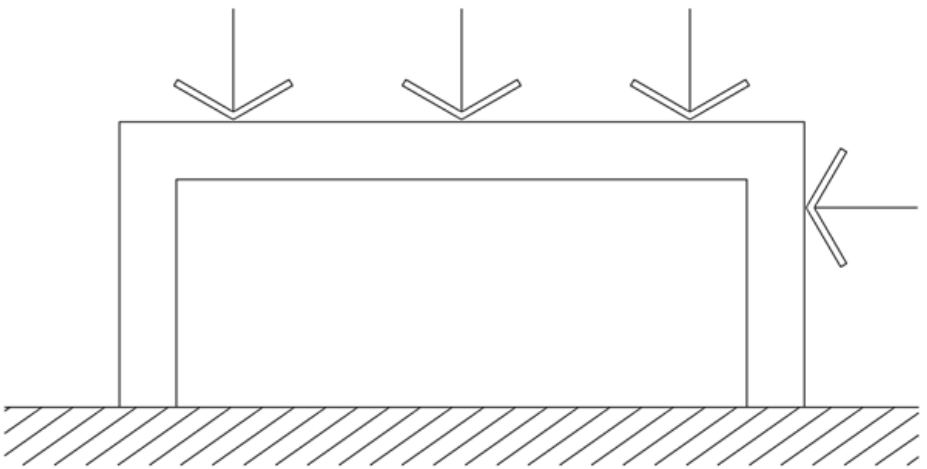
W: carga

F_A : fuerza actuante

m_A : masa actuante

g: aceleración gravitacional

Las cargas se pueden analizar como estáticas y dinámicas o como vivas y muertas. El primer análisis permite una visión del comportamiento físico de éstas, sobre las estructuras. El segundo permite un análisis numérico para saber aproximadamente cuáles serán los efectos de las cargas, y sugiere las dimensiones necesarias de las estructuras para soportar las cargas actuantes.

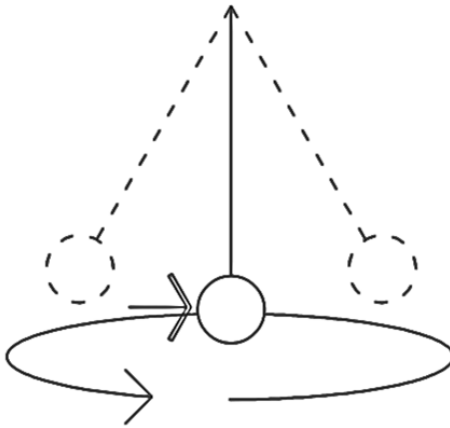


cargas verticales y horizontales sobre una estructura

Las cargas estáticas son las más fáciles de estudiar ya que son todas las cargas que están permanentemente en la vida útil de la construcción y no se mueven. El verdadero problema ocurre cuando se estudian las cargas dinámicas.

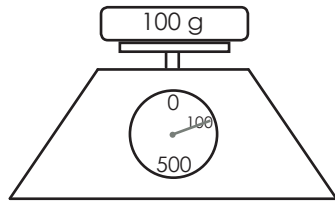
Las cargas dinámicas son aquellas que cambian de valor rápida y abruptamente, provocadas, principalmente, por fenómenos naturales. Estas cargas son muy peligrosas por el efecto que producen en la estructura, ya que al aplicarse de manera tan abrupta es mucho mayor que si la misma fuerza se le aplicara lentamente, entonces el efecto dinámico dependerá del tiempo que la carga tarde en cambiar de valor.

Uno de los efectos generados por cargas dinámicas son los movimientos oscilatorios, tanto en el piso como en el suelo, los cuáles son equivalentes al movimiento de un péndulo invertido. El tiempo que le toma al péndulo en completar una vuelta del extremo derecho, al extremo izquierdo se le llama periodo. Todos los edificios tienen un periodo

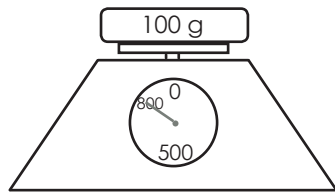
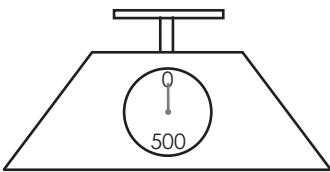


la ida y vuelta de un péndulo = 1 periodo de oscilación

fuerza estática



((100 g))



fuerza dinámica

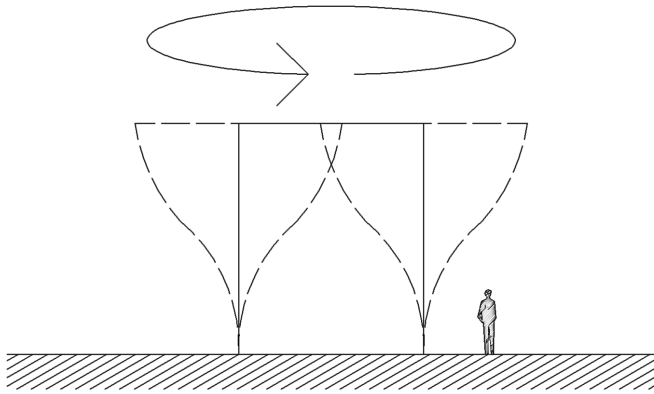
Cuando se pone, con tranquilidad, una pesa de 100 gramos en una báscula, ésta marcará los 100 gramos de la pesa; pero si se arroja la pesa hacia la báscula, inicialmente, ésta marcará un peso mucho mayor y después regresará a su peso original.

de oscilación diferente, éste depende de la altura y el material con que están contruidos.

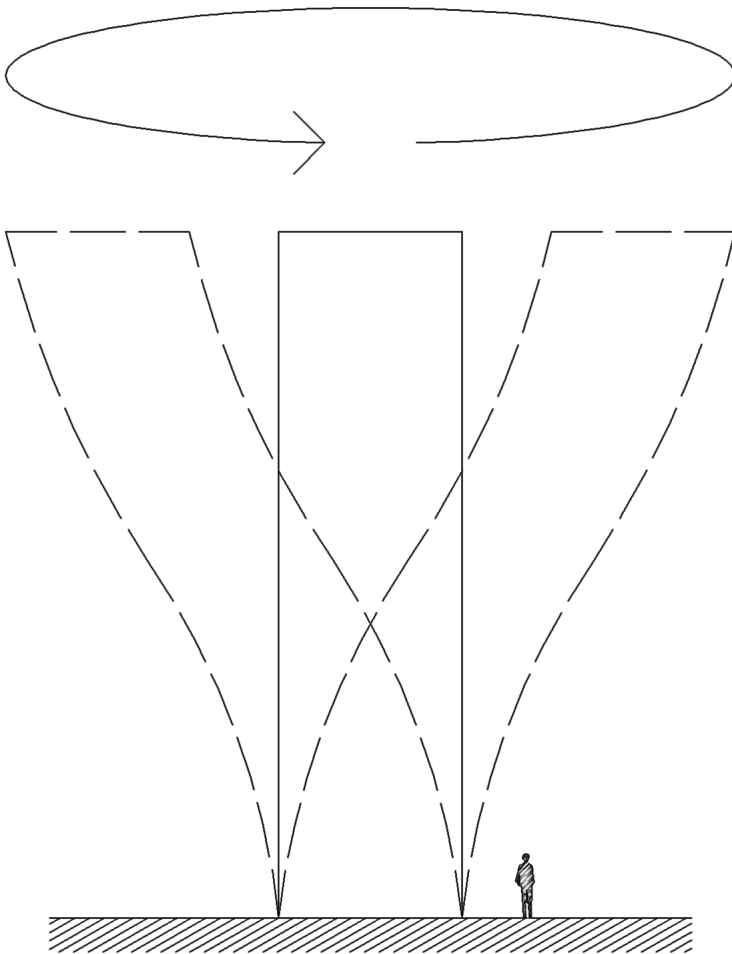
Los edificios de pocos niveles tienen un periodo de oscilación relativamente corto ya que no se puede mover mucho de un lado al otro; a diferencia de los de gran altura, que por ser tan altos y tan esbeltos, tienen un periodo de oscilación mucho mayor.

Del mismo modo, el suelo tiene un periodo natural de oscilación, el cuál depende de la composición y compactación de éste. Si es un suelo poco compacto los periodos de vibración serán considerables y viceversa para suelos duros o muy compactos.

Este efecto de oscilación se da por la primera ley de Newton, porque el cuerpo, en un estado inicial, está estático, y al aplicarle una fuerza instantánea, como el sismo o viento, se moverá de la base que está en contacto con el suelo, dejando la parte superior en el estado inicial. Cuando la parte superior alcanza a la inferior, ésta ya va de regreso y así sucesivamente, a este efecto se le conoce como inercia.



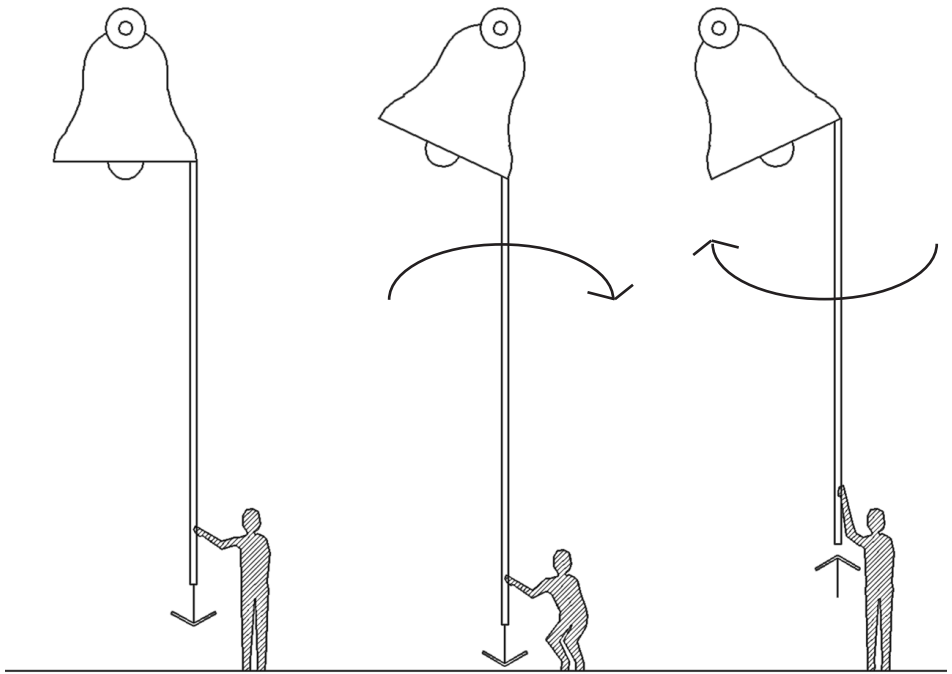
periodo de oscilación de un edificio bajo



periodo de oscilación de un edificio alto

El efecto de resonancia ocurre cuando las cargas, en lugar de crecer velozmente, los efectos dinámicos incrementan progresivamente. Este es uno de los efectos más peligrosos que le pueden ocurrir a una estructura, porque la puede llevar al colapso, independientemente del diseño estructural que se haya previsto. Se da cuando el periodo de oscilación del edificio se sincroniza con el periodo natural de oscilación del suelo o la velocidad del viento.

El mismo efecto se puede observar en el proceso de hacer sonar una campana de varias toneladas. Cuando una persona intenta hacer sonar a esta campana de un jalón, no lo va a lograr, por el poco peso (en comparación con la campana) de la persona. Sí la persona jalara con una cuerda la campana, ésta se moverá generando un periodo de oscilación pequeño, y sí sincroniza el jalón con el periodo de oscilación el periodo será la suma del primer jalón más el segundo. Este proceso se debe repetir varias veces hasta que el badajo de la campana golpee el anillo sonoro, generando el sonido deseado.



efecto de resonancia en una campana

Las estructuras siempre se construyen para cumplir una función previamente definida, consideración que hace la diferencia entre una escultura y una estructura. Las estructuras sirven, principalmente, para cerrar o delimitar un espacio, aunque también sirven para unir dos puntos (como son los puentes, los elevadores, etc.) o resistir la acción de las fuerzas naturales (como las presas o los muros de contención).

Cuando se quiere cerrar o delimitar un espacio, la estructura será distinta dependiendo del uso específico para el cuál se requiera y sus respectivos servicios. Algunos de los usos más comunes son:

- Refugio personal y de la familia
- Rendir culto a una divinidad
- Comercial
- Discutir problemas políticos
- Entretenerse
- Fabricar productos industriales

Estas exigencias han provocado que el hombre haya tenido que dar forma a los materiales de y utilizarlos

en ciertas cantidades para que las construcciones se mantengan en pie, resistiendo la atracción al centro de la Tierra, el viento, las descargas atmosféricas, los terremotos, los incendios y algunas otras cargas peligrosas.

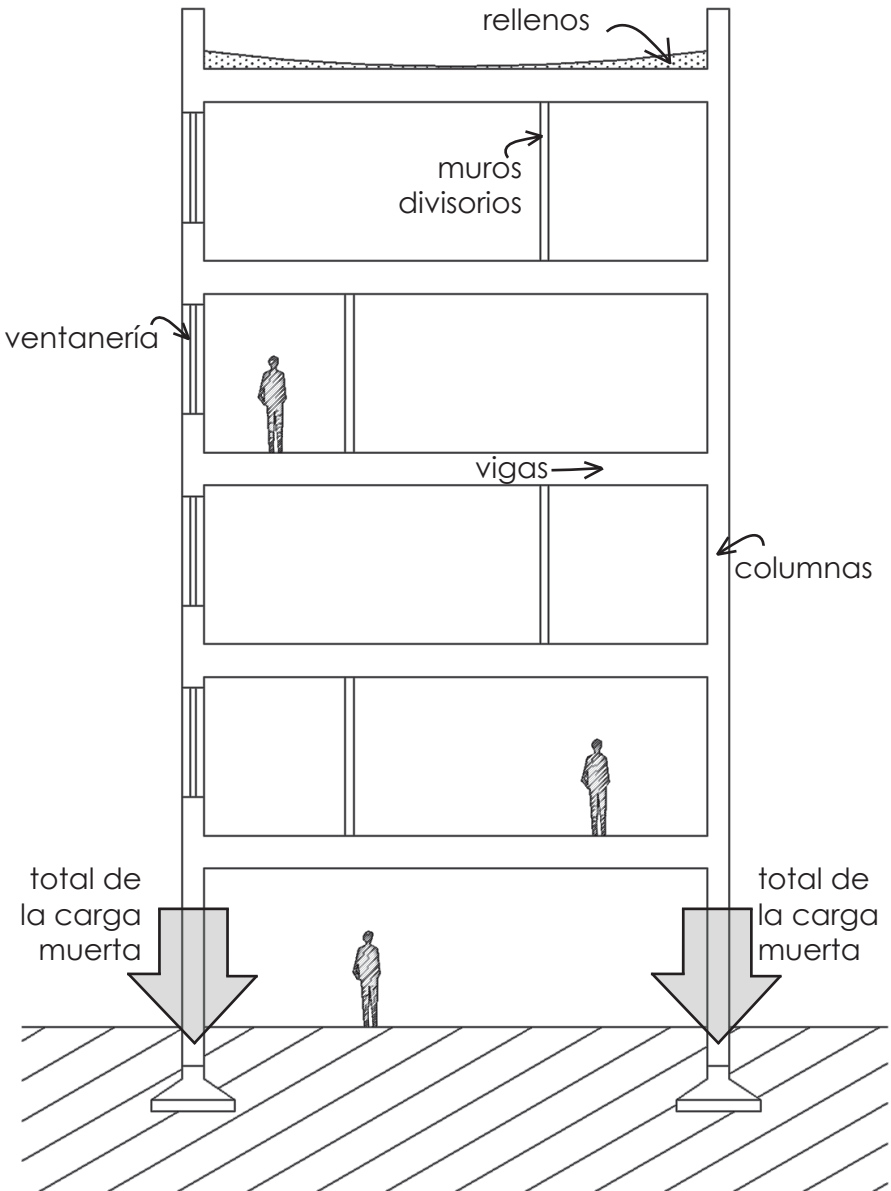
Para poder calcular el impacto de las cargas sobre una estructura se han desarrollado normas y reglamentos especializados en la construcción, para proporcionarla mayor seguridad posible a los usuarios de las construcciones. En el caso del D.F. se utiliza el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal [RCDF-04] y las Normas Técnicas Complementarias [NTC]. El análisis consta principalmente de cargas muertas o permanentes y cargas vivas o útiles.

Las cargas muertas son todas aquellas fuerzas que se quedarán a lo largo de la vida útil del edificio, o por lo menos se quedarán sin modificarse por mucho tiempo. Algunas cargas muertas son:

- peso propio de la estructura
- muros divisarios
- fachadas
- acabados de piso y muros
- plafones
- ventanería
- instalaciones
- mobiliario fijo
- equipos especiales (aire acondicionado, albercas, etc.)

Esto convierte a la carga muerta en la carga más importante que se debe considerar en un análisis estructural porque será el porcentaje mayor de la carga total de la estructura.

La valuación de las cargas muertas es realmente simple, ya que, lo único que se requiere es el volumen

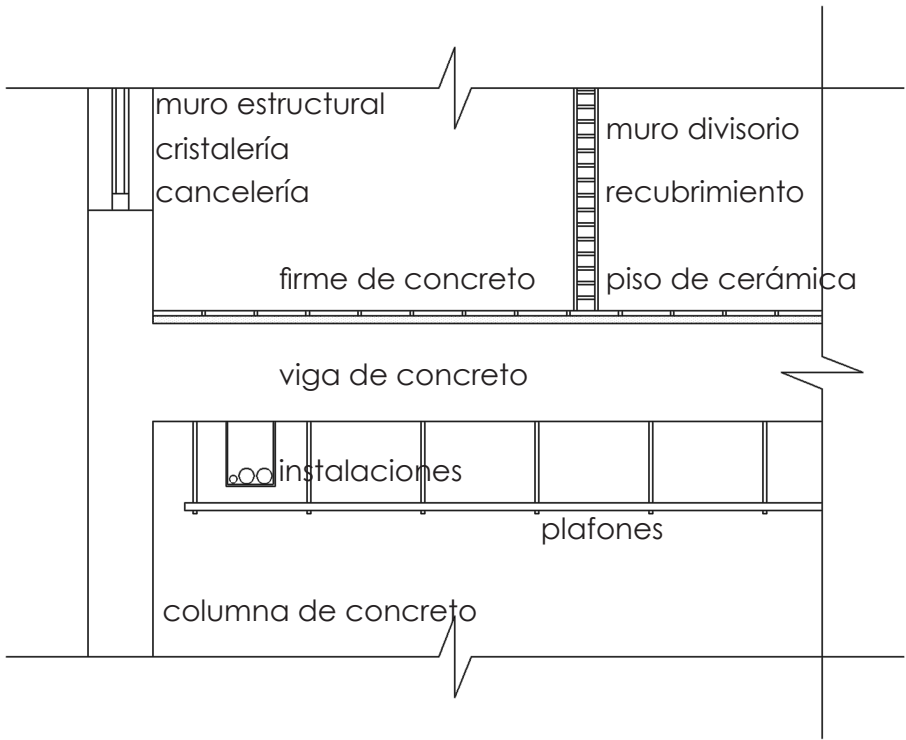


Algunas cargas muertas en una estructura

de cada componente y el peso volumétrico específico del material del cual está construido.

Por lo general cuando ya se hizo el análisis de las cargas muertas, éstas se representan como cargas uniformemente distribuidas sobre el área que están afectando, comúnmente llamada área tributaria; pero en algunos casos, como son los muros divisorios, la carga se representa linealmente distribuida o puntual para equipos fijos.

A pesar de que el cálculo de la carga muerta pudiera parecer exacto, siempre ocurren ciertas variaciones en obra como por ejemplo: las dimensiones aumentan o disminuyen algunos centímetros, por la mano de obra, el peso volumétrico del material no es el mismo, los muros divisorios cambian con respecto al anteproyecto, etc, y esto genera un aumento en el peso del edificio. Las normas y reglamentos, para evitar estos aumentos no considerados, crean factores de seguridad para aumentar la carga cierto porcentaje y evitar fallas.

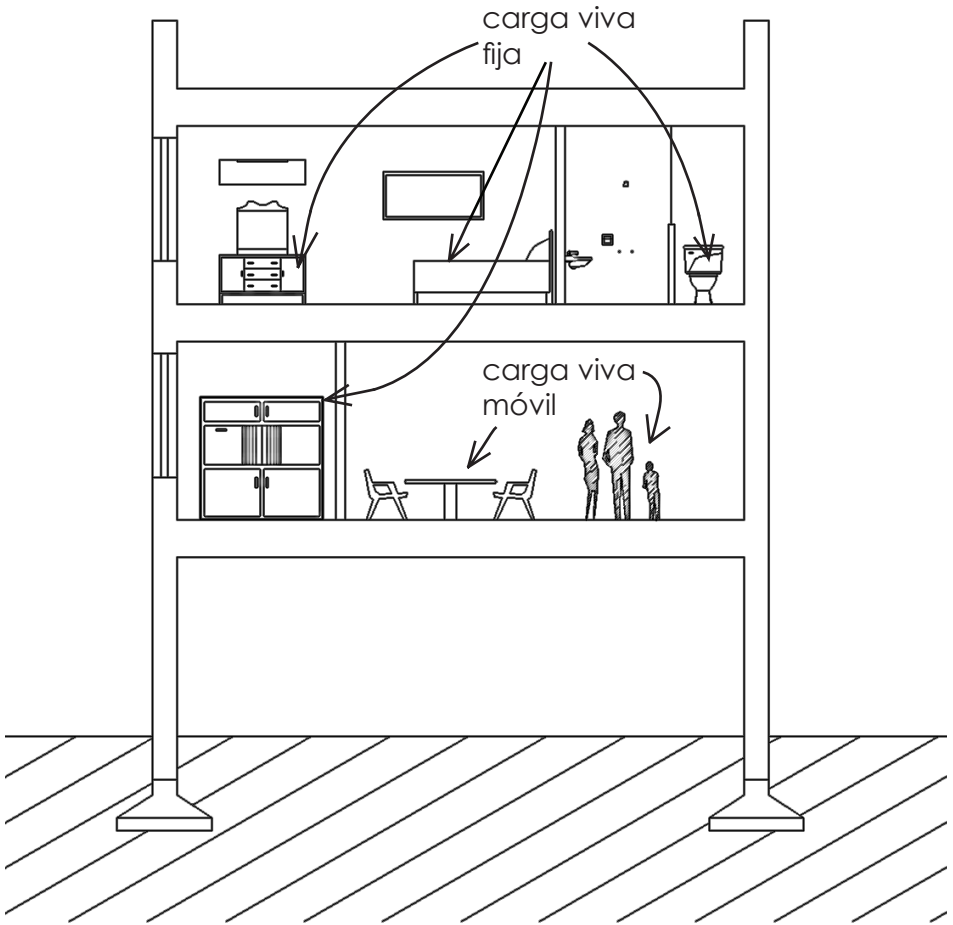


Pesos volumétricos del corte por fachada

Las cargas vivas son las fuerzas que se producen por el uso que se le da a una edificación y dependiendo del uso específico tienen diferente magnitud. Las cargas vivas pueden ser:

- Usuarios
- Mobiliario
- Mercancia
- Equipos
- Automóviles
- Cargas accidentales (sismo, viento, granizo y nieve)
- Cargas de impacto (soportes de elevadores, soportes de maquinaria ligera impulsada por motores eléctricos o con movimientos alternativos, tirantes que soporten pisos y balcones)
- Empujes de carga
- Cargas por temperatura

No se pueden evaluar las cargas vivas caso por caso, por eso existen en las normas y reglamentos los códigos de edificación para los casos más comunes como habitación, oficinas, escuelas, estadios, centros comerciales, azoteas, etc.



Ejemplos de cargas vivas en una vivienda

Las suposiciones que se hacen respecto a la carga viva deben ser tales que en las peores circunstancias, el piso no se derrumbe ni se deforme hasta el punto de ser inservible.

El tema más importante para saber que carga viva utilizar, para una construcción específica, es la finalidad para la que está proyectada, por ejemplo: en el caso de un puente la cantidad de flujo vehicular que estaría soportando, durante la hora pico, sería el peso más importante a considerar; en una oficina lo que se toma en cuenta es el mobiliario propio de ésta y el horario de trabajo, donde habrá mayor cantidad de gente; o en un estadio, donde lo único que hay que considerar es la cantidad de gente aglomerada en espacios tan reducidos y la vibración que pueden generar por la excitación de un partido o un concierto.

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

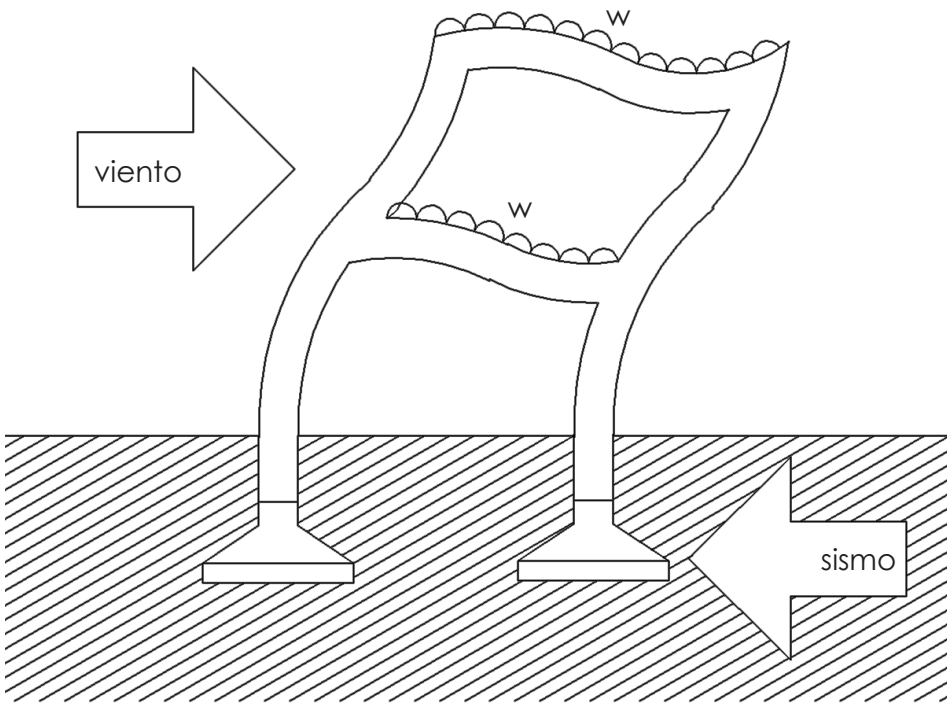
	Wm (Kg/m ²)
a) Habitación (casa - habitación, departamentos, dormitorios, viviendas, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	170
b) Oficinas, despachos, y laboratorios	250
c) Aulas	250
d) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos, y pasajes de acceso libre al público)	350
e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	450
f) Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas de juego y similares)	350
g) Azoteas con pendiente menor de 5%	100
h) Azoteas con pendiente mayor de 5%	40
i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	300
j) Garajes y estacionamientos (exclusivamente para automóviles)	250

Suposiciones de la carga viva dependiendo de la finalidad del edificio según el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal

Es importante analizar las cargas accidentales y por temperatura por separado, a pesar de ser vivas, ya que tienen sus propias normas y resultan de análisis mucho más complejos que el que supone el peso por el uso de un edificio.

Las cargas accidentales como ya se mencionó forman parte de las cargas vivas. Estas fuerzas se dan sin previo aviso y simplemente duran un instante. Las cargas más comunes son por sismo, por viento y por nieve.

Las cargas accidentales son cargas dinámicas y son las más peligrosas porque no se puede suponer cuando aparecerán, la magnitud del impacto o la dirección. Se tiene una completa incertidumbre acerca de estas cargas, y a pesar de que sí hay que diseñar las estructuras para asegurar casi en un 100% de que no habrá fallas, no se puede ser totalmente conservador con respecto a las cargas accidentales.



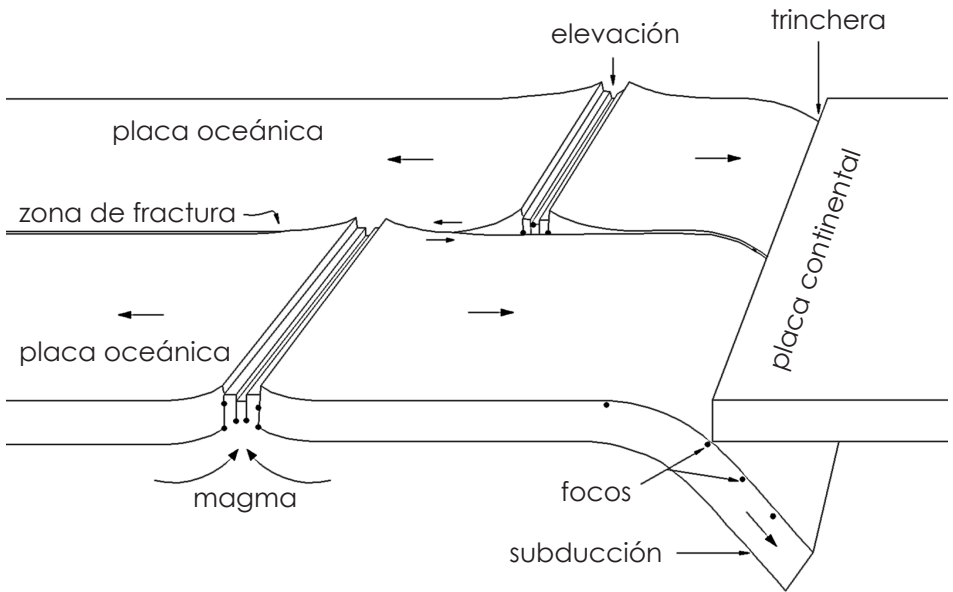
Efectos del sismo y el viento sobre una estructura

Sismo

Los sismos han afectado a la Tierra desde sus inicios y a pesar de ello, apenas hace 30 ó 40 años se toman en cuenta sus efectos en el diseño estructural.

Para explicar como ocurre un sismo; hay que entender que la corteza terrestre flota sobre un núcleo de roca fundida y algunas de sus partes (placas tectónicas) tienden a moverse una respecto de la otra. Este movimiento genera estrés en la corteza, la cual se puede romper generando fracturas, llamadas fallas. El sismo se produce a través de un movimiento repentino en dirección de la falla, sacudiendo los edificios en el área afectada.

Los sismos se evalúan en escalas, la más común y utilizada es la escala de Richter la cual mide la magnitud de la energía en el sismo. En el D.F. el RCDF - 04 establece que las estructuras deben estar calculadas para resistir un sismo de intensidad igual o mayor a 8° Richter y una duración de 50 segundos, suponiendo que éste pasara cada 25 años.



Movimiento de las placas tectónicas, provocado por la salida del magma (roca fundida) subterráneo.

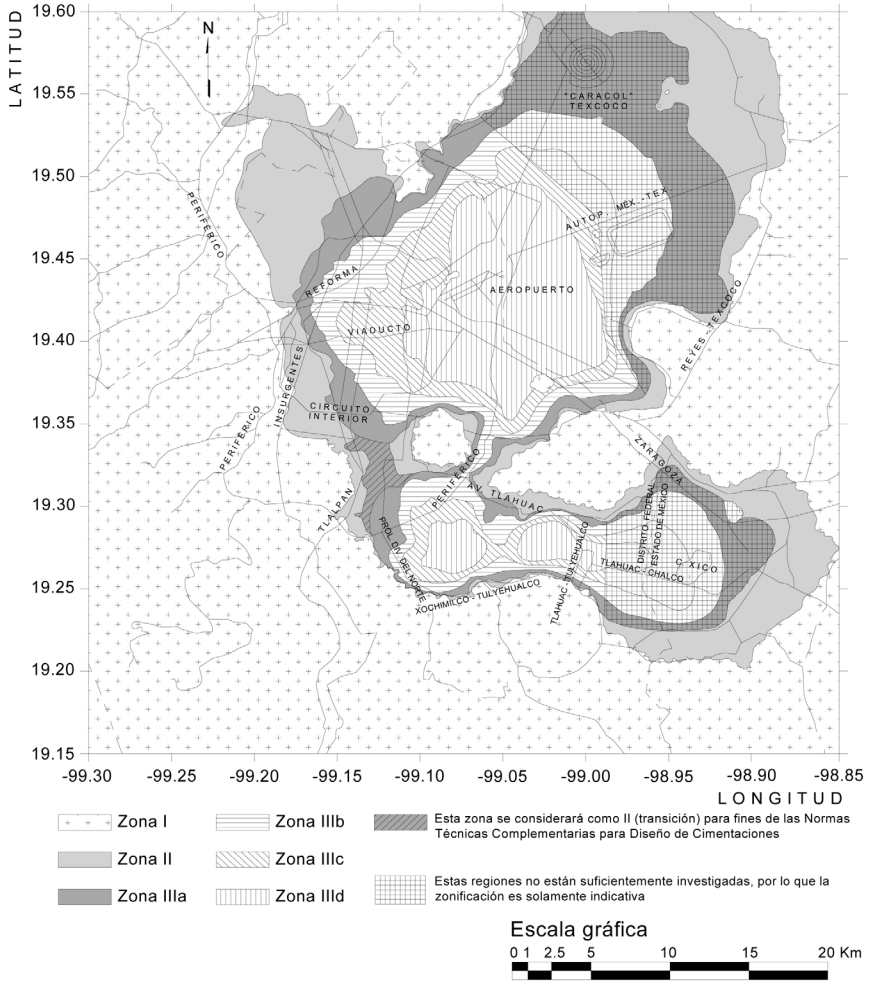
El suelo encontrado en la Ciudad de México varía demasiado, porque la ciudad se asentó sobre un lago. Es importante que, antes de diseñar una estructura, saber dónde y cómo es el lugar de desplante. La calidad del suelo se divide principalmente en tres zonas:

Zona I o zona de lomerío - es la zona más dura y resistente encontrada en la ciudad, ya que está generada por rocas, por lo tanto el estrato resistente (lugar donde la cimentación siempre se debe apoyar) está a escasos centímetros del nivel del suelo.

Zona II o zona de transición - como su nombre lo indica es una transición, hasta podría decirse que un punto medio, entre el suelo más duro y el suelo más blando.

Zona III o zona lacustre - Esta es la zona que está sobre lo que antes fueron los 5 grandes lagos. El estrato resistente puede encontrarse a más de 50 m del nivel de desplante. Los estratos entre estos dos son arenas y gravas descompactadas y en algunos casos hasta agua.

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS



Mapa de zonificación de suelo del Distrito Federal, según las Normas Tecnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

Sí el edificio del proyecto arquitectónico está ubicado en la zona I, quiere decir que el suelo es muy duro y muy resistente, lo ideal es construir edificios que sean flexibles, es decir que se puedan mover con facilidad para que se muevan con el suelo.

Sí, al contrario, el edificio se construye en la zona III, al tener un suelo poco compresible y muy poco resistente, el edificio debería ser muy rígido y tener la cimentación hasta el estrato resistente, para evitar hundimientos, deformaciones o colapsos por los efectos del sismo. Un ejemplo de un edificio rígido podría ser un edificio con muros estructurales en lugar de columnas, para que no se muevas de su lugar.

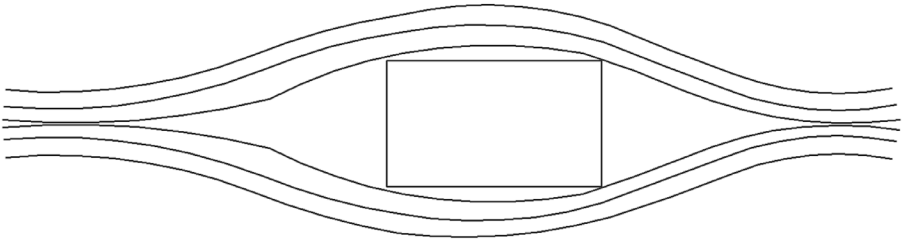
CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

Viento

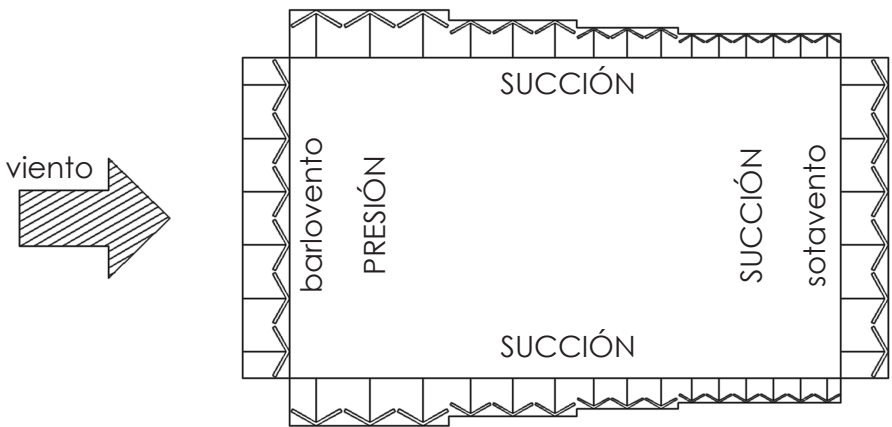
Las cargas por viento importan cuando arquitectos e ingenieros comenzaron a pensar en rascacielos. La razón radica en que la velocidad del viento aumenta proporcionalmente a la altura del edificio, mientras que la presión aumenta exponencialmente. Esto implica que la gravedad de los efectos del viento en un edificio son directamente proporcionales a su altura.

El viento actúa de manera horizontal y en varios casos se debe tener una estructura independiente a la principal (que soporta las cargas verticales) para soportar estas cargas.

En un edificio rectangular el viento ejerce presión en la zona del barlovento, ya que el viento choca contra esta cara generando que las partículas del viento se vean forzadas a rodear el edificio, dado que tienen que seguir la corriente, para finalmente juntarse en la zona de sotavento generando un efecto de succión.



Efectos del viento sobre un edificio

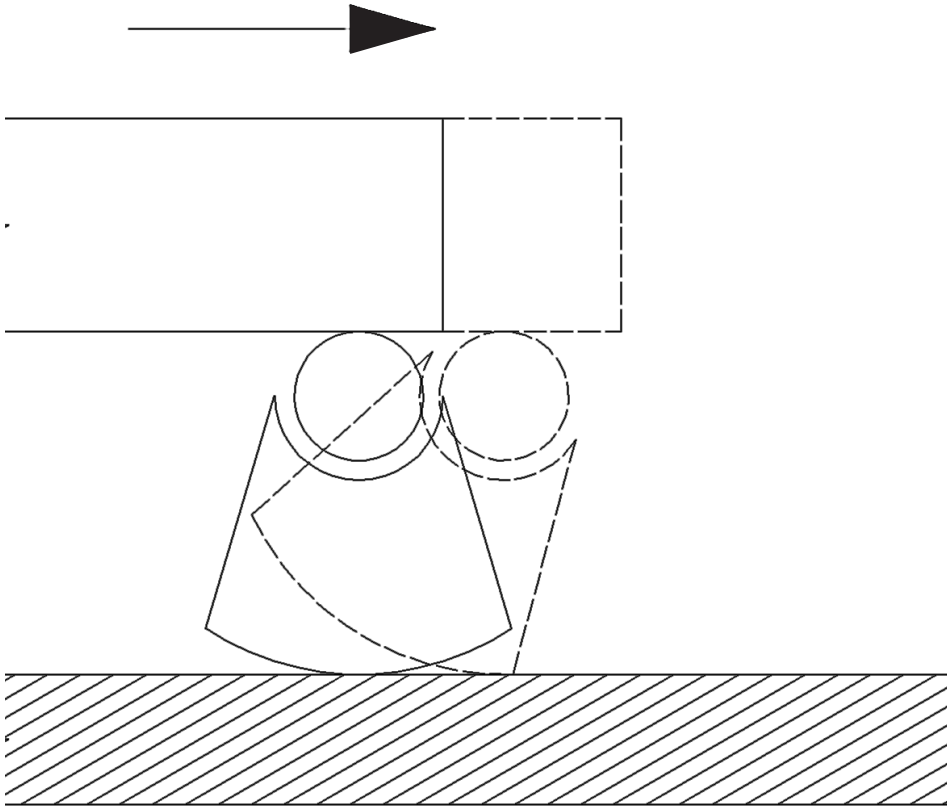


Fuerza provocada por el viento en la planta de un edificio

Temperatura

Las cargas por temperatura ocurren cuando una estructura está expuesta a grandes cambios en la temperatura del ambiente. Todos los materiales se expanden y se contraen, por el calor y el frío, respectivamente, ya depende de cada material, qué tanto cambian las dimensiones de las estructuras.

Por ejemplo si un puente que cruza un río, de 9 m de ancho, se construye en invierno a una temperatura promedio de 1.65°C , en verano cuando la temperatura haya aumentado a 35°C tendrá un desplazamiento de 33 mm. Aparentemente 33 mm no tienen comparación con 9000 mm (9 m) pero la fuerza de compresión que requiere la estructura para no moverse ni un milímetro es realmente grande. Sí en el diseño no se contempla esta fuerza la estructura puede colapsar. Una solución muy simple para evitarlo es colocando un apoyo deslizante para permitir que la estructura tenga una pequeña deformación y no generar fuerzas adicionales.



Movimiento de un elemento estructural provocado por el aumento de la temperatura

Si la estructura debe soportar cargas muy pesadas y el ambiente no tiene variaciones muy radicales, la estructura debe ser rígida. Entendiendo como una estructura rígida, aquella que casi no sufre deformaciones, como las construcciones hechas a base de muro, ya sean de mampostería o concreto armado.

Inversamente sí la estructura no recibe muchas cargas pero el ambiente sí varía continuamente lo ideal es que ésta se pueda adecuar a los cambios de temperatura, es decir, que sea flexible, el ejemplo más común son los edificios estructurados con columnas de acero o concreto armado.

CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS

ESFUERZO

Los esfuerzos son las fuerzas que se generan dentro de los elementos estructurales, en reacción a las fuerzas libres externas a éstos, como son la gravedad, los sismos, el viento, etc. Cuando estas fuerzas se ejercen sobre la estructura, ésta tiende a deformarse y al ocurrir esta acción se dice que la estructura está en estado de tensión.

Existen tres estados básicos de tensión en el campo estructural:

- tracción
- compresión
- cortante

Los otros dos estados de tensión que se analizarán en este tema son la torsión y el momento flexionante. El primero es una variante del efecto del cortante y el segundo se debe a la combinación de la compresión y la tracción al mismo tiempo y en el mismo elemento estructural. A pesar de que no son

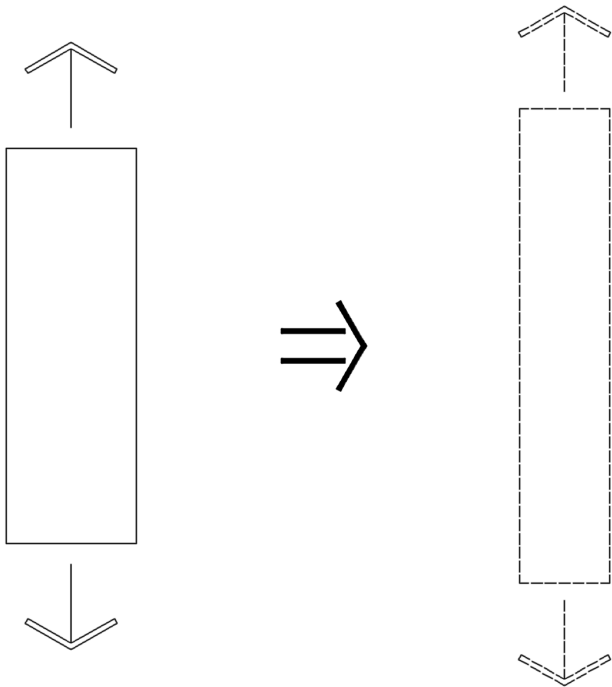
estados básicos son conceptos necesarios para lograr un correcto diseño. Es necesario conocer los fenómenos y las deformaciones que provocan estos estados para poder intuir cómo va a trabajar la estructura y poder predecir las dimensiones aproximadas.

tracción

La tracción se da cuando las partículas de la estructura tiendan a separarse y es provocada por fuerzas que, en términos prácticos, están jalando a ésta, logrando un alargamiento sobre la misma.

El alargamiento de los elementos está relacionado con tres factores: su sección transversal, su longitud y la magnitud de la carga. Suponiendo la misma carga, mientras más grande sea el área transversal menor será el alargamiento; al contrario que con la longitud, si el elemento es más largo, éste tenderá a deformarse más.

Además del alargamiento, los elementos estructurales sujetos a tracción sufren una reducción en su sección transversal, ya que el volúmen se debe de mantener igual, por lo tanto éste no puede aumentar ni disminuir. Ésto quiere decir que si la longitud aumenta, el área debe disminuir. Este fenómeno lo descubrió un físico francés de apellido Poisson, por esta razón la relación entre la

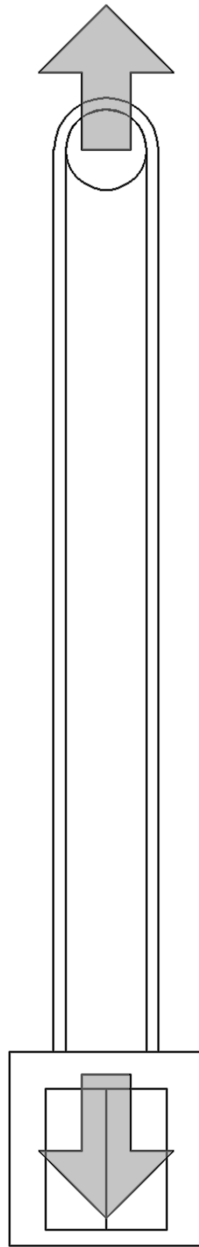


Deformación de un elemento estructural sometido a esfuerzos de tracción.

deformación transversal y la longitud se le conoce como módulo de Poisson.

Una propiedad que deben tener los materiales para que sean resistentes a la tracción es que éstos deben fluir, ésto quiere decir que se puedan deformar fácilmente (que sean dúctiles). Uno de los materiales con un muy buen comportamiento en este estado es el acero, ya que se puede deformar mucho antes de romperse. Hay materiales como el concreto o las rocas que no son resistentes a la tracción porque son materiales muy rígidos y la falla que presentan es frágil. Una de las características más importantes de una falla frágil es que el elemento se quiebra súbitamente sin presentar una deformación considerable.

Un ejemplo muy común es el cable de un elevador, éste está en constante tracción porque siempre está colgando y tiene que resistir el peso del elevador más el de todos los pasajeros. El cable de los elevadores por lo general debe estar bastante sobrado por el riesgo que implica.



Resistencia del cable de acero de un elevador y sus reacciones en los extremos.

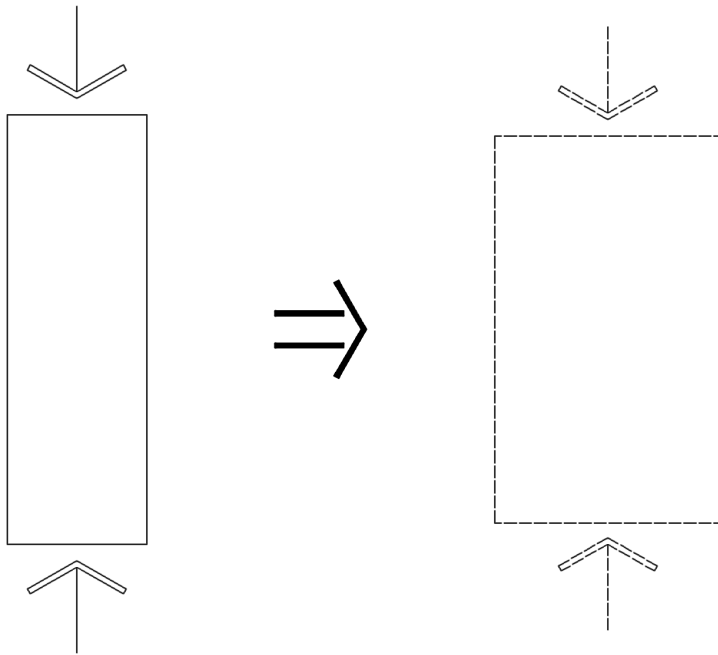
compresión

La compresión es el estado opuesto de la tracción, ya que las partículas de los materiales tienden a juntarse. A diferencia de la tracción, los objetos sujetos a esfuerzos de compresión se aplastan y se ensanchan.

Los elementos sujetos a compresión son los más comunes dado que todas las cargas deben ser transmitidas a la tierra. Es muy poco común que en la práctica se presente la compresión pura, ya que la construcción, hecha por el hombre, da lugar a muchos errores y éstos generan diferentes esfuerzos a los de compresión; incluso en las columnas, que son elementos completamente verticales.

En este caso, los materiales que mejor resisten la compresión son los materiales muy duros, que no se pueden deformar fácilmente, como son el concreto y la mampostería.

Todos los materiales, que se pueden considerar

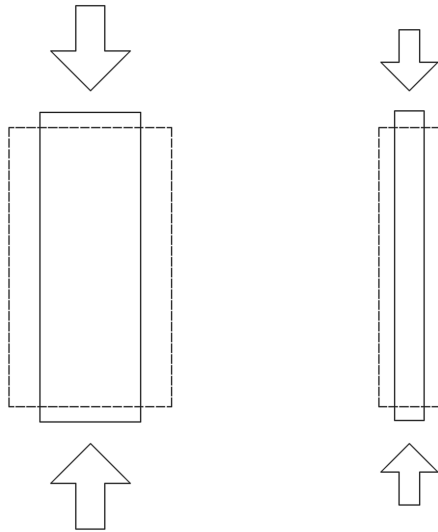


Deformación de un elemento estructural sometido a esfuerzos de compresión.

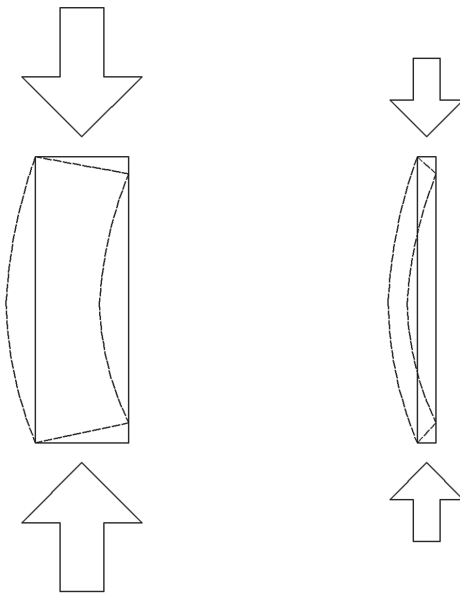
estructurales, soportan los esfuerzos a compresión. El verdadero problema con estos esfuerzos es que, hoy en día, existen muchas nuevas tecnologías, las cuales permiten grandes alturas en las construcciones y secciones transversales muy pequeñas. A la relación entre la longitud de un elemento y su sección transversal se le llama relación de esbeltez, y si ésta llega a ser muy grande puede llegar a provocar un pandeo en el elemento. Este fenómeno se presenta por la cualidad que tiene la naturaleza, en la cual los esfuerzos físicos eligen el camino más simple.

Si se aplican cargas a compresión pequeñas en un elemento, o éste es muy robusto, simplemente se acortará; pero si las cargas son muy grandes o el elemento es muy esbelto, éste tenderá a pandearse.

Es mucho más grave la falla por pandeo que por compresión ya que si se llega a pandear mucho un elemento este se puede romper súbitamente.



Deformación, ante una carga a compresión, de un elemento robusto (1) y con una carga relativamente pequeña (2)



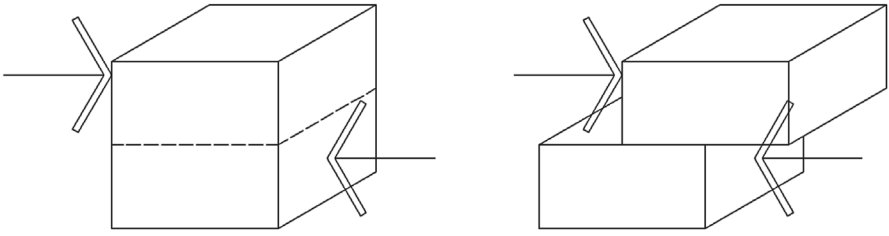
Deformación ante una carga a compresión muy grande (1) y de un elemento esbelto (2)

cortante

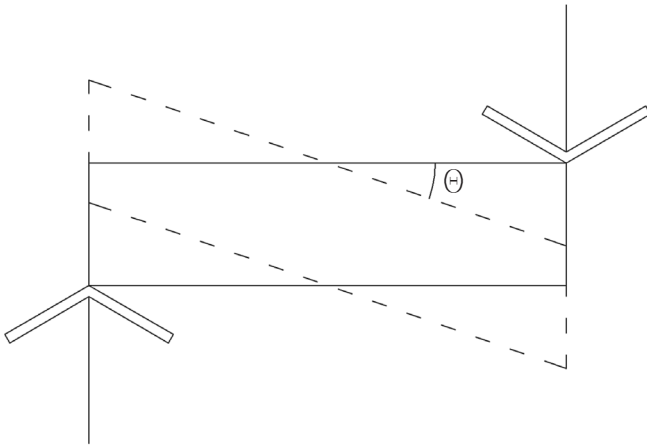
El esfuerzo de tensión de corte es la tendencia de las partículas, de los elementos, a deslizarse, paralelamente, a un par de fuerzas aplicadas tangencialmente y de sentido contrario.

Las deformaciones producidas por el cortante convierten una estructura con forma rectangular en un paralelogramo inclinado. En este caso, la deformación se mide por el ángulo de inclinación del paralelogramo, a diferencia de la compresión o la tracción, que se mide la longitud.

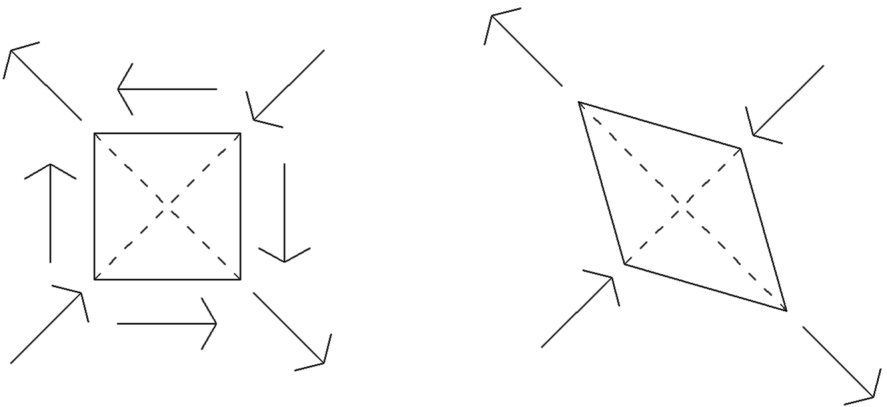
Cuando el rectángulo se deforma en un paralelogramo una de las diagonales interiores se alarga y la otra se acorta. Ésto sugiere que el esfuerzo a cortante puede considerarse como fuerzas a compresión y tracción combinadas, aplicadas en los ejes diagonales. Por lo tanto si un elemento, como una viga, está hecho con un material poco resistente a la tracción, tampoco soportará el esfuerzo de corte.



Desplazamiento generado por dos fuerzas tangenciales, paralelas y de sentido contrario (cortante).



Ángulo de inclinación del paralelogramo

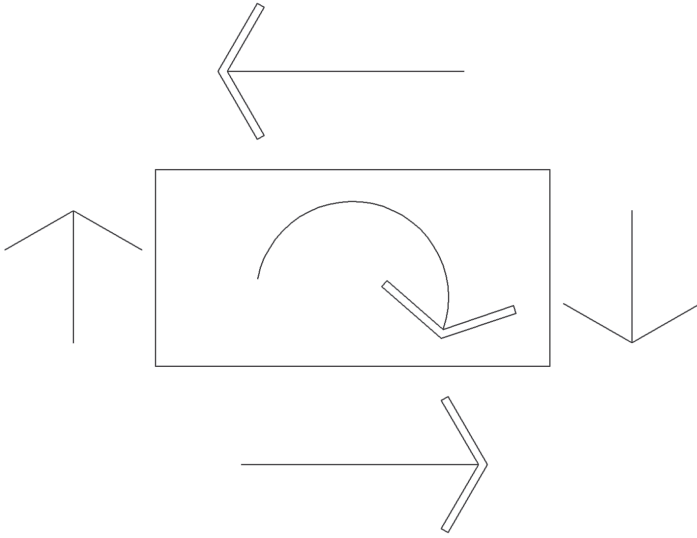


Paralelogramo formado por el esfuerzo cortante, mostrando como una diagonal se acorta y otra se alarga

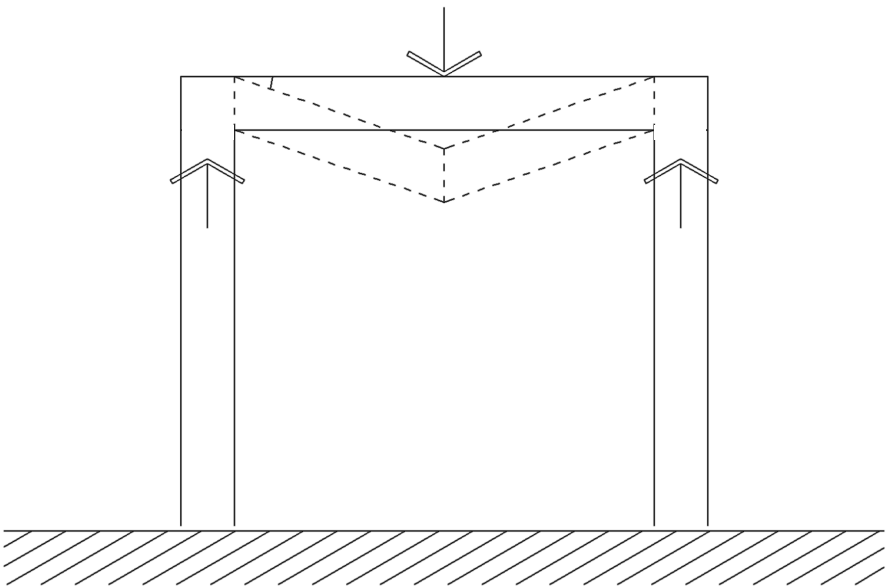
En física todo par de fuerzas aplicadas en sentido contrario provocan un giro o un momento; como al conducir un automóvil, el conductor jala y empuja, simultáneamente, el volante para que éste de la vuelta. Lo mismo ocurre con el esfuerzo cortante, es decir, si se aplican un par de fuerzas verticales tratarán de hacer girar el elemento y lo que lo impide son un par de fuerzas horizontales que generan un giro contrario de igual magnitud, para mantener el equilibrio rotatorio.

En los sistemas estructurales se observan estos esfuerzos justo donde la estructura pasa de ser una viga a ser una columna, porque ahí es donde se encuentra la reacción, y va disminuyendo conforme se acerca al centro del claro.

El valor del cortante es igual a cero cuando el momento flexionante es máximo.



Giro provocado por las fuerzas verticales (cortante) y fuerzas horizontales tratando de impedirlo.



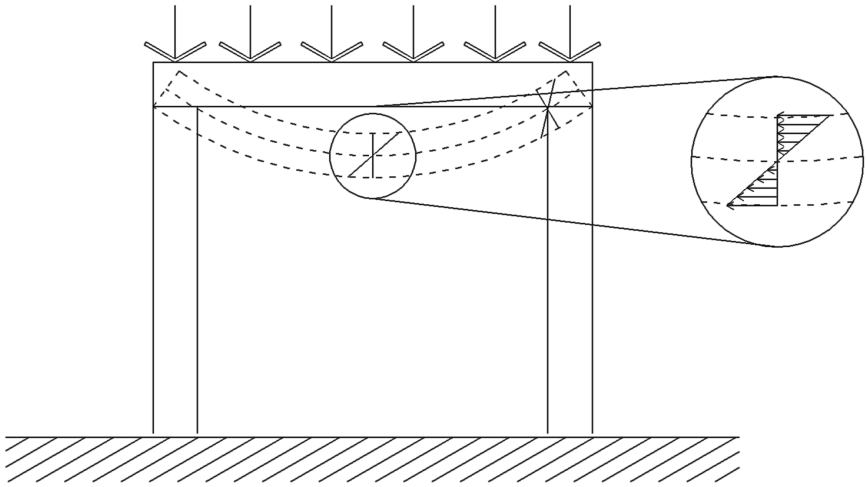
El cortante máximo se encuentra en la unión de la viga con la columna

momento flexionante

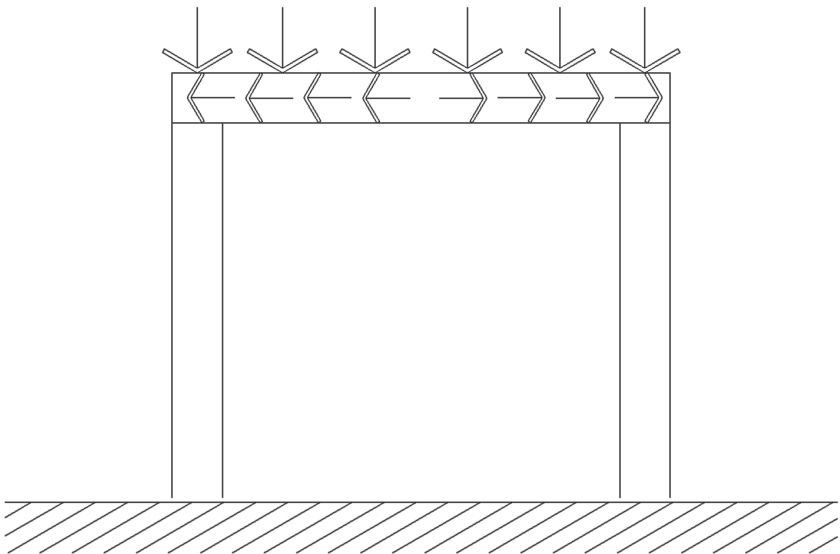
El esfuerzo a flexión resulta de la combinación de tracción y compresión en las fibras interiores de un elemento estructural, a partir del eje central. La flexión puede considerarse como un mecanismo estructural capaz de transmitir las cargas verticales en dirección horizontal. Esto ayuda a que se puedan salvar distancias considerables entre apoyos verticales.

La flexión es de los esfuerzos más comunes en las estructuras porque todas las vigas están sujetas a flexión y la mayoría de las construcciones actuales están construidas con vigas. Las vigas sin estar sujetas a ningún otro esfuerzo más que a las cargas verticales (carga muerta y carga viva) parece que se “cuelgan”, pero lo que en realidad ocurre es que se curvan cóncavamente, así como todas sus fibras. En este caso la flexión induce, en las fibras superiores, compresión y en las inferiores, tracción.

Los elementos en volado también se ven afectados



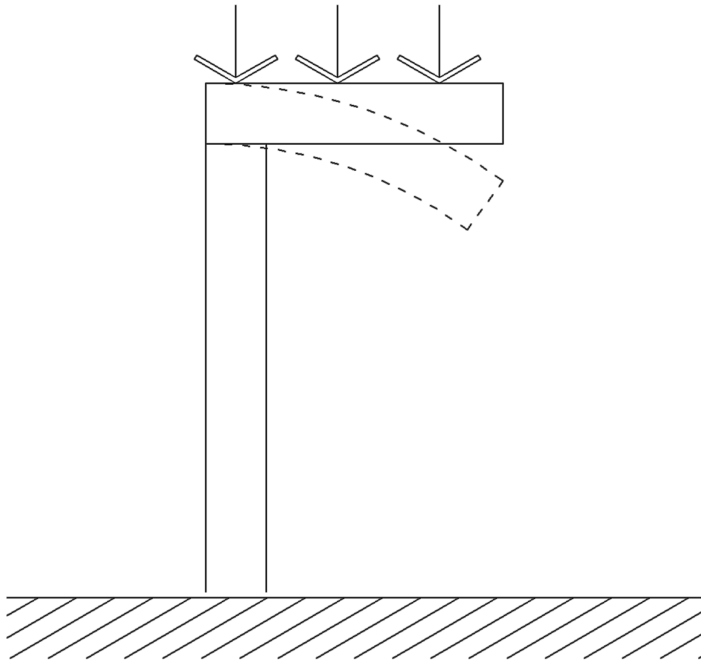
Flexión de una viga simplemente apoyada en los extremos. Se puede observar como aumenta la compresión (arriba) y la tracción (abajo), dependiendo de la distancia de las fibras con respecto del eje neutro (centro).



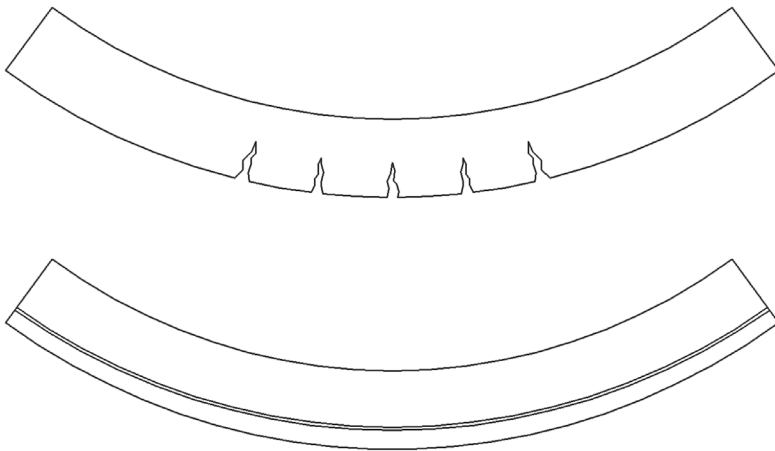
Las vigas tienen la peculiaridad de transmitir las cargas verticales en dirección horizontal.

por la flexión, pero en éste caso los esfuerzos de tracción y compresión se encuentran al revés, la tracción está en las fibras superiores y la compresión en las inferiores.

El material idóneo para resistir los esfuerzos de flexión es el concreto armado, ya que al tener compresión y tracción, es necesario utilizar ambos materiales: concreto y acero. Como lo hemos visto en los ejemplos anteriores, el concreto resistirá los esfuerzos de compresión y el acero los de tracción. Es por esto que es necesario saber dónde está actuando cada esfuerzo para colocar el acero en el lugar indicado y resista a la tracción correctamente.



Flexión en un volado, debido a las cargas verticales.



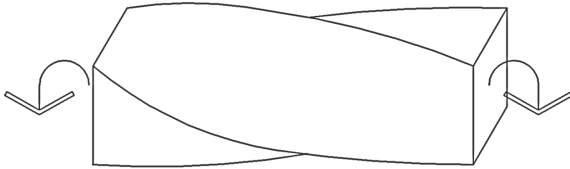
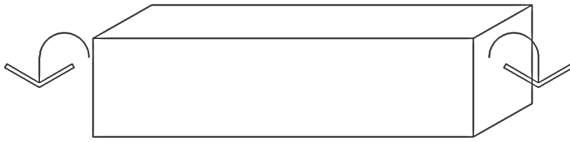
Diferencia de la deformación entre el concreto simple y el concreto armado. El acero se coloca donde el concreto se agrieta.

torsión

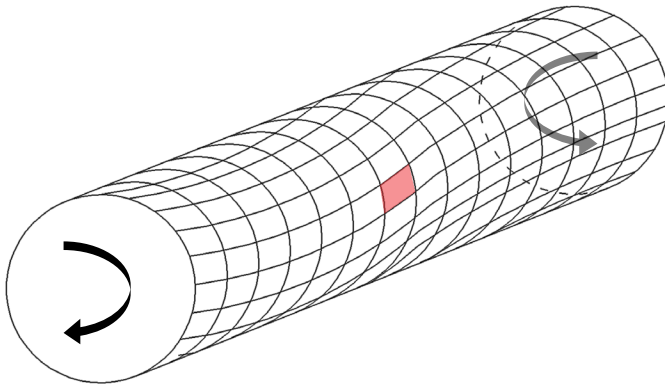
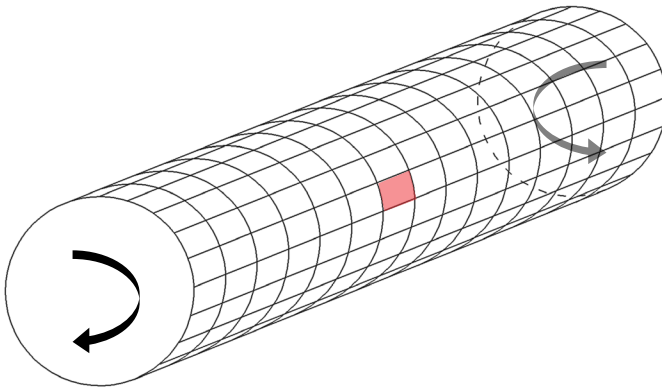
El efecto de torsión tiende a desplazar las partículas al aplicarle dos fuerzas de sentido contrario, característica del esfuerzo cortante; es por esto que la torsión se considera como un efecto del esfuerzo de corte, pero con distintas deformaciones.

En el caso del cortante se le aplica un par de fuerzas simples, paralelas, pero de sentido contrario, para que ocurra; en el caso de la torsión también son de sentido contrario, pero con la diferencia de que en lugar de fuerzas son momentos.

La manera más fácil de entender como ocurre la torsión es suponiendo una barra de sección circular y en su superficie se dibuja una cuadrícula con líneas rectas longitudinalmente y circunferencias transversalmente. Al hacer girar ambas caras en dirección contraria los cuadros dibujados se convertirán en paralelogramos (mismos que aparecen en el esfuerzo de corte).



Esfuerzo torsionante

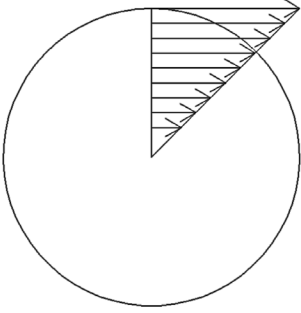


Resultado de aplicarle momentos de sentido contrario en las caras de un tubo.

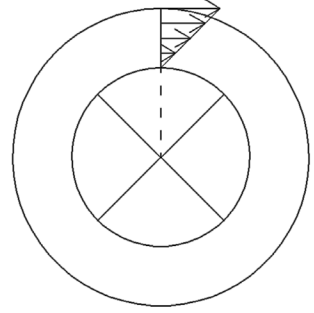
Para resistir los efectos producidos por la torsión se requieren materiales dúctiles, que se puedan deformar fácilmente, para que al girar, éstos permitan el giro y no se rompan sin previo aviso. Así como con la tracción, el material ideal para soportar estos esfuerzos es el acero. Todavía más específicamente, las secciones de acero huecas del centro resisten mucho más que las secciones sólidas. Esto se debe a que el esfuerzo aumenta proporcionalmente a la distancia de las fibras, en el caso de la barra sólida es desde el centroide de la figura y en el de la barra hueca desde el espesor (porque sólo entonces empieza el elemento a tener fibras).

El ejemplo más común de la utilización de la torsión es con un trapeador de pisos. Se le aplica un esfuerzo de torsión para que la presión generada expulse el agua; lo mismo le ocurre a las estructuras, el efecto de torsión trata de expulsar las partículas de acero.

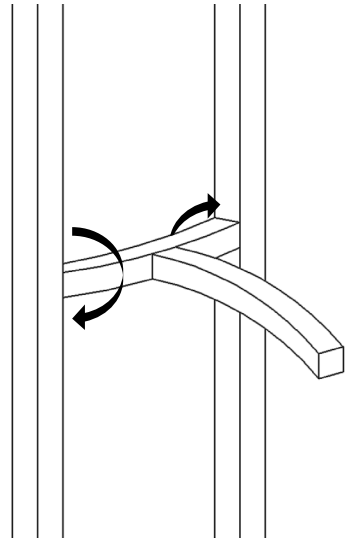
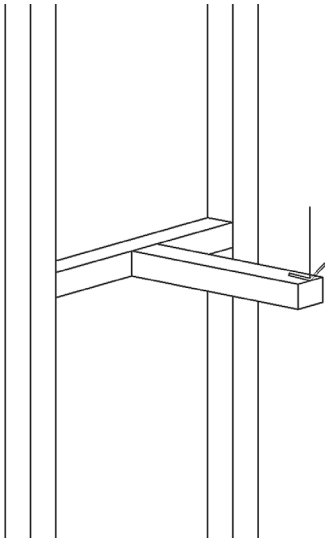
tubo sólido



tubo hueco del centro



Esfuerzo máximo generado por la aplicación de un momento torsionante en las caras de un tubo



Los elementos en volado generan un esfuerzo a torsión bastante considerable en las vigas que los están soportando

RESISTENCIA

La resistencia es la capacidad de la estructura en su totalidad, así como de sus elementos, para no fallar al estar sometidas a cualquier tipo de carga posible.

Para conocer la resistencia que debe tener la construcción se debe hacer un cálculo estimado de las posibles cargas que la puedan afectar (sismo, viento, temperatura, etc.) y considerar la más desfavorable. Una vez determinada esta carga es necesario agregar un factor de seguridad a este cálculo por la incertidumbre que surge a partir de la inexactitud de los cálculos. A éste se le conoce como carga de diseño y es el que se compara con la resistencia del elemento analizado. La resistencia que tendrán los elementos estructurales depende de las dimensiones de éstos y de las propiedades del material con que estén contruidos.

El cálculo de las cargas y la resistencia se estiman de acuerdo a los códigos y reglamentos de cada país. En ellos vienen las propiedades de los materiales más

comúnes, las consideraciones que se deben tomar para las cargas accidentales, los pesos específicos, los factores de seguridad, entre otras cosas.

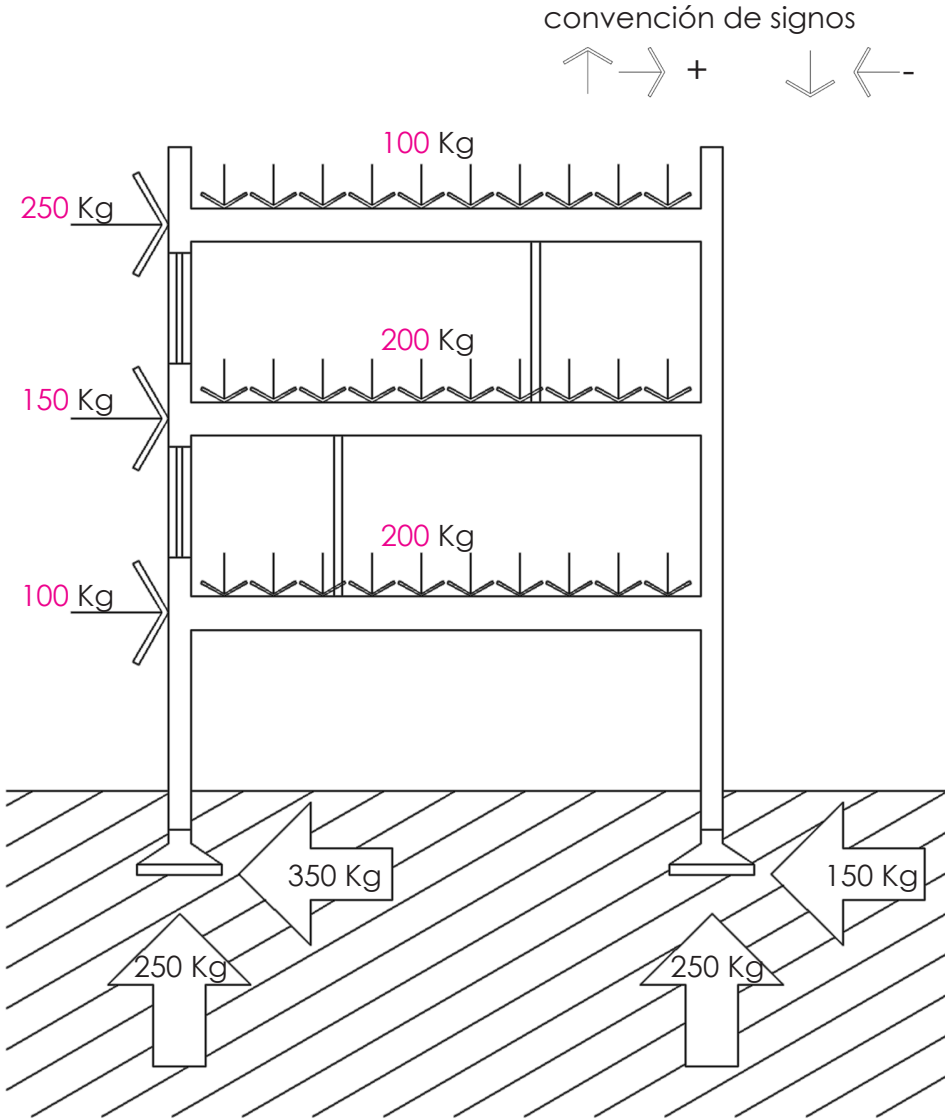
Hoy en día todos estos cálculos ya se pueden solucionar con programas especializados de computadora, donde se mete el modelo de la estructura y las cargas que lo pueden afectar y éste determina si la estructura propuesta es resistente ante las posibles cargas o hay que modificar las dimensiones de la estructura. A pesar de las facilidades con las que contamos en nuestros días, es importante saber de donde provienen las fuerzas y que tipo de esfuerzos de pueden presentar en las estructuras para saber interpretar correctamente los resultados obtenidos de los programas.

EQUILIBRIO

El equilibrio obedece a la tercera ley de Newton que dice que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el segundo ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido contrario, es decir, que a toda acción corresponderá una reacción. Este fenómeno asegura que la estructura no se va a mover tanto en conjunto, como en cada una de sus partes por separado. No se puede imponer tan estrictamente la exigencia de que todo sea completamente inmóvil porque es inevitable, e incluso necesario, cierto grado, aunque mínimo, de movimiento.

Para que el equilibrio se de es necesario que la suma de las fuerzas externas y los esfuerzos internos sean igual a cero, es decir, que éste resista la fuerza provocada en la dirección en que se le está aplicando.

El primer paso para poder hacer el análisis estructural es el descifrar la magnitud de la fuerza externa y en que dirección está afectando el edificio, para



Estructura en equilibrio vertical y horizontalmente

$$\text{Fuerzas verticales: } 250+250-100-200-200 = 0$$

$$\text{Fuerzas horizontales: } 250+150+100-350-150 = 0$$

proponer unas dimensiones que resistan esa fuerza.

Existe cierta incertidumbre acerca de la magnitud y la dirección de la fuerza que se estará aplicando al edificio, principalmente, cuando se trata de fuerzas accidentales como viento, sismo o temperatura. Es por esto que se necesitan hacer varias suposiciones de los valores de las fuerzas, así como de las direcciones en las que pueden afectar y tomar el caso más desfavorable. La única carga de la cual se conoce su valor real es la carga muerta, ya que se proponen dimensiones de la estructura y con eso se puede calcular que fuerzas van a generar.

Las estructuras que se puedan resolver con el principio de equilibrio se les llama *estructuras isostáticas*, pero aquellas que tengan más incógnitas que ecuaciones propuestas por la 3ª ley de Newton son las *estructuras hiperestáticas*. Todos los edificios que se construyen en nuestra época son estructuras hiperestáticas porque tienen más de dos condiciones de apoyo y todos están empotrados al suelo.

ecuaciones de equilibrio (Newton)

$$\sum F_x = 0$$

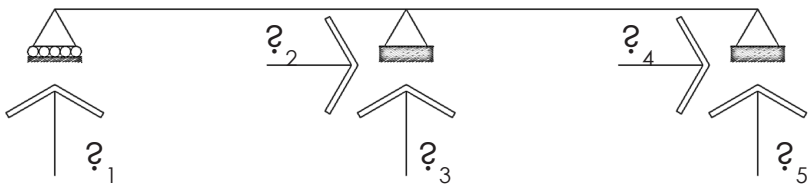
$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M = 0$$

3 incógnitas = 3 ecuaciones; estructura isostática



5 incógnitas \neq 3 ecuaciones; estructura hiperestática



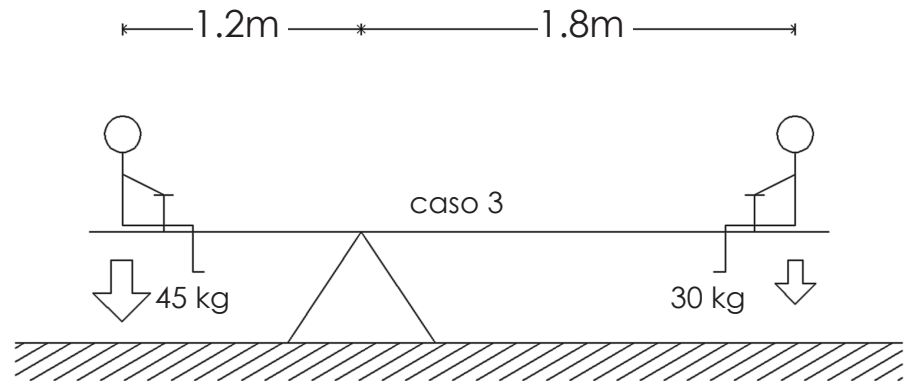
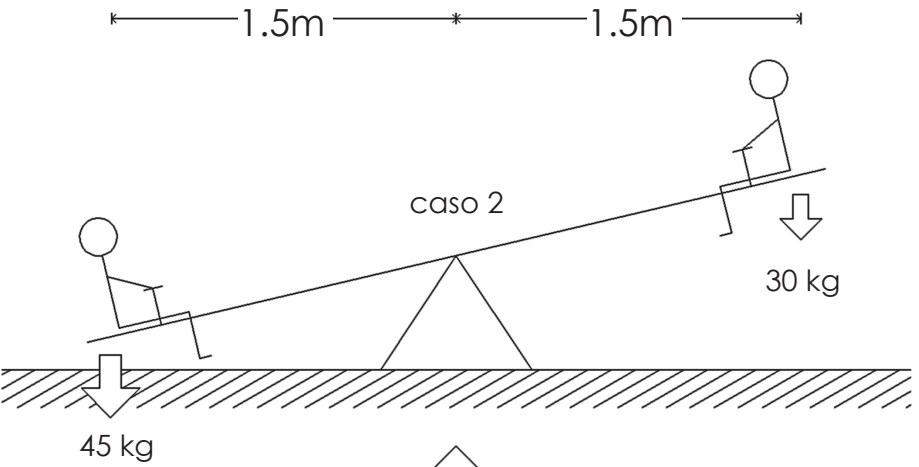
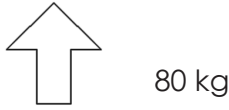
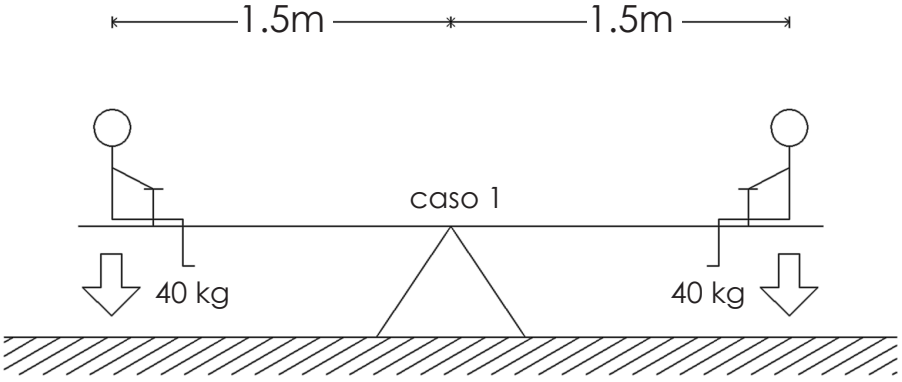
Para entender más fácilmente como funciona el equilibrio podemos suponer el siguiente ejemplo.

Si dos niños se suben a un sube y baja, el cuál tiene el apoyo justo al centro y los niños pesan lo mismo, el sube y baja se quedará estático, esto quiere decir que el juego está en equilibrio. [caso 1]

Si un niño pesa más que el otro el sube y baja se inclinará en función del niño más pesado. Aunque la sumatoria de las fuerzas verticales sea igual a cero, se genera un giro o momento diferente de cero y por ésto el equilibrio se rompe. [caso 2]

Aún si un niño pesa más que el otro se puede corregir el desequilibrio por el momento si el brazo del sube y baja del lado del niño más pesado es más corto, y por lo tanto, el del niño más ligero es más largo. [caso 3]

CAPÍTULO 2



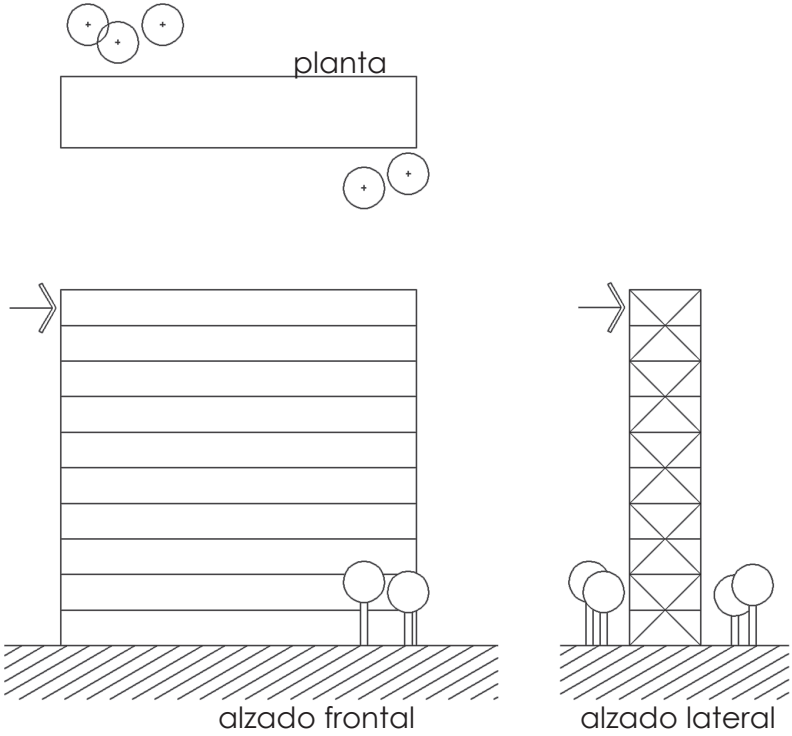
Hablando en términos de arquitectura el equilibrio se traduce en estabilidad, la cuál es la capacidad de un edificio de no moverse en su totalidad.

Si un edificio, tras una acción natural como un huracán, se voltea completamente, significa que tiene inestabilidad rotatoria, o sea, que falla al giro. Este problema surge principalmente en edificios altos y angostos. En el caso de que un edificio tenga dos caras muy largas y dos muy angostas la inestabilidad por giro ocurre perpendicularmente a alguna de las caras cortas, por lo tanto es necesario reforzarlas.

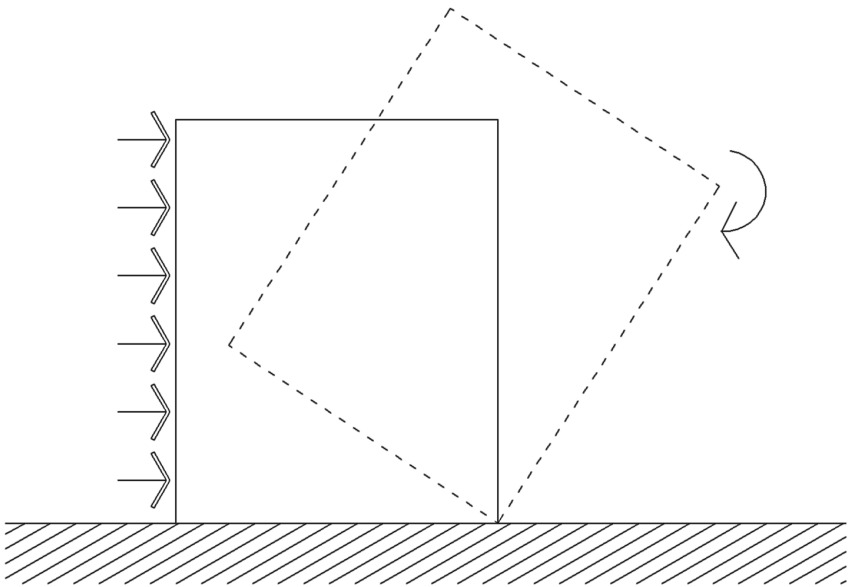
La inestabilidad rotatoria también ocurre cuando el edificio está apoyado en suelos con resistencias diferentes, como por ejemplo la Torre de Pisa. Es muy importante, especialmente en la Ciudad de México, hacer un buen estudio de suelo para conocer todas las condiciones en que se va a apoyar la construcción.

La inestabilidad también se puede dar por el peso del edificio en relación a la resistencia del terreno. Si

CAPÍTULO 2



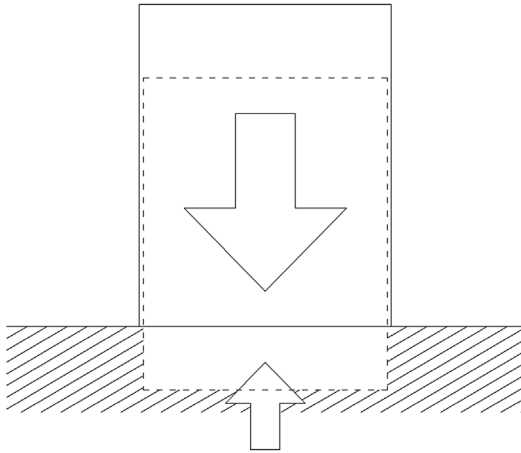
Refuerzo con elementos diagonales (contravientos) en las caras angostas para impedir el volteo.



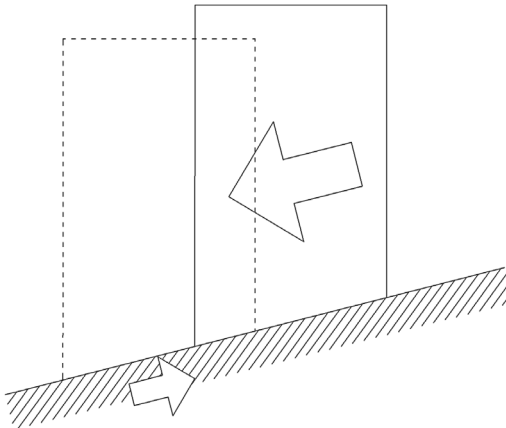
Efectos de la inestabilidad rotatoria, ya sea por efectos del viento o diferencias en la resistencia del suelo.

el terreno es muy blando y el edificio muy pesado, éste se puede hundir o se puede resbalar (si está sobre una pendiente). A estos efectos se les conoce como asentamiento y deslizamiento, respectivamente. Si, al contrario, el edificio es muy ligero y el suelo muy resistente (es un caso más extraño, pero puede llegar a presentarse) el edificio puede salir volando.

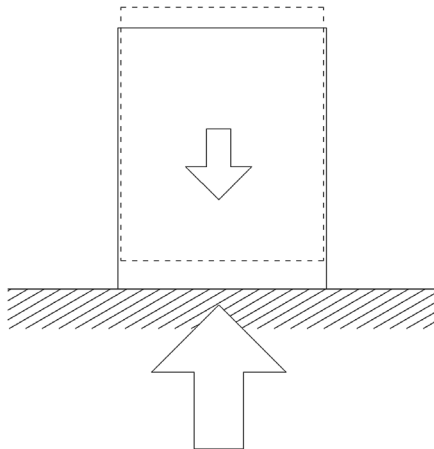
Es importante por lo menos tener conciencia de las condiciones del suelo así como del edificio por construir, para evitar que estos problemas se presenten, ya que pueden representar una inversión mucho mayor a la que se tenía estimada.



Asentamiento - La resistencia del terreno plano es menor que el peso del edificio



Deslizamiento - La resistencia del terreno inclinado es menor que el peso del edificio



Desplazamiento vertical - La resistencia del terreno es mayor que el peso del edificio.

CAPÍTULO 3: ELEMENTOS Y SISTEMAS ESTRUCTURALES

Todos los edificios se sostienen gracias al conjunto de elementos estructurales que lo conforman, y estos a su vez, son un sistema estructural.

La palabra sistema viene del latín *systema* y puede definirse como un módulo de elementos ordenados e interrelacionados que interactúan entre sí y que tienen determinado objetivo.¹ Los sistemas pueden utilizarse para definir un conjunto de conceptos o de objetos reales. En el caso de las estructuras nos enfocaremos únicamente en los sistemas reales, ya que estamos hablando de objetos tangibles y no de conceptos. En el caso de un sistema real, los componentes interactúan de forma que las propiedades del conjunto no pueden deducirse, completamente, de las propiedades de las partes. Es por esta razón que es necesario analizar los elementos por separado, pero sin perder de vista que forman parte de un todo.

1. véase: <http://definicion.de/sistema/> - lema.rae.es/drae/?val=sistema

La palabra estructura viene del latín *structūra* y es la disposición y orden de las partes dentro de un todo. En el campo de la ingeniería y la arquitectura, es todo elemento construido con el fin específico de soportar las acciones exteriores, sin perder las condiciones internas de funcionalidad para las que está concebido.²

En base a estas definiciones podemos concluir que un sistema estructural es un conjunto de elementos en el espacio dispuestos de tal modo que puedan soportar las acciones de las cargas exteriores.

En este capítulo analizaremos, primero, algunos de los elementos estructurales más comunes dentro del diseño arquitectónico y posteriormente composiciones de esos elementos, formando sistemas estructurales completos.

2. véase: <http://definicion.de/estructura/> - lema.rae.es/drae/?val=estructura

muros

El muro tiene historia desde que los pueblos comenzaron a grabar sus memorias en las enormes cuevas naturales donde se refugiaban de los peligros que el exterior ofrecía.

Cuando el hombre evoluciona, su manera de habitar también lo hace, y este refugio natural comienza a transformarse en pequeñas construcciones, creadas por el hombre, y grandes muros ciclóeos impenetrables, protegiéndose de los invasores que recorrían las grandes ciudades de la antigüedad.

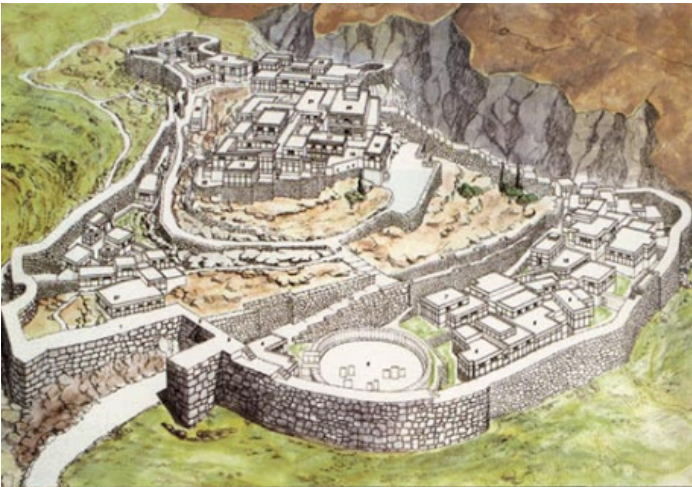
El muro clásico es un elemento continuo, de cierto espesor y masa, que resiste a la compresión simple, sin tracción, a lo que se recomienda que se construya de los materiales pétreos como son la piedra, el ladrillo de barro o concreto. Materiales como el acero o la madera tienen una gran resistencia a la flexión y se pueden pandear muy fácilmente, por lo que no son materiales adecuados para este tipo de estructuras.

CAPÍTULO 3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Fresco Neolítico en las cuevas de Tassili, al Sureste de Argelia, África.
8000 A.C. aproximadamente



fuelle: histartes.blogspot.mx

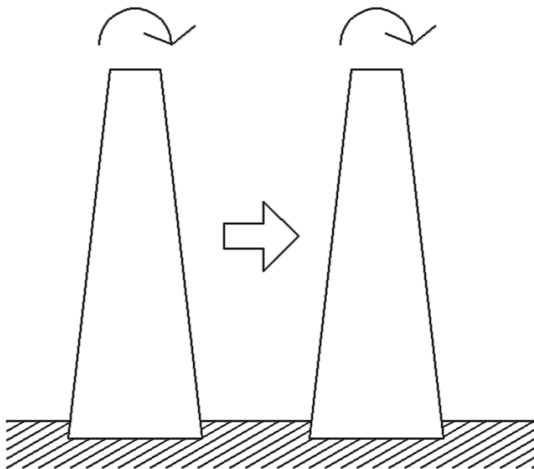
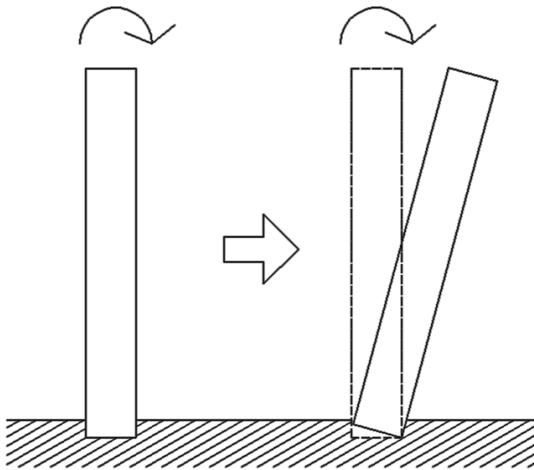


La entrada a la ciudad tenía una escultura tallada en piedra de un par de leones alados, apoyada sobre un dintel que abría el muro ciclópeo. Se le conoce como “La Puerta de los Leones”

fuelle: arteinternacional.blogspot.mx

Los muros tienen un gran problema para soportar la flexión provocada por los empujes laterales y puede ocurrir que se fracture o incluso se vuelque. Para evitar estas fallas se requiere cierto espesor y cierto peso buscando que el par de fuerzas generadas por el peso o el espesor sea mayor que el inducido por las fuerzas laterales. El momento de volteo generado ocurre en el extremo inferior del muro, entonces la lógica estructural sugiere que el espesor vaya aumentando a manera de talud, teniendo lo más ancho en la base. En construcciones actuales es muy complejo lograr esta sección por las exigencias estéticas y funcionales y la solución que se encontró fue utilizar materiales muy pesados, aunque no resistentes a la tracción.

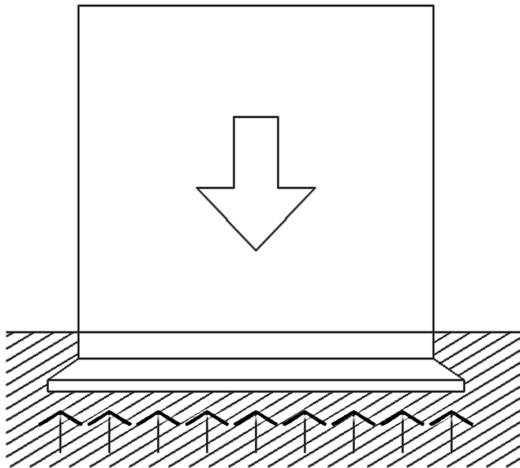
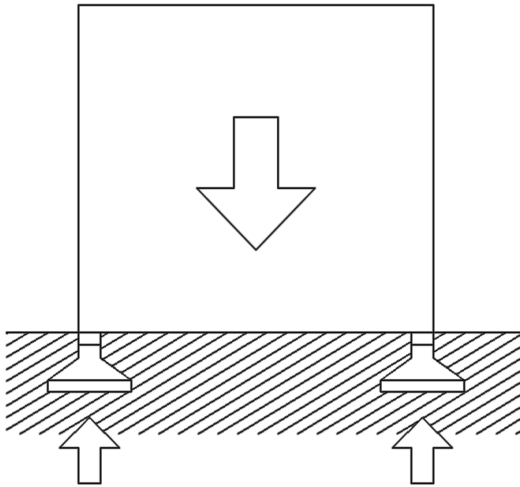
El cimiento ideal para transmitir las cargas de los muros, en suelos con estratos resistentes cerca del desplante, es la zapata corrida, ya que distribuye la carga a todo lo largo del muro y en un área mayor, en comparación con las zapatas aisladas. Si la construcción se desplanta en una zona de suelos blandos y arcillosos se pueden colocar pilotes,



Comparación entre el volteo de un muro esbelto sin refuerzo horizontal y un muro talud.

a lo largo del muro, para que anclen la estructura al estrato resistente. Otra solución a la que se recurre comúnmente es cavar un cajón de cimentación, la mayoría de las veces aprovechado de estacionamiento, y, si hace falta, poner pilotes hasta el suelo duro.

Aparte de los muros estructurales existen los muros cuya función principal es dividir, puede además cumplir con funciones específicas como impermeabilizar, térmica o acústica.



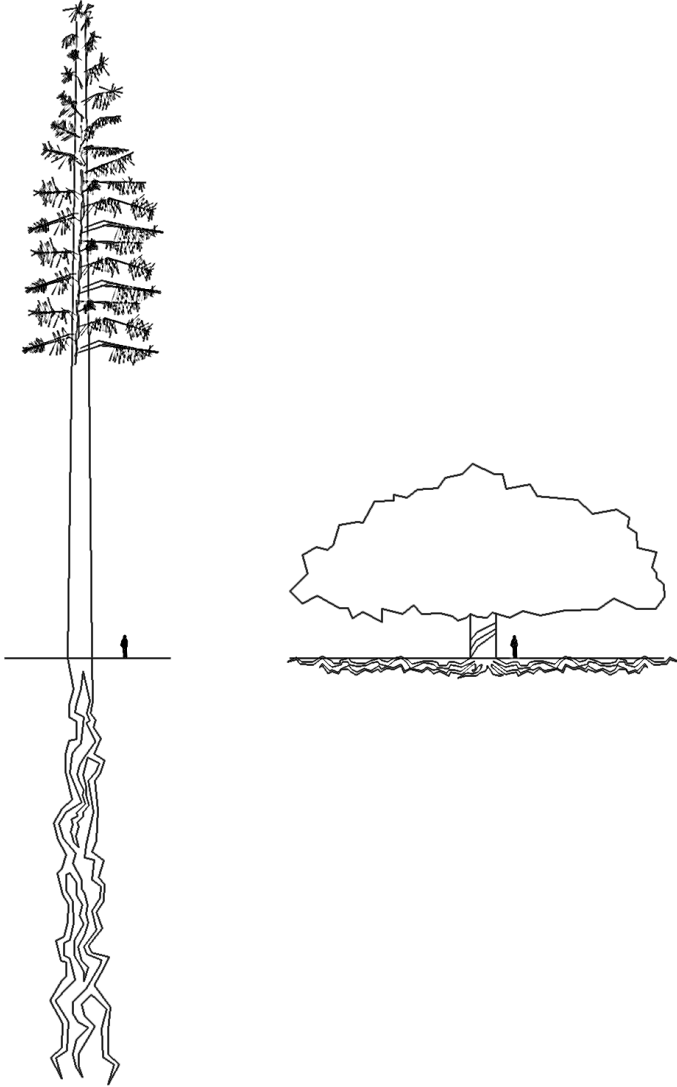
Comparación de la distribución de la carga sobre la tierra entre zapatas aisladas y una zapata corrida.

columnas

“La primer columna seguramente fue de madera; quizá lo fue sin dejar de ser árbol...”³ La aseveración que hace el ingeniero Torroja es muy acertada, ya que si entendemos cómo funciona la naturaleza de un árbol es mucho más simple comprender cómo tendrá que comportarse una columna. Las raíces de los árboles (cimentación) son tan grandes como lo son las copas (peso propio). Los árboles como el roble llegan a tener una copa muy grande y muy espesa, pero no muy alta (hasta 15 m), sino más bien horizontal, por eso sus raíces llegan a tener de profundidad 1.5 m, pero tiene raíces laterales del orden del radio de la copa, para poder soportar todo ese peso. Otro tipo de árbol es el eucalipto, a diferencia del roble, este crece verticalmente (50m de altura) y no tiene una fronda muy espesa, por lo que las raíces crecen verticalmente dentro de la tierra.⁴ Así como el árbol, la columna es un símbolo de fortaleza ya que su misión es soportar.

3. véase: Torroja Miret, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. pp. 81

4. www.maderas.com (roble y eucalipto)



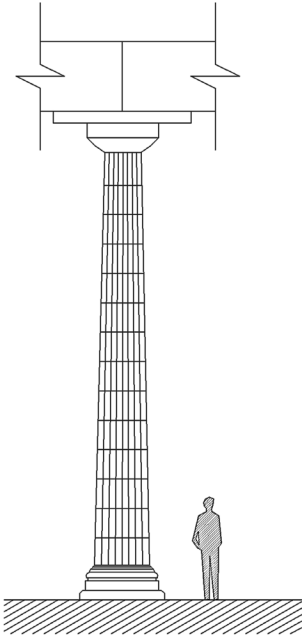
Comparación de la altura, copa y raíces de un pino y un roble

La columna clásica está construida con piedra y su tronco tiene una forma cónica ensanchándose en la parte inferior, por la lógica de la transmisión del peso propio hacia la tierra.

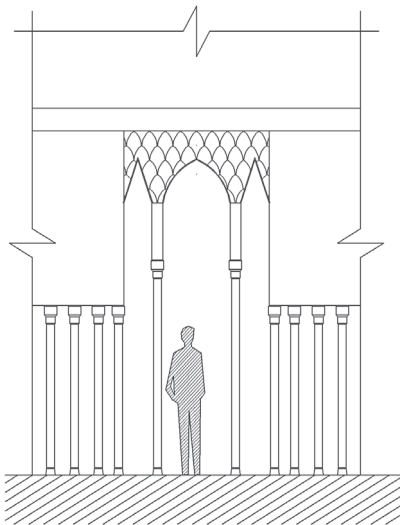
En el arte árabe se aligera la carga más de lo mecánicamente aceptable, pero se sigue conservando la columna de piedra. El muro decorativo que soportan las columnas árabes descarga fuera del centro gravitatorio de éstas, por la disminuida sección, generando una excentricidad y así un esfuerzo de flexo-compresión, pudiendo provocar graves pandeos. La piedra se convierte en un material inadecuado en estos casos, ya que no puede soportar los efectos de flexión provocados por una mala utilización de las secciones.

En la época moderna se ha logrado evitar este fenómeno gracias a la, relativamente reciente, utilización del acero como material estructural.

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores el acero es un material que resiste los esfuerzos



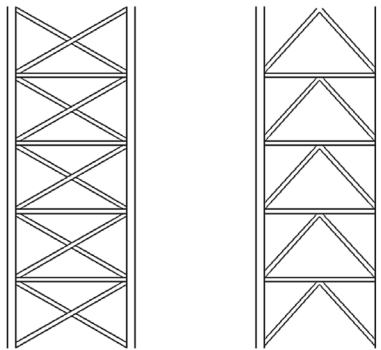
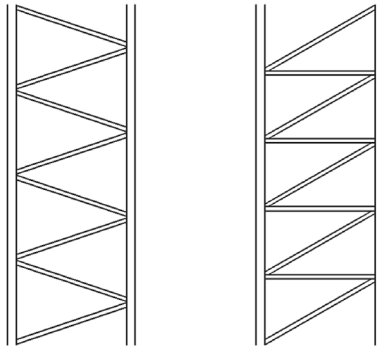
Ensanchamiento cónico en la base de la columna clásica



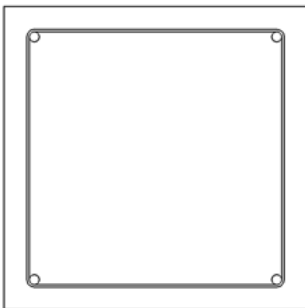
Esbellez observada en las columnas de arquitectura árabe [Alhambra, Granada, L. Torres Balbás]

de tracción, compresión, flexo-compresión, flexión y cortante; aunque en el cálculo no siempre se tomen en cuenta todos estos esfuerzos. En una columna es importante aceptar la posibilidad de que existen para poder transmitirlos, en un momento dado. El problema que ocurre con este material es que al permitir secciones tan esbeltas, facilita mucho más el pandeo, sin que se pueda aprovechar, completamente, la resistencia a la compresión. Una solución para evitar el pandeo en secciones esbeltas es una columna tipo celosía, la cuál se compone de varios elementos de acero que generan en conjunto una sección mucho mayor, aumentando de ese modo el momento de inercia. Esta celosía está formada por dos o más elementos verticales que se unen por medio de barras acomodadas en triángulos para aportandar mayor rigidez a la sección. En acero permite que las secciones pueden ser tanto sólidas como huecas.

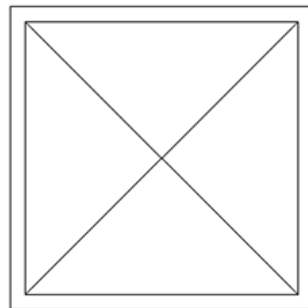
El concreto armado también es un material apto para trabajar bajo los efectos que se generan en una columna. Este material como su nombre lo dice



Diseño de algunos tipos de columnas compuestas o tipo celosía. Este tipo de estructuras funcionan mejor si las fuerzas coinciden en las barras horizontales y no en las diagonales y la distribución de estas es simétrica.



sección cuadrada de
concreto reforzado
(sólida)

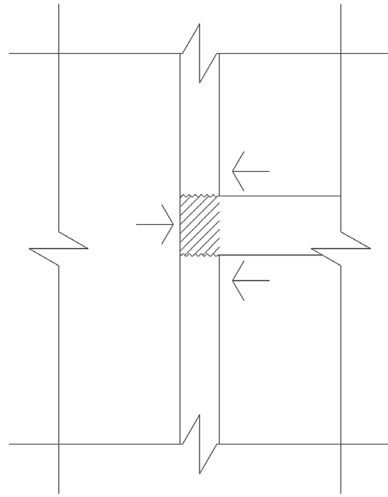
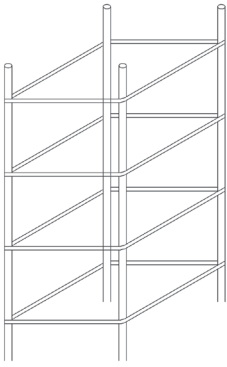


sección cuadrada de
acero
(hueca)

es la conjunción de concreto con un armado de acero ahogado. El concreto trabaja bajo las propiedades de la piedra, por ser un material pétreo que resiste únicamente la compresión, y el acero resiste los efectos provocados por el pandeo. El armado longitudinal le aporta resistencia a compresión al concreto y el transversal impide la rotura del concreto por efectos de flexión y cortante generado en las uniones con las vigas. Estrictamente hablando, el armado que realmente se requiere es el transversal, pero no puede trabajar de manera correcta si no tiene de que sostenerse, y esa es la función principal del armado longitudinal. A diferencia del acero el concreto sólo puede tener secciones sólidas, por la dificultad constructiva.

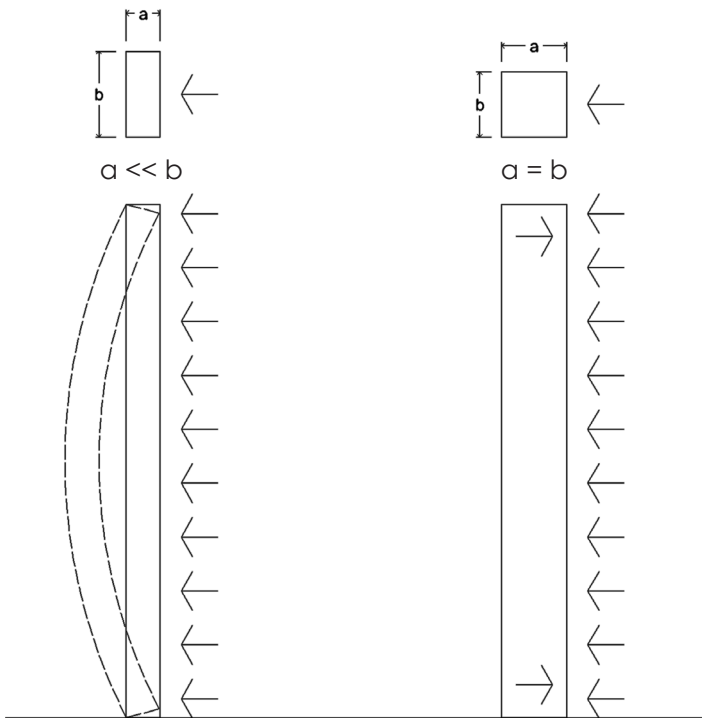
Dado que las columnas pueden verse afectadas por fuerzas en cualquier dirección, la sección circular es la ideal, ya que es simétrica con respecto a todos sus ejes, pero es muy difícil de construir. Es por esto que la sección más apta es la rectangular, tratando de que sus lados sean lo más parecido posible, para no desfavorecer alguna dirección.

CAPÍTULO 3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES



Armado de acero que deberá ir ahogado en la columna de concreto

La falla más común por cortante es en la unión entre viga y columna, por eso se debe de continuar el armado a todo lo largo, sin detenerse en las vigas



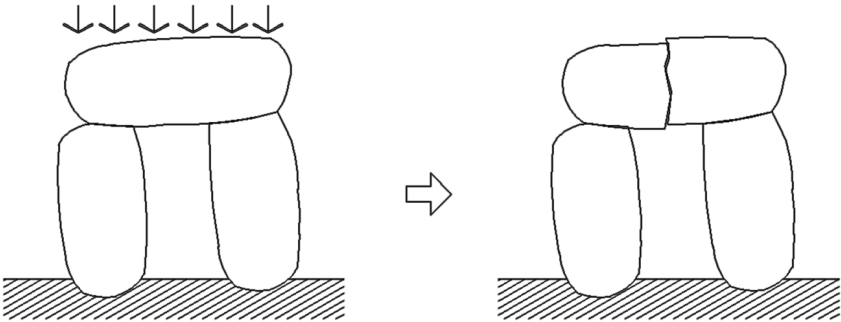
Comparación entre una columna con un lado (b) más grande que otro (a) y otra con ambos lados iguales

vigas

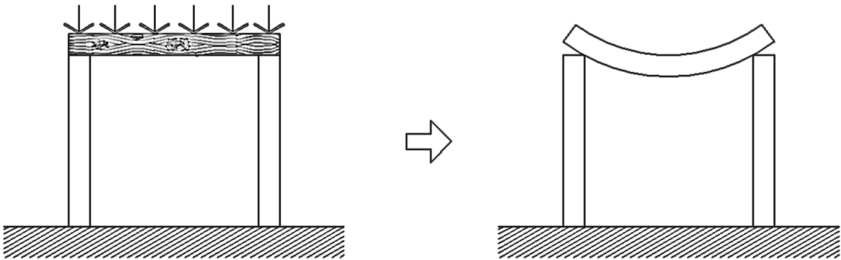
Podemos suponer que la primera viga fue un tronco, la segunda un monolito de piedra sin pulir y la tercera un sillar, pero se necesitaron muchos años de experiencia y meditación para llegar a conocer las vigas como son actualmente.

En la antigüedad la manera de calcular los claros y los peraltes de las vigas era con experimentos a base de prueba y error, y, al ser construidas en piedra, no se podía observar cómo se deformaban por la poca capacidad de deflexión que esta posee. Hoy en día se construye con materiales mucho más bondadosos para los efectos de flexión como el acero o la madera, en los cuáles sí se puede observar cómo se deforma la estructura.

Las vigas, como ya se había estudiado anteriormente, sufren de esfuerzos de flexión, los cuales son nulos en la fibra correspondiente al eje neutro de la viga y máximos en las fibras de los extremos tanto superior como inferior. Esto dio pie a experimentos con



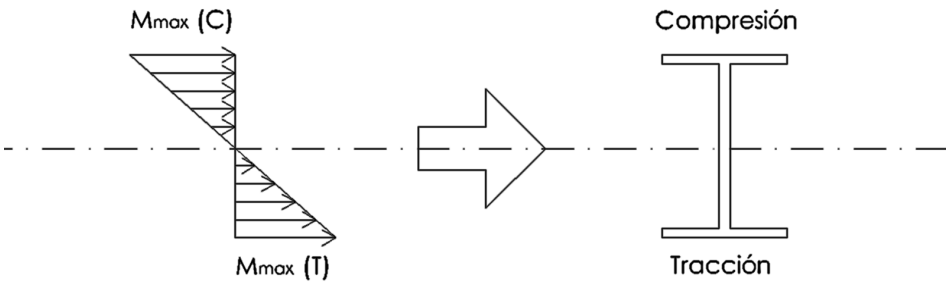
Viga de piedra - no demuestra flexión al aplicarse la carga y por lo tanto cuando se supera la resistencia, la falla es frágil y ocurre subitamente.



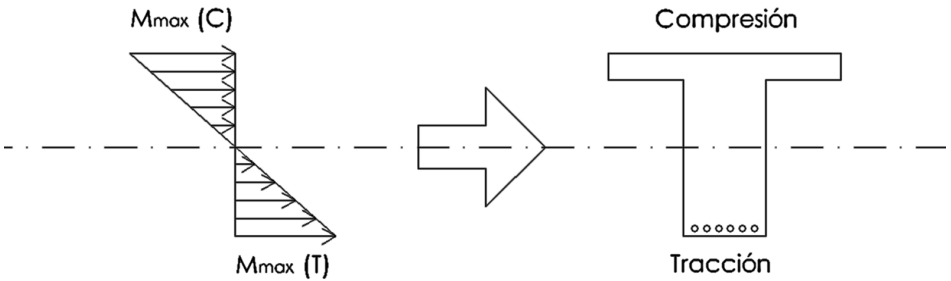
Viga de madera - se flexiona cuando las cargas superan la resistencia elástica, pero tiene una capacidad mucho mayor en la zona inelástica; por lo tanto la falla es dúctil y permite el correcto desalojo de los usuarios.

diferentes secciones hasta concluir que la más adecuada era la sección “I”, la cual en los extremos tiene unas cabezas, llamadas pretilas, que soportan los esfuerzos de compresión y tracción respectivamente y el alma une la pieza y se encarga de los esfuerzos de cortante. Este tipo de secciones son muy complicadas de construir en concreto o madera, es por ello que únicamente existen en acero.

En el caso del concreto armado, la sección que sustituye a esta última es la sección “T”, donde la cabeza, en la parte superior, resiste la compresión y las varillas en la parte inferior (sin necesidad de ensanchamiento) la tracción. Las cargas y reacciones verticales generan esfuerzos de cortante sobre la viga, esto produce grietas sobre ésta a 45° aproximadamente; para evitar esta falla frágil, soportada por el alma, es necesario colocar estribos a no más de 30 cm, cumpliendo con las especificaciones encontradas en las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.



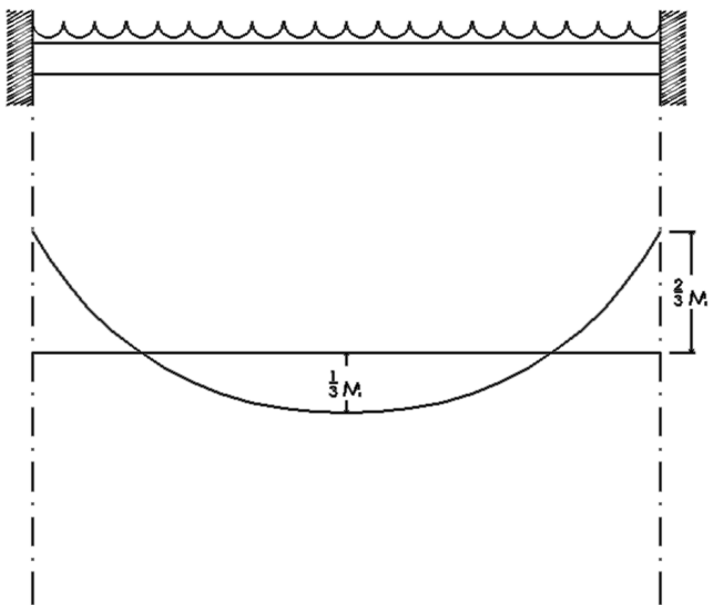
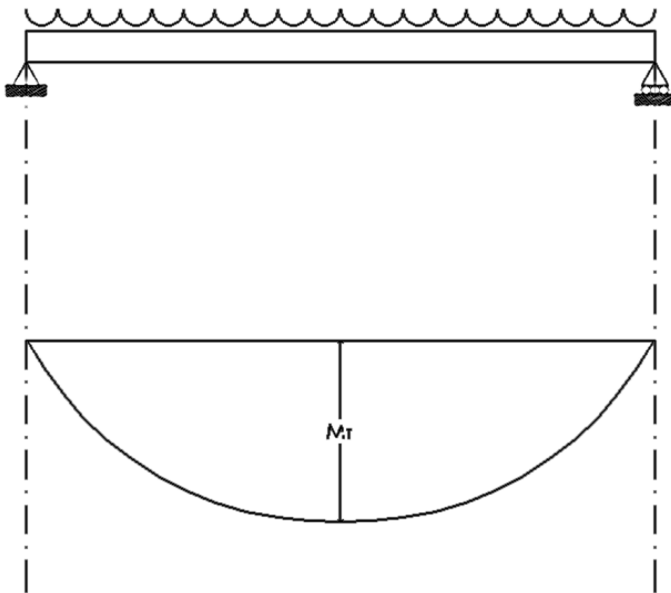
A partir de la gráfica de esfuerzos se obtiene una viga de acero de sección "I" la cuál toma los esfuerzos máximos únicamente en los patines.



A partir de la gráfica de esfuerzos se obtiene una viga de concreto armado de sección "T" la cuál toma los esfuerzos máximos de compresión con el patín superior y los de tracción con el acero de refuerzo.

El momento flexionante de una viga simplemente apoyada se ve disminuido al empotrarla en ambos extremos; cuando se utiliza un sistema de viga continua ocurre el mismo principio. Para tener mayor uniformidad en los efectos sobre la viga se recomienda tener claros iguales, o lo más similar posible, así como tener una sección constante.

A pesar de que, matemáticamente hablando, es mucho más simple obtener los esfuerzos en una viga isostática (simplemente apoyada) funcionalmente es mucho mejor contar con soluciones hiperestáticas. Una de las razones, como ya se mencionó, es que como los momentos se ven reducidos el material necesario para soportar los esfuerzos es menor. También si alguno de los elementos falla los elementos contiguos comenzarán a trabajar más y no permitirá que la estructura se caiga. Esto resulta muy efectivo en la presencia de desastres naturales y existen vidas en riesgo, ya que este fenómeno permite el desalojo antes de colapsarse completamente.



Comparación de los momentos máximos entre una viga simplemente apoyada y una empotrada.

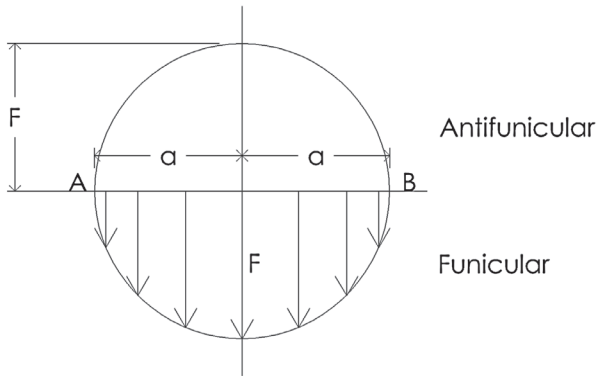
arcos

El arco es el mayor invento estructural del arte clásico por la capacidad de transmitir las fuerzas y el claro que puede librar utilizando materiales petreos.

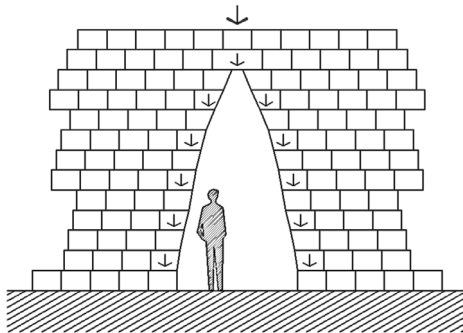
Construir un arco no es una acción simple, es necesario contrar con un equipo que pueda subir y sostener todas las dovelas hasta colocar clave; es entonces cuando este comenzará a transmitir las cargas, entrando en equilibrio.

Es importante conocer la diferencia entre un arco falso y uno verdadero; el primero está formado por pequeñas mensulas en voladizo, pero que funcionan bajo el mismo principio que las columnas, transmitiendo las cargas verticalmente. El segundo es una pieza curva, que pretende ser un antifunicular de las cargas, y que transmite, tanto el peso propio como las cargas soportadas, hasta sus dos apoyos, principalmente con esfuerzos de compresión.

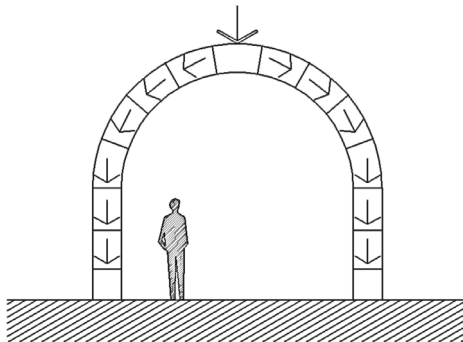
Existen, además, dos tipos de arcos: el arco enjutado



Curva funicular y antifunicular de las cargas



El arco falso transmite las cargas verticalmente, comportamiento similar al de las columnas

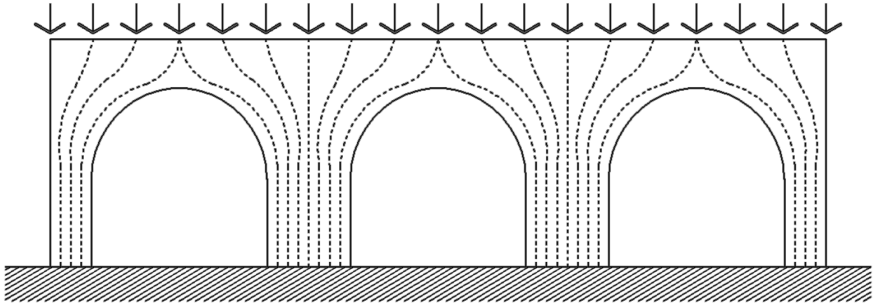


El arco verdadero transmite las cargas a lo largo de las dovelas, generando esfuerzos únicamente de compresión

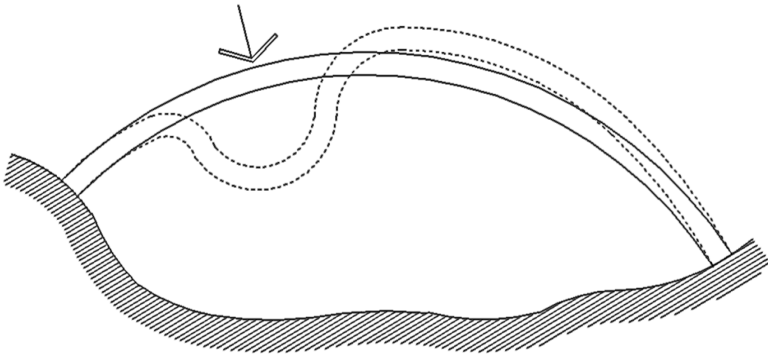
y el arco exento. El enjutado está constituido por la presencia de un tímpano macizo el cual, además de no permitir la flexión en el arco, le ayuda a transmitir las cargas a los extremos. Este tipo de arcos eran muy comunes en la arquitectura clásica y medieval.

El arco exento se caracteriza porque sólo existe la presencia del arco. La manera más simple para que esta pieza trabaje a compresión es teniendo cargas fijas, para que se pueda amorlar la directriz al funicular de esas cargas. Cuando la carga es variable es más complicado lograr esto, y cuando una zona recibe más carga que el resto se hunde, mientras que el otro extremo se levanta, generando esfuerzos de tracción.

En el caso de los arcos enjutados al ser elementos que trabajan fundamentalmente a compresión es ideal utilizar materiales petreos. En el caso de los exentos, al ser más propensos a efectos de flexión, es más conveniente utilizar concreto armado, e incluso acero para lograr claros mucho más grandes que soporten ambos esfuerzos.

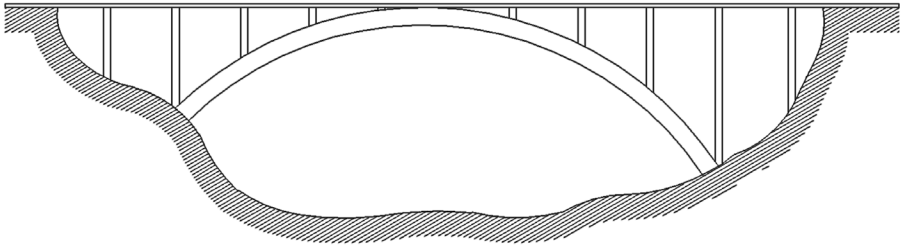


El muro alrededor del marco enjutado le ayuda a distribuir las cargas hasta el suelo otorgándole resistencia al arco.



El arco exento tiene muchas mayores probabilidades de deformarse con la aplicación de una carga asimétrica y así provocar esfuerzos de tracción no deseados.

Actualmente es muy poco común que los arcos exentos vayan solos, ya que se pueden pandear muy fácilmente y no se puede aprovechar el claro que podrían lograr. Por eso, principalmente en claros muy grandes, como en puentes, se ha implementado un sistema de tímpanos muy esbeltos, colocados a cierta distancia, acompañando el arco exento, para otorgarle mucho mayor rigidez y evitar volteos o pandeos.



Al arco exento se le puede otorgar mayor rigidez colocándole pequeños tirantes a lo largo del desarrollo y así otorgarle mayor resistencia.

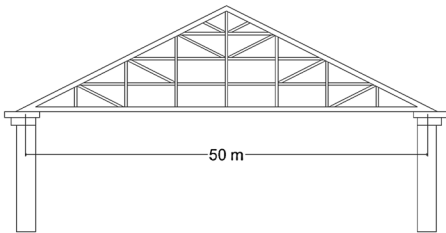
armaduras

Las armaduras son estructuras trianguladas, que comenzaron a tener mayor importancia, por sus grandes posibilidades, a partir del siglo XVIII, cuando la mecánica vectorial comenzó a utilizarse en técnicas de construcción. Se lograban construir claros de 50m aproximadamente, muy grandes para esa época, pero con madera; cuando el acero comenzó a abrirse paso entre las estructuras, se sustituyó casi completamente la madera.⁵

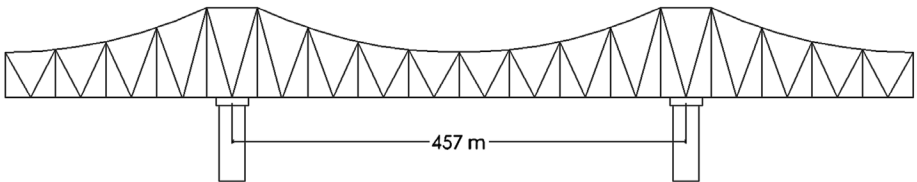
Las armaduras gozan de una disposición la cual las hace aptas para ser elementos que trabajen a flexión, buscando que el arriostramiento evite la flexión parcial o total de los elementos y del conjunto.

A diferencia de las vigas de alma llena de acero, las armaduras no permiten tal esbeltez del alma, pero sí una disminución de peso, y así claros mucho mayores. Un ejemplo es el puente de Moissac el cual tiene un claro de 457m, siendo que con vigas de

5. véase: Torroja Miret, Eduardo. *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004. pp. 139



Armadura de madera de 50m de claro, una distancia muy considerable para claros de madera. [Proyecto de picadero, Moscú, A. de Betancourt]

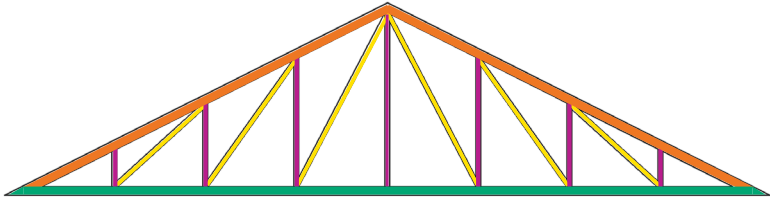


Las armaduras de acero pueden proporcionar claros mucho mayores a los de madera, por su capacidad de resistencia. [Puente de Moissac. J. Demaret]

alma llena se llega a claros no mayores de 300m, además de que se vuelve económicamente inaccesible.

Las armaduras se componen de pretilas macizas (al igual que las vigas de alma llena), pero el alma se descompone en barras, formando la tirangulación, las cuales se dividen en dos, las sometidas únicamente a esfuerzos de compresión y las sometidas únicamente a tracción, absorbiendo los efectos de cortante del alma. Las armaduras no sufren efectos de pandeo porque las cargas se aplican en elementos independientes, otorgándole rigidez.

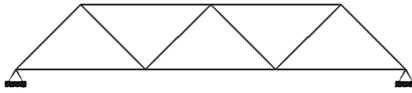
Están constituidas por 4 grupos de elementos: la cuerda superior y la cuerda inferior, que son los bordes de la armadura, los montantes, barras interiores verticales, y las diagonales, que también van al interior. Las triangulaciones entre las barras son, generalmente, formadas por ángulos agudos entre los 45° y los 60° . Si los ángulos son menores o mayores a este rango, la armadura puede presentar



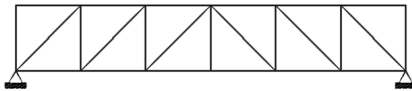
- Cuerdas inferior
- Cuerdas superior
- Diagonales
- Montantes

Componentes de una armadura

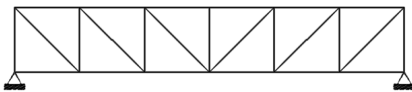
Tipos de armaduras:



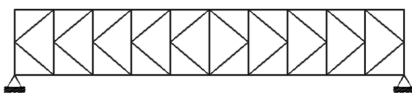
Viga Warren



Viga Howe



Viga Pratt



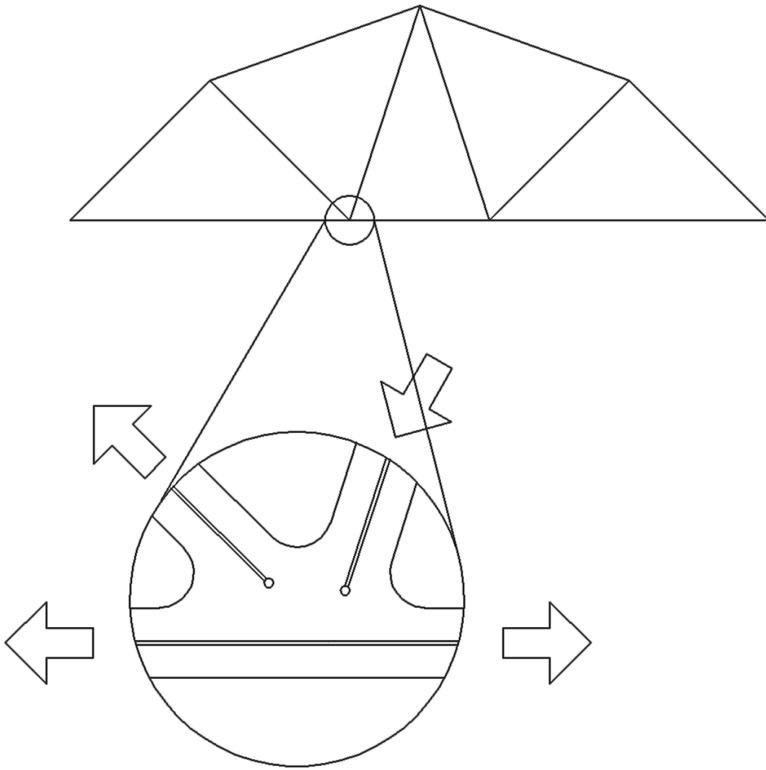
Viga en K

efectos de pandeo.

Para que una armadura funcione correctamente depende, prácticamente, de los enlaces. Las barras, coincidentes en un nodo, transmiten su esfuerzo axial a este equilibrando unas con otras, provocando así cambios bruscos en las direcciones tensionales. Cada nodo debe cumplir con las ecuaciones básicas del equilibrio ($\sum F_x = 0$; $\sum F_y = 0$; $\sum M = 0$) lo que hace que la obtención de los esfuerzos sea mucho más simple.

Es recomendable que las armaduras sean simétricas para que el comportamiento sea más adecuado, y los cálculos sean mucho más simplificados, ya que se comporta del mismo modo de un lado que de otro.

No es muy práctico hacer armaduras en concreto armado, por la complejidad de construcción y por la esbeltez que sugiere, es por ello que se utiliza casi siempre acero o madera.

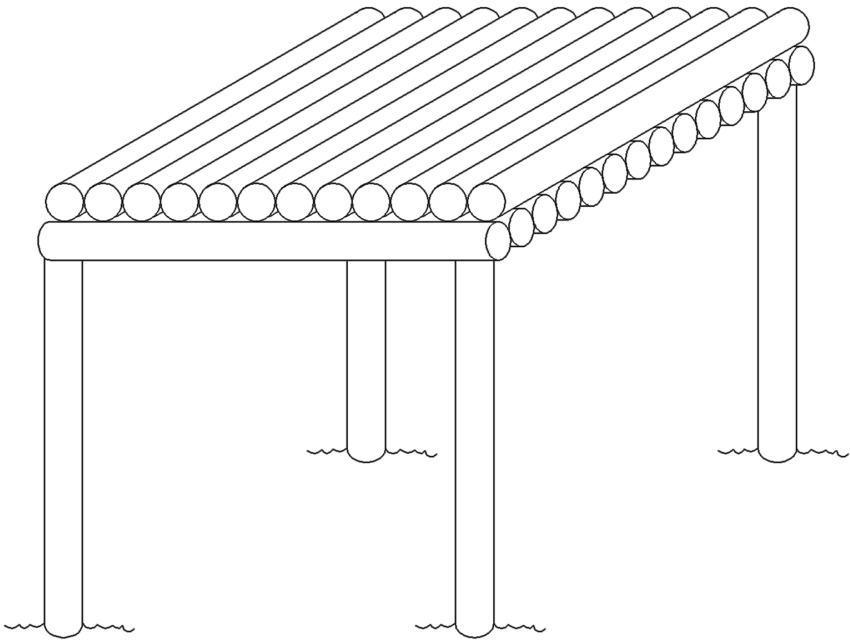


Para la unión de las barras en un mismo nudo, se soldan las barras a una placa de acero especial. Las flechas en las puntas muestran el equilibrio de las fuerzas en el nudo.

losa

Antes de comenzar con el estudio de losas es necesario conocer la diferencia entre estas y las cubiertas. Una cubierta es aquella que únicamente sirve, como su nombre lo dice, para cubrir. El único peso que resisten es el suyo propio y el de la lluvia, el viento o la nieve. Pueden ser horizontales o inclinadas pero por lo general son muy ligeras.

La losa surge de la necesidad de crecer verticalmente, por querer estar desplantados en un pequeño pedazo de tierra (ciudades). Las primeras losas que aparecen son de los palafitos, montando un tronco acostado sobre otro soportados por pilotes hincados en la tierra para ganarle espacio al mar. Posteriormente se ideó sacar tablas delgadas de esos troncos y machimbrarlas para poder obtener uniformidad en la distribución de cargas. Este sistema no permitía grandes claros por la esbeltez de la pieza y se colocaban largueros a una distancia muy corta unos de otros, apoyados sobre las vigas principales o empotrados a los muros o cerramientos.



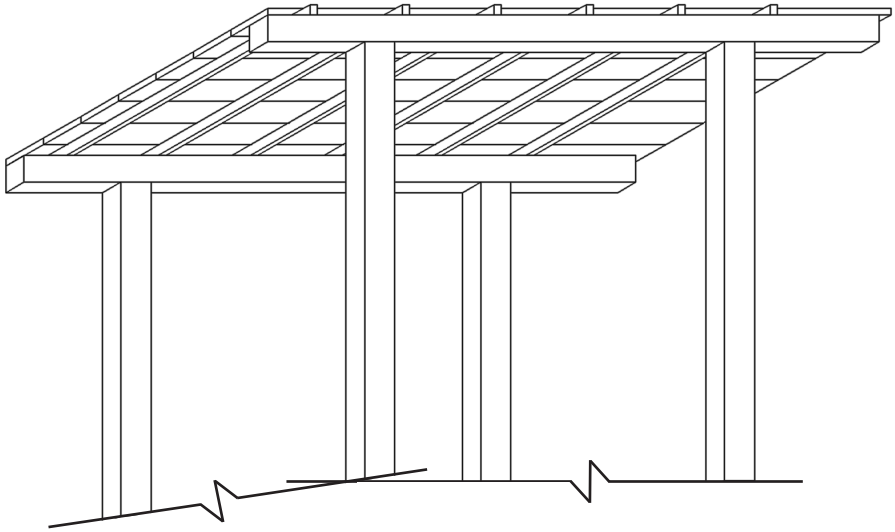
Los palafitos son un apilado de troncos de madera montados sobre otro apilado, traslapado, y a su vez montados sobre pilares de madera enterrados. Por lo general se encuentran enterrados en el fondo de cuerpos de agua.

Se trató de utilizar el hierro del mismo modo que la madera, con placas delgadas apoyadas sobre largueros, pero, además de ser mucho más costoso, su nivel de oxidación era muy alto y presentaba una gran flexibilidad, volviéndolo inadecuado para este sistema.

La utilización del concreto armado abrió camino a edificios con varios niveles de altura y en conjunto con los elevadores, que permitieron un rápido desplazamiento vertical, comenzaron a ganar importancia los rascacielos.

El concreto armado ofrece muchas más opciones y mucho más eficaces, de losas, que la madera o el acero, por ello es el material predilecto para este sistema.

Un sistema similar a los dos anteriores es el de vigueta y bovedilla, pero en concreto es mucho más sencillo de construir ya que únicamente requiere de moldes específicos para las piezas, sin tantos cortes ni soldaduras para sostenerse. La vigueta está

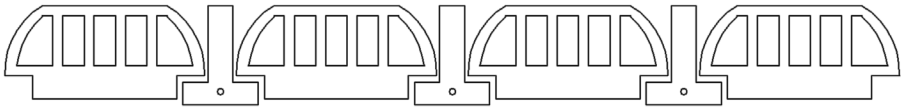


Los tabloncillos de madera delgados van montados sobre pequeños largueros apoyados en las vigas principales para evitar una flexión muy grande de los tabloncillos.

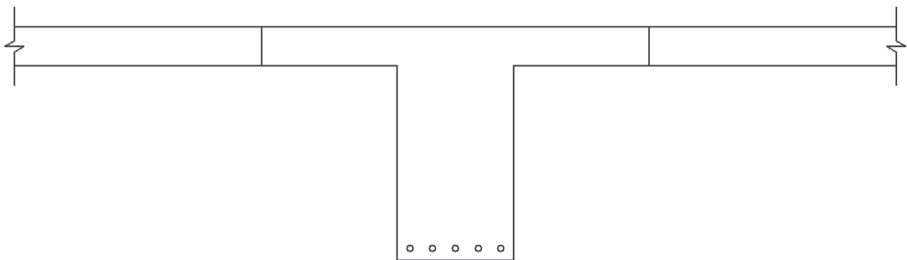
construida como un elemento sólido de concreto pretensado, para soportar las tensiones efectuadas sobre la losa y la bovedilla es un elemento muy ligero, de concreto pobre, hueco o poliestireno. El problema de este sistema es que las piezas son muy frágiles y pueden romperse fácilmente a la hora de la colocación, una vez colocadas funcionan correctamente y ganan resistencia y rigidez.

Otro sistema, y de los más comunes, es la losa monolítica colada en sitio. Se permite una reducción de espesor por la rigidez que supone y además funge como la cabeza de las vigas "T", reduciendo el volumen de material necesario y por lo tanto el costo.

Con un sistema monolítico es posible lograr claros mucho mayores a los alcanzados por la madera o el concreto sin necesidad de arriostramientos intermedios, o muy limitados, por la continuidad del concreto y la facilidad para colocar el armado en cualquier dirección.

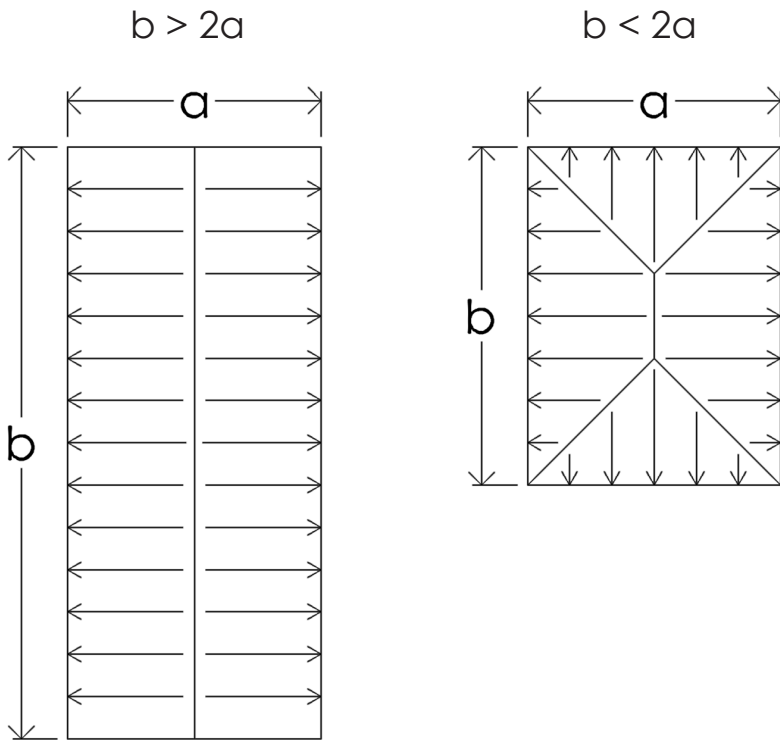


Sistema de losa de vigueta y bovedilla. La vigueta es construida con un esfuerzo de pretensión y debe ser construida en fábricas especializadas porque, por su esbeltez, se puede romper muy fácilmente. La bovedilla debe de ser materiales ligeros para no otorgarle mucho peso a la estructura.



Sistema de losa firme de concreto armado. Lleva una malla electrosoldada en toda el área de la losa, para soportar la flexión con el acero. Es muy común que la viga "T" tenga un patín del espesor de la losa, para poder ahogarla y ahorrar material.

Las losas de concreto pueden distribuir sus cargas en dos o cuatro direcciones, dependiendo de geometría a la que estén sujetas. Se han definido de este modo por la observación de las fallas sobre las losas, cuando un lado es mayor que el doble del otro ($b > 2a$) se dice que trabaja en dos direcciones y las fallas aparecen aproximadamente por la mitad; si un lado es menor o igual al doble del otro ($b \leq 2a$) las fallas que aparecen son del orden de 45° desde los extremos, formando triángulos y trapecios. Esto ha dado pie a muchos estudios de laboratorio y nos da a entender que es el modo en que las losas trabajan y por ello se deben de diseñar así.



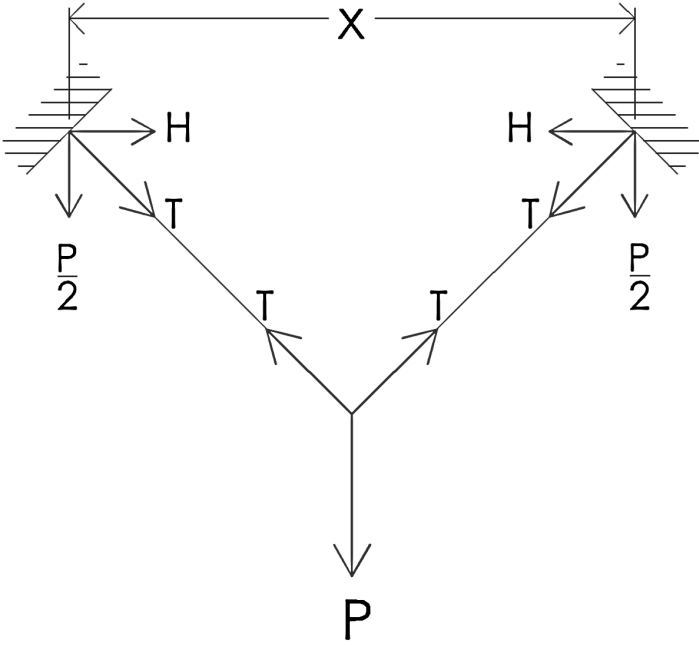
Distribución de las fuerzas en la losa dependiendo de la relación entre el largo y el ancho.

cables

Los cables son de los elementos más recientes utilizados estructuralmente, ya que nacen a partir de comprender las posibilidades que el acero ofrece. Son elementos que trabajan a tracción simple y por ello sólo pueden ser de acero y dada su alta resistencia a la tracción pueden ser elementos muy largos con una sección realmente pequeña.

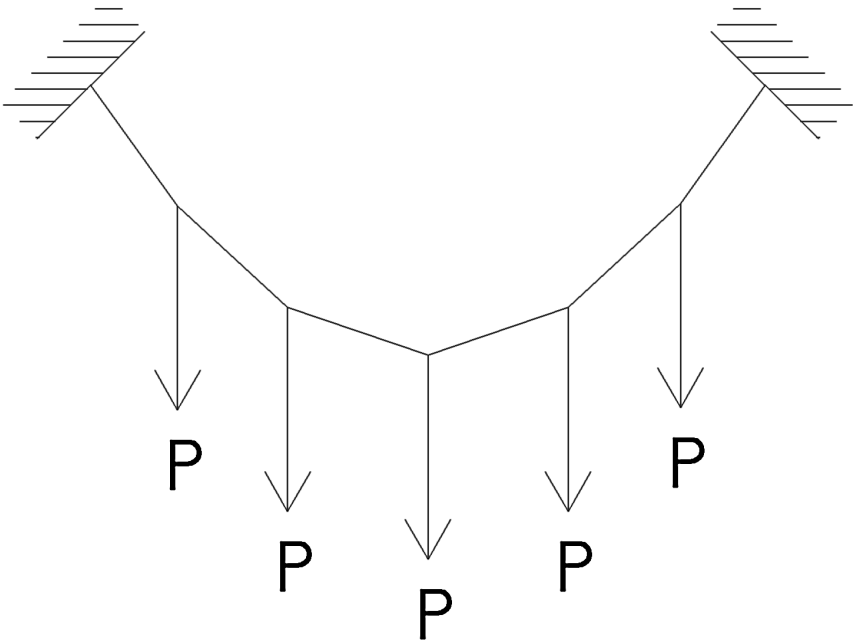
Para comprender cómo funcionan podemos imaginar un cable sujeto en ambos extremos a una distancia "x" y con un peso "P" vertical aplicado justo a la mitad. El cable por efectos de la carga formará un triángulo simétrico y cada extremo soporta la mitad de la carga. Cada carga "T" puede descomponerse en una fuerza vertical equivalente a $P/2$ y en un empuje horizontal igual en los dos extremos, pero de sentido contrario.

La carga vertical depende únicamente del peso "P", pero el empuje horizontal depende de la relación entre la distancia "x" y el largo del claro, es decir,



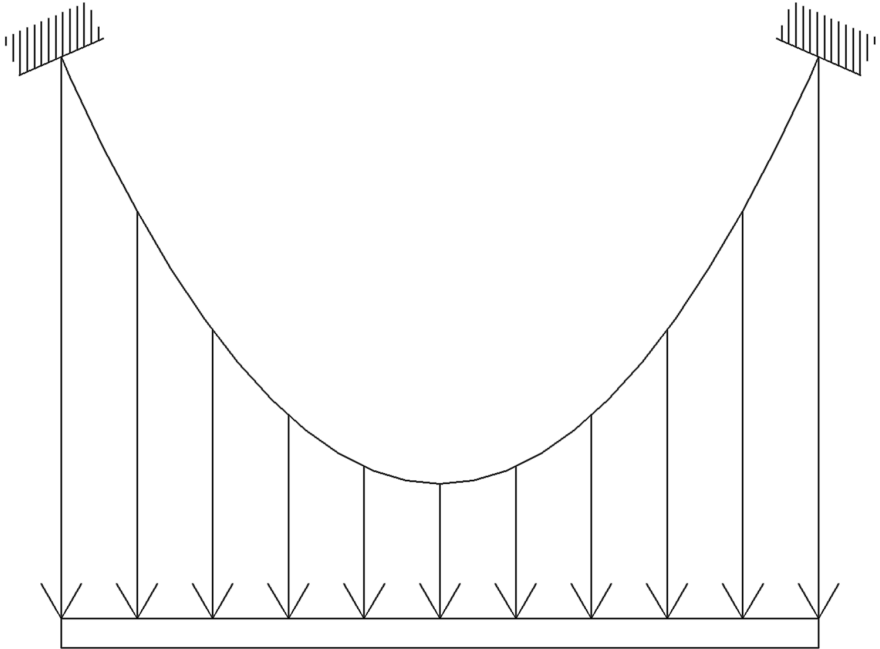
(arriba) Reacciones encontradas en los apoyos de un cable anclado en sus dos extremos y una fuerza se le aplica justo al centro.

(abajo) Deformación del mismo cable al aplicarle más fuerzas a la misma distancia.



de la flecha entre el apoyo y el lugar de aplicación de la carga. Mientras menor sea la flecha, mayor será el empuje que deberá soportar, por lo tanto, el empuje es inversamente proporcional a la flecha. En el hipotético caso de que la flecha pueda ser igual a cero, el cable no puede soportar ninguna carga ya que no habrían componentes verticales y ninguna fuerza horizontal puede equilibrar una carga vertical.

Si se aumenta el número de cargas a lo largo del cable, este tomará nuevas configuraciones de equilibrio, formando líneas rectas entre las cargas y cambios de dirección en cada aplicación; así el cable adopta una forma de polígono fonicular. Si las cargas aplicadas tiendieran a infinito el polígono se convertiría en una curva fonicular, las curvas posibles adoptadas son las parábolas y las catenarias. La primera soporta cargas iguales separadas horizontalmente a distancias iguales; en la segunda siguen siendo cargas de misma magnitud y separadas a distancias iguales, pero su distribución es a lo largo del cable. En ambos casos la flecha



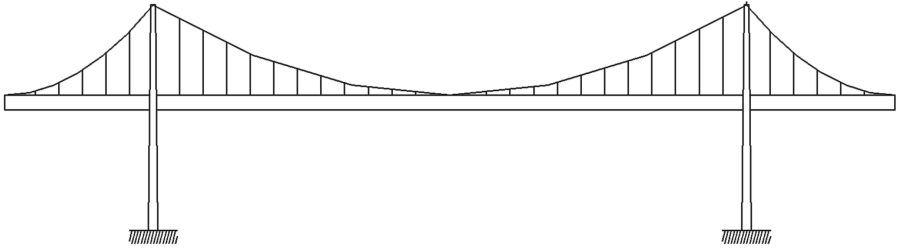
La parábola surge de tener un número que tienda al infinito de furezas iguales, separadas a la misma distancia, horizontalmente

óptima es aproximadamente $1/3$ del claro a librar.

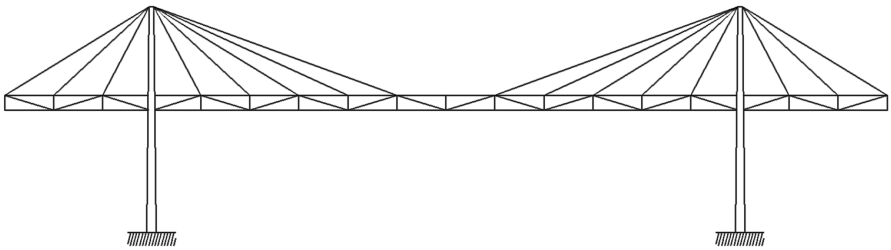
Los puentes colgantes deben soportar el peso propio de los grandes cables además de una carga horizontal, entonces la curva que se obtiene es un punto intermedio entre la parábola y la catenaria.

Si se supone que se tiene una flecha óptima y el peso del puente es el mínimo, y teniendo una resistencia de los cables de acero de $14,100 \text{ kg/cm}^2$, se podrían cubrir distancias superiores a 22 km. Como el peso nunca es mínimo, más bien es de alrededor de miles de toneladas, la distancia que se han logrado cubrir con puentes colgantes son de 1,298.45 m en Nueva York, 1,410 m en Inglaterra y 1,767.84 m en Japón, entre otros, que son distancias nada despreciables.

Los cable no son aptos para estructuras pequeñas porque dependen de la estabilidad de las cargas ya que no son sistemas que gocen de adaptabilidad a las cargas cambiantes. La estabilidad de los grandes puentes depende del arriostramiento y de la resistencia a flexión y torsión de la calzada. A



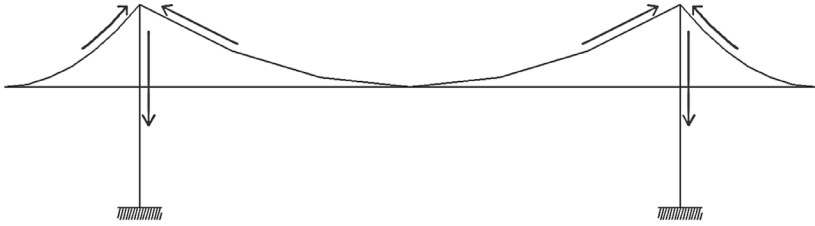
Puente colgante. La curva del puente es un punto medio entre catenaria y parábola y está comúesto por los cables de la curva y los verticales para soportar la plancha vehicular.



Puente atirantado. A diferencia de los puentes colgante, estos tienen los cables desde la plancha hasta los postes, generando así más rigidez.

diferencia de los puentes colgante, los puentes atirantados obtienen la resistencia, además del carril central, del arriostriamiento de todos los cables. Esto y la belleza que sugieren este tipo de puentes, los ha hecho muy populares a lo largo de todo el mundo.

Existen varias formas de transmitira las fuerzas de los cables a la tierra, pero los más comunes son dos: la primera consta de transmitir las tracciones del cable principal a unas torres de tracción y de ahí a los cables de los externos, los cuales deberán estar anclados a la tierra; la segunda consta de anclar los extremos de todos los cables (centrales y externos) a pilares que estarán empotrados en la tierra.



Sistema de cimentación anclado. Los extremos de los cables van anclados a los postes que están enterrados



Sistema de cimentación semianclada. Los postes no necesariamente van anclados a la tierra, únicamente los cables de los extremos, los postes sirven para provocar la tensión necesaria para que los cables funcionen bien.

CAPÍTULO 4: DISEÑO ESTRUCTURAL

Todo lo aprendido anteriormente se utiliza para poder tener una lógica estructural al hacer cualquier tipo de proyecto arquitectónico, es importante que el lector comprenda todos los conceptos para que pueda implementar correctamente las fórmulas del predimensionamiento.

En este capítulo se juntaron algunas fórmulas de predimensionamiento estructural utilizadas en campo, obtenidas a partir de intuición, observación y práctica. La mayoría de las fórmulas resultan en dimensiones algo poco sobradas a las calculadas por un estructurista; esto con motivo de tener un rango de seguridad y poder hacer ajustes posteriores en la estructura.

Como las fórmulas no están aprobadas por las Normas Técnicas Complementarias, se propone hacer un análisis real de un edificio simple y pequeño utilizando éstas para demostrar que se pueden utilizar al hacer diseño arquitectónico.

El análisis dinámico de las fuerzas (momentos, cortantes y fuerzas axiales en los extremos de los elementos) se obtendrá a partir de un programa estructural (Staad-Pro), para, con los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería, hacer el diseño estructural apropiado y comprobar la efectividad de las fórmulas.

Este predimensionamiento no sustituye el trabajo de un estructurista, ya que se necesita comprobar que las dimensiones son las correctas, pero el utilizar las fórmulas en el proyecto arquitectónico nos acerca a un diseño conjunto de estructura y estética.

FÓRMULAS BÁSICAS DE PREDIMENSIONAMIENTO

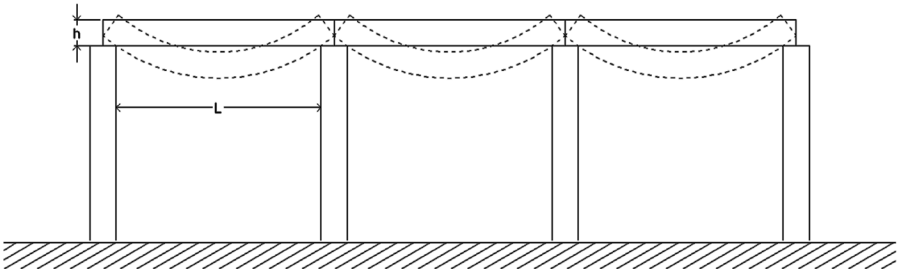
vigas

concreto (marcos separados) - **$h = L/10$**

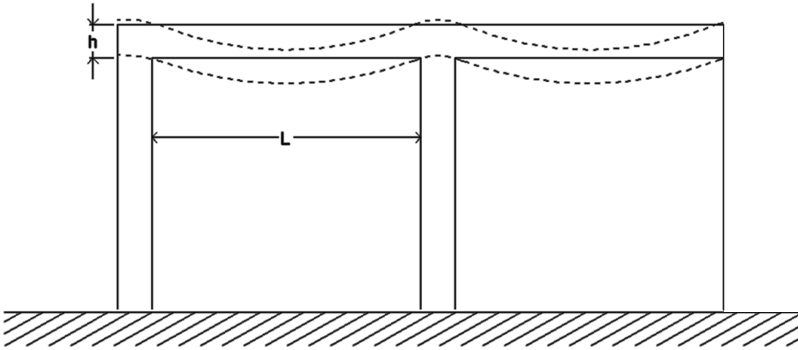
(para todas las vigas)

h: peralte total de la viga [cm]

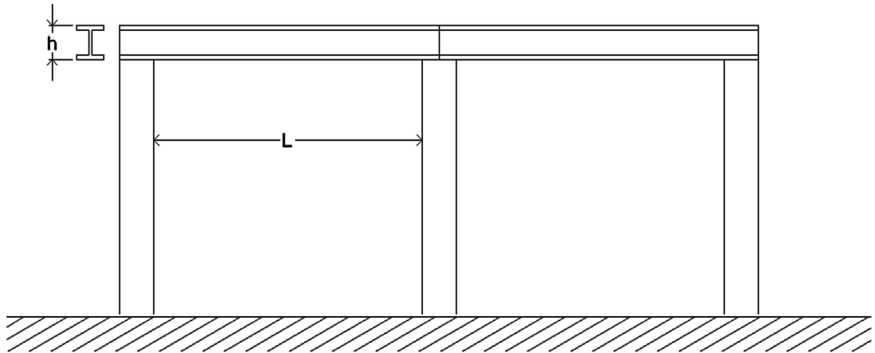
L: claro libre entre columnas [cm]



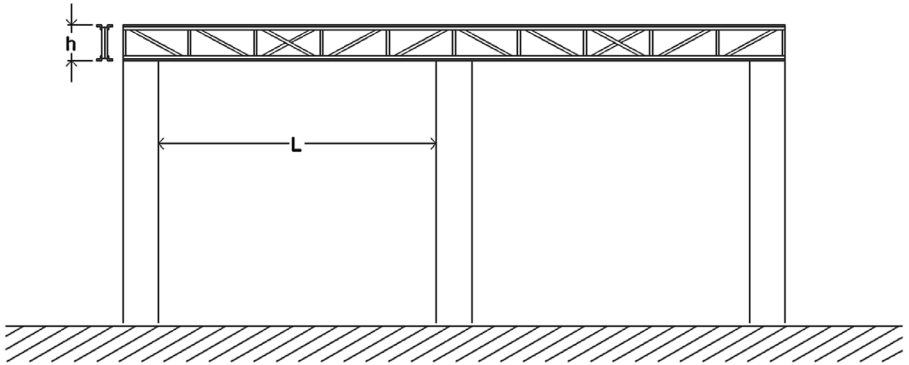
concreto (marcos continuos) - $h = (L/10)*0.7$



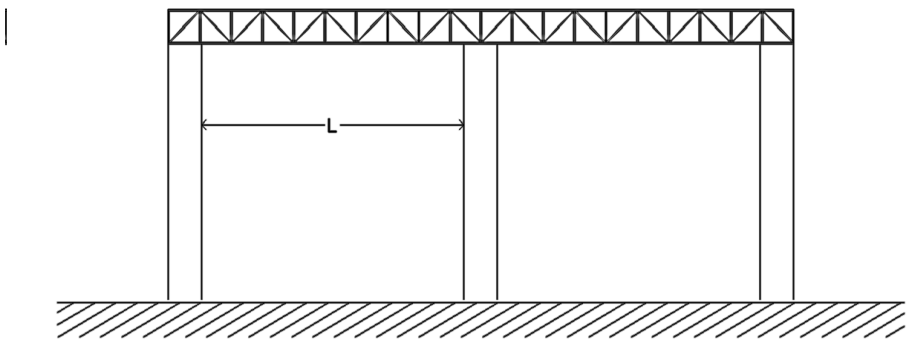
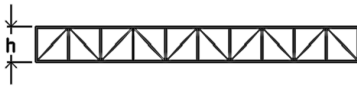
acero - $h = L/20$



armadura - $h = L/30$



armadura en 3 dimensiones - $h = L/40$

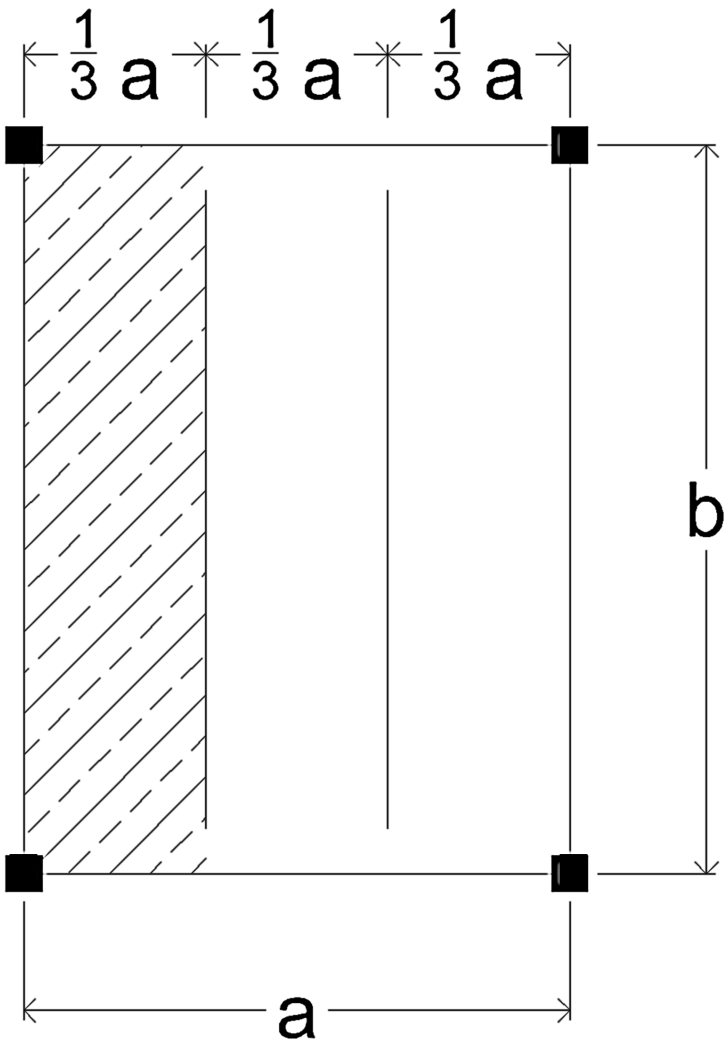


losas

firme de concreto - $e = p/180$

e: espesor de la losa [m]

p: perímetro del tablero [m]



columnas

concreto - $A_n = P/100$ [kg/cm²]

acero - $A_n = P/1000$ [kg/cm²]

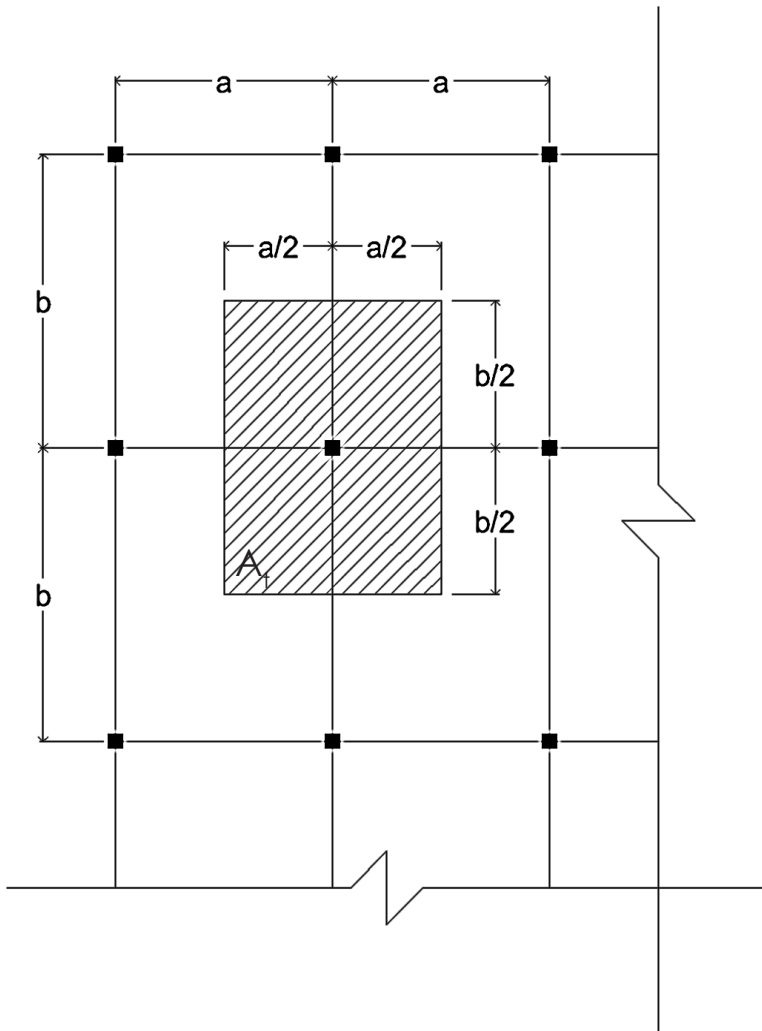
$P = W (A_t) * \text{Número de pisos superiores}$

A_n : área necesaria [cm²]

P: peso soportado por esa columna [kg]

W: carga obtenida del análisis de bajadas de cargas [kg/cm²]

A_t : área tributaria de la losa

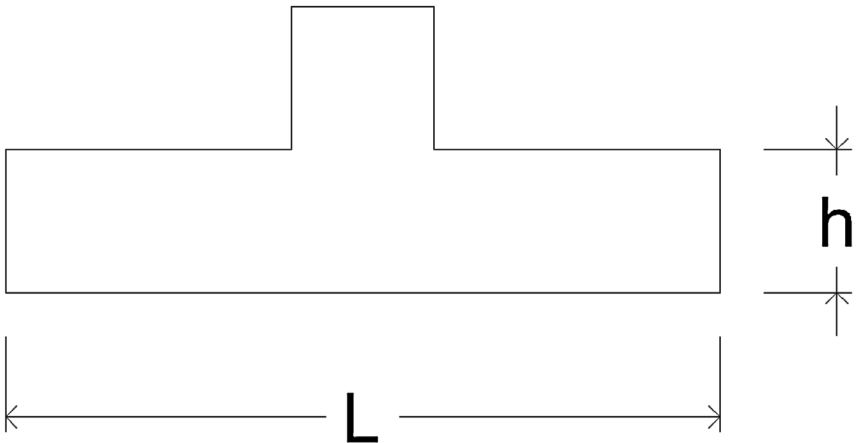


zapatas

concreto - **$h = L/5$**

h: peralte de la base de la zapata

L: largo de la base de la zapata



losas de cimentación

concreto - **$e = p/180 ; e \leq 0.3 \text{ m}$**

e: espesor de la losa [m]

p: perímetro del tablero [m]

contratrabe

concreto - **$h = L/10$**

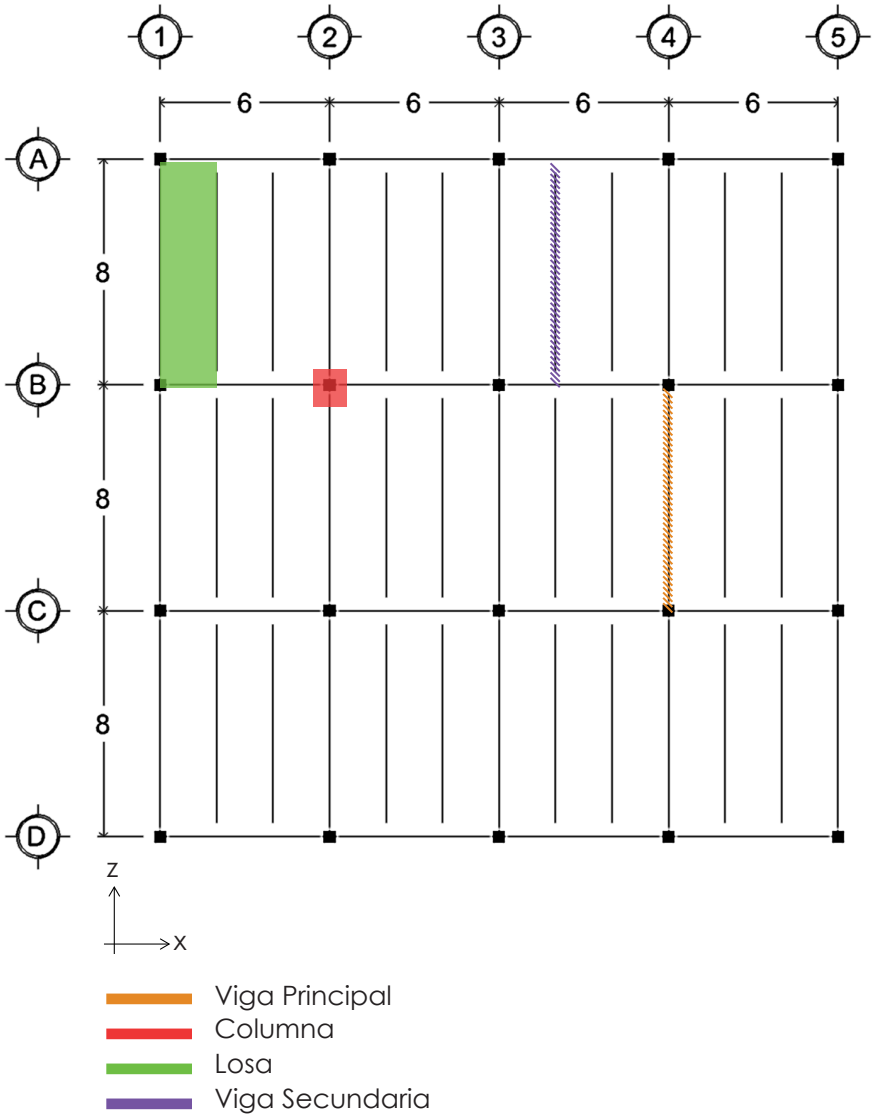
h: peralte de la contratrabe [cm]

L: claro libre entre zapatas [cm]

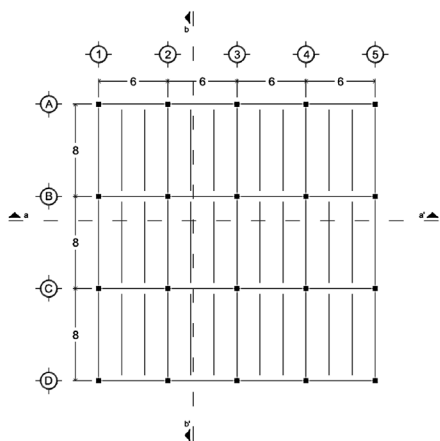
La planta tipo de la figura adjunta corresponde a un edificio de oficinas de 3 niveles idénticos, cada uno de 3.5m de altura total de entrepiso. La estructura es a base de columnas y vigas de concreto reforzado y losas coladas monolíticamente. El edificio está situado en el suelo menos favorecedor de la Ciudad de México (zona III_b).

El diseño estructural se hará únicamente para una viga principal, una viga secundaria, una columna y un tablero de losa, que estén recibiendo la mayor carga; esto quiere decir que sean centrales y se encuentren en planta baja.

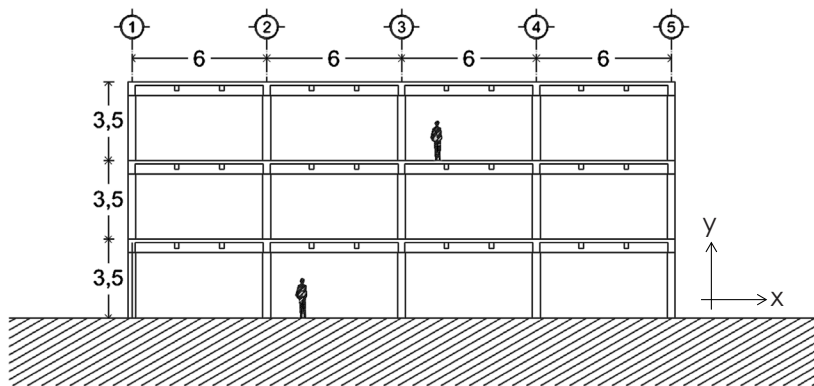
Antes de hacer el análisis específico de cada elemento es necesario realizar y entender el análisis de las cargas muertas, conocido como la bajada de cargas y el análisis de fuerzas sísmicas estáticas, para estos se recomienda utilizar las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, donde se explica detalladamente cómo hacer ambos análisis.



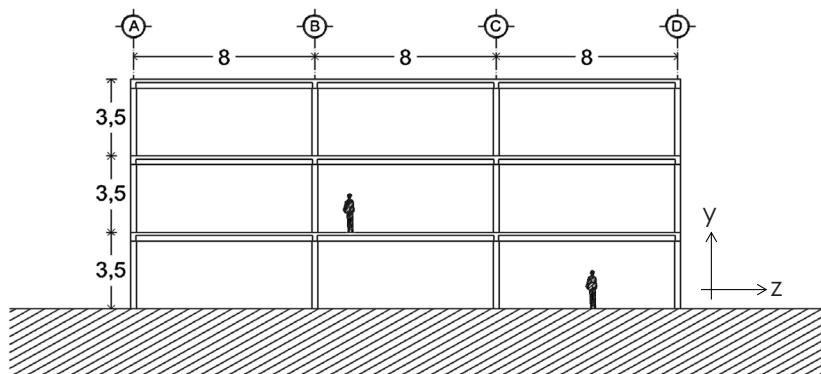
Planta tipo indicando los elementos a analizar



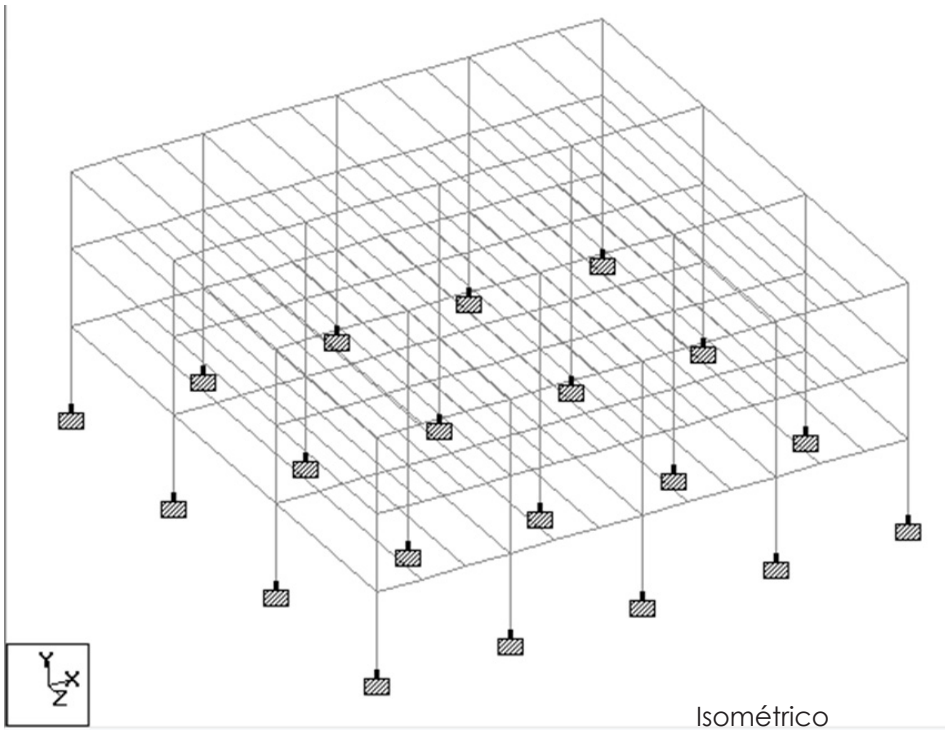
Planta tipo indicando los cortes



Corte a-a'



Corte b-b'



Bajada de Cargas

Entrepiso

losa de concreto (e = 10cm)	
.....	$2400 \text{ kg/m}^3 (0.1\text{m}) = 240 \text{ kg/m}^2$
firme de mortero (e = 3cm)	
.....	$2200 \text{ kg/m}^3 (0.03\text{m}) = 66 \text{ kg/m}^2$
loseta vinílica	5 kg/m^2
instalaciones y plafón	35 kg/m^2
muros divisorios	100 kg/m^2
sobrecarga adicional	40 kg/m^2

$$\begin{aligned} \Sigma_{\text{cargas muertas}} &= 486 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Carga viva}_{\text{vivienda}} &= 170 \text{ kg/m}^2 \\ \Sigma_{\text{carga total}} &= 656 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Azotea

losa de concreto (e = 10cm)	
.....	$2400 \text{ kg/m}^3 (0.1\text{m}) = 240 \text{ kg/m}^2$
relleno e impermeabilizantes	150 kg/m^2
instalaciones y plafón	40 kg/m^2
sobrecarga adicional	20 kg/m^2

$$\begin{aligned} \Sigma_{\text{cargas muertas}} &= 450 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Carga viva}_{\text{azotea}} &= 100 \text{ kg/m}^2 \\ \Sigma_{\text{carga total}} &= 550 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Dimensiones obtenidas de las fórmulas

Viga principal eje "y"

$$h = (8\text{m}/10) \cdot 0.7 = 0.56 \text{ m} \approx 0.60 \text{ m}$$

$$\square 60 \times 30 \text{ cm}$$

Viga secundaria eje "y"

$$h = (8\text{m}/10) \cdot 0.7 = 0.56 \text{ m}$$

[Al ser secundaria se puede disminuir el peralte]

$$h \approx 0.40 \text{ m}$$

$$\square 40 \times 20 \text{ cm}$$

Losa

$$p = (8\text{m} + 2\text{m})^2 = 20 \text{ m}$$

$$e = 20\text{m}/180 = 0.11 \text{ m} \approx 0.12 \text{ m}$$

Columna

$$P = [656 \text{ kg/m}^2 (3) + 550 \text{ kg/m}^2] (8\text{m})(6\text{m})$$

$$P = 89,376 \text{ kg}$$

$$A_n = 94,464 \text{ kg}/100 \text{ kg/cm}^2 = 893.76 \text{ cm}^2$$

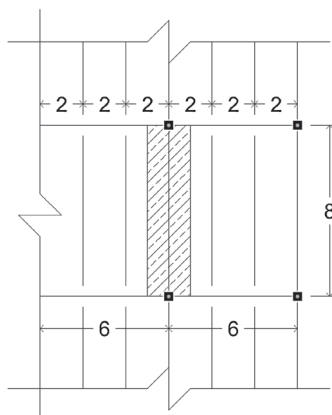
$$\square 35 \times 25 \text{ cm} \quad A_r = (35\text{cm})(25\text{cm}) = 875 \text{ cm}^2$$

Análisis de resultados

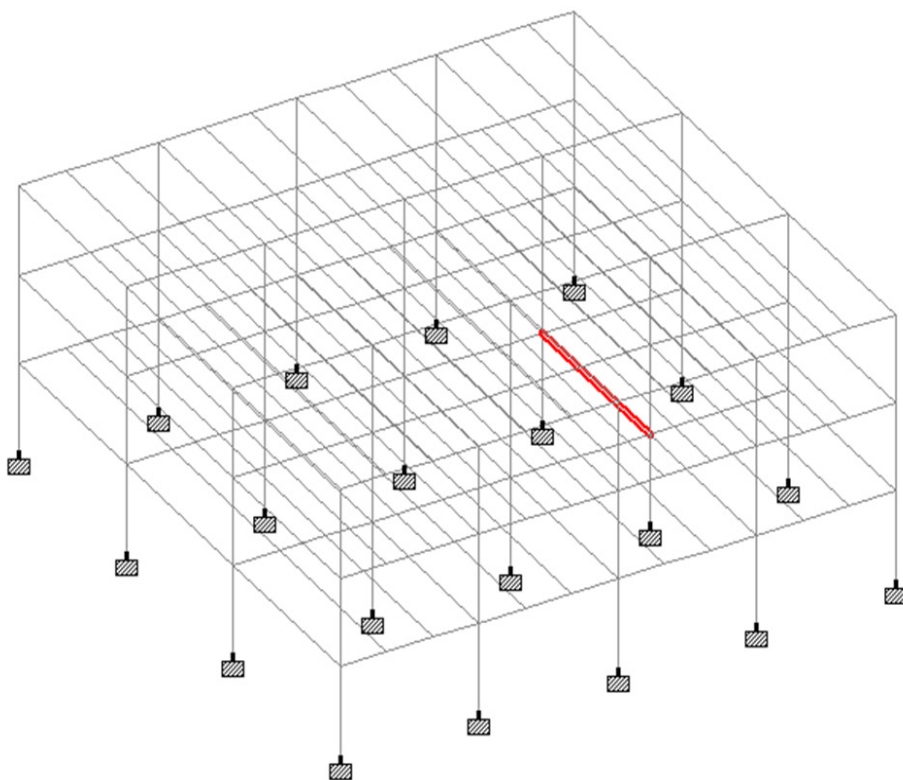
Viga Principal

□ 60x30 cm

Área tributaria que debe soportar la viga principal



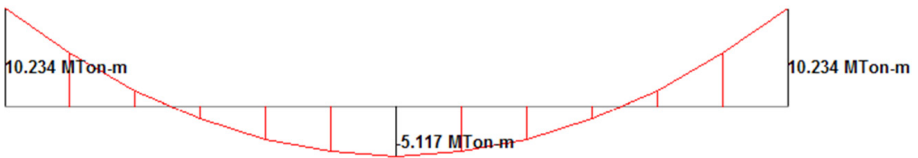
Se tomó una viga del primer piso y que no estuviera en la orilla para que sus esfuerzos sean lo más críticos posibles. Si una viga crítica pasa con las secciones propuestas, las vigas que soportan menos peso también pasarán.



Vista isométrica de la estructura en el programa de análisis, en rojo se resalta la viga de la que se obtuvieron los resultados.

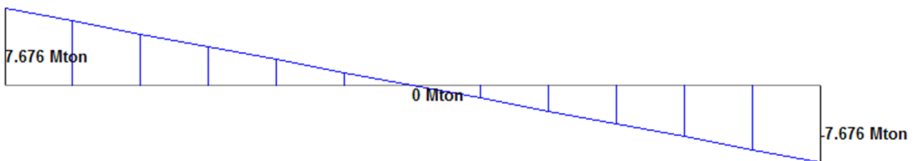
Los gráfica de momentos nos indica la cantidad de acero longitudinal que debe tener la sección propuesta y en que posición debe estar colocado. Si la cantidad de acero requerida para la sección sobrepasa la cuantía de acero permitida, la sección no será adecuada y habrá que cambiar la propuesta.

Podemos observar que, como se mencionó, al estar empotrada la viga, $2/3$ del momento total es positivo y $1/3$ es negativo (según la convención de signos utilizada).



Esfuerzo de flexión

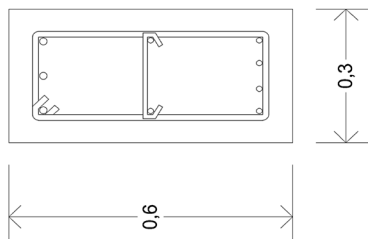
El esfuerzo de cortante debe de salir igual pero con signo contrario en ambos extremos de la viga y pasar por cero justo al centro; porque el edificio es simétrico en todas direcciones. El cortante como ya se ha estudiado será tomado por el acero transversal de la viga por lo que también es necesario revisar que los estribos pasen.



Esfuerzo de cortante [*Nota: tanto los signos como la representación de las gráficas dependen de la convención de signos que se haya usado]

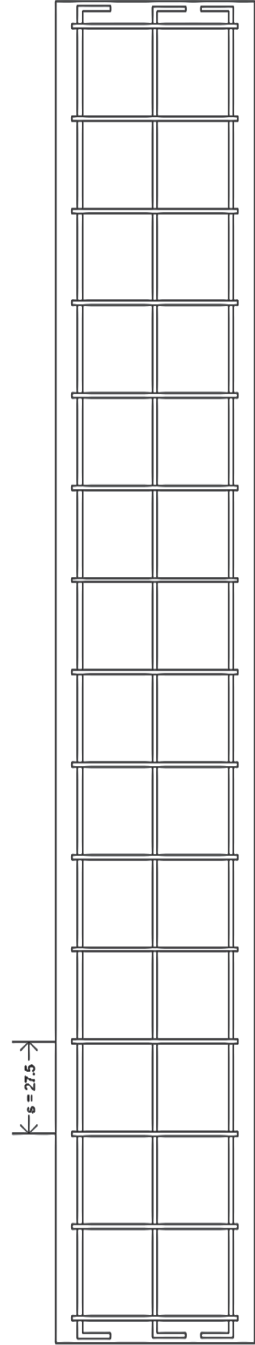
Viga Principal [Flexión]		
Datos	Constantes	Resultados
h= 60 cm d'= 5 cm d= 55 cm b= 30 cm fy= 4200 kg/cm ² f'c= 250 kg/cm ² β= 0.85 FR= 0.9 Mu- = 1023000 kg-cm Mu+ = 511700 kg-cm	f'c= 170 kg/cm ² ρ mín= 0.002635 q mín= 0.065106 As mín= 4.35 cm ² MR mín= 8.75 ton-m pb = 0.02024 ρ máx (no s) = 0.01821 ρ máx (sismo) = 0.01518 q máx (no s) = 0.45 q máx (sismo) = 0.375 As máx (no s) = 30.05 cm ² As máx (sismo) = 25.04 cm ² MR máx (no s) = 48.42 ton-m MR máx (sismo) = 42.31 ton-m	Para Mu- simplemente armada 42.31 > 10.23 > 8.75 ton-m q = 0.07661 ρ = 0.003101 As= 5.12 cm ² Para Mu+ simplemente armada 5.117 < 8.75 ton-m q mín= 0.002635 ρ mín= 0.065106 As mín= 4.35 cm ²

As = 3Vs # 5
 As = 5.94 cm²



As = 4Vs # 4
 As = 5.08 cm²

Viga principal [Cortante]		
Datos	Constantes	Resultados
$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $FR = 0.8$ $h = 60 \text{ cm}$ $r = 5 \text{ cm}$ $b = 30 \text{ cm}$ $d = 55 \text{ cm}$ $V_u = 7676 \text{ kg}$ $A_s = 5.12 \text{ cm}^2$ $\rho_{\text{tensión}} = 0.003101$ $\beta = 0.85$ $E \# = 4$ $\# \text{ ramas} = 4$	$f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$ $f^*_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ $v f^*_c = 14.14 \text{ kg/cm}^2$ $A_v = 5.07 \text{ cm}^2$ $1.5 FRbdvf^*_c = 28001.43 \text{ kg/cm}^2$ $2.5 FRbdvf^*_c = 46669.05 \text{ kg/cm}^2$	$V_{cr} = 0.50 FRbd \cdot v f^*_c = 4891.29 \text{ kg}$ $V_u \leq 1.50 FRbd \cdot v f^*_c$ menor de: $s = FR \cdot A_v \cdot f_y \cdot d / V_u - V_{cr} = 336.26 \text{ cm}$ $s = FR \cdot A_v \cdot f_y / 3 \cdot 5 \cdot b = 162.15 \text{ cm}$ $s = d/4 = 27.5 \text{ cm}$



Como se observó desde la gráfica de momentos, existe un momento positivo y uno negativo, en este caso, el acero para cubrir el momento negativo va en la parte superior de la viga y el del positivo en la inferior.

Se debe hacer el análisis, por separado, de ambos momentos y si alguno supera el momento resistente máximo (ver en la tabla como $MR_{\max(\text{sismo})}$) la sección de la viga no es la correcta. En el caso de que el momento sea el menor permitido por el reglamento (ver en la tabla como MR_{\min}) se debe utilizar el valor que resulta del acero mínimo permitido.

Para el cortante se debe analizar la capacidad de corte del concreto (V_{CR}) y la del acero (V_S) combinadas. Se tiene el valor que debe resistir la viga (V_U ; $V_U = V_{CR} + V_S$) y la resistencia del acero al cortante depende de la separación entre los estribos, entre otras cosas. Se despeja el valor de la separación (s) para saber cuál es la necesaria para resistir ese cortante; cumpliendo las condiciones encontradas en las NTC para el diseño de estructuras de concreto.

Es necesario que los resultados estén en kg y cm ya que son las unidades de las fórmulas del reglamento.

El momento necesario para cubrir los extremos de la viga principal (momento positivo según la gráfica, pero negativo por la conversión de signos) es de $MR = 10.23 \text{ ton}\cdot\text{m} = 1,023,000 \text{ kg}\cdot\text{cm}$ y para cubrir la parte central $MR = 5.117 \text{ ton}\cdot\text{m} = 511,700 \text{ kg}\cdot\text{cm}$.

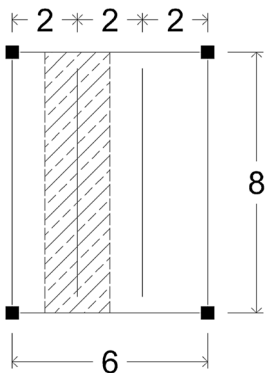
Obteniendo los valores máximos y mínimos de los momentos resistentes podemos comparar si nuestros momentos pasan. El momento resistente mínimo es $MR_{\min} = 8.75 \text{ ton}\cdot\text{m}$ y el máximo $MR_{\max} = 42.31 \text{ ton}\cdot\text{m}$.

El caso 1 [$8.75 < \underline{10.23} < 42.31$] sí cumple con las condiciones, entonces ya se puede obtener el área de acero de la fórmula $A_s = \rho(b)(h)$ [ρ : cuantía de acero; b : base de la viga; h : peralte efectivo] dando como resultado un área de acero de 5.12 cm^2 que en varillas de acero se traduce como 3 varillas #5. En el caso 2 [$8.75 > \underline{5.117}$] el MR es menor que el mínimo, se debe utilizar acero mínimo obtenido, $A_s = 4.35 \text{ cm}^2$; 4 varillas #4.

Análisis de resultados

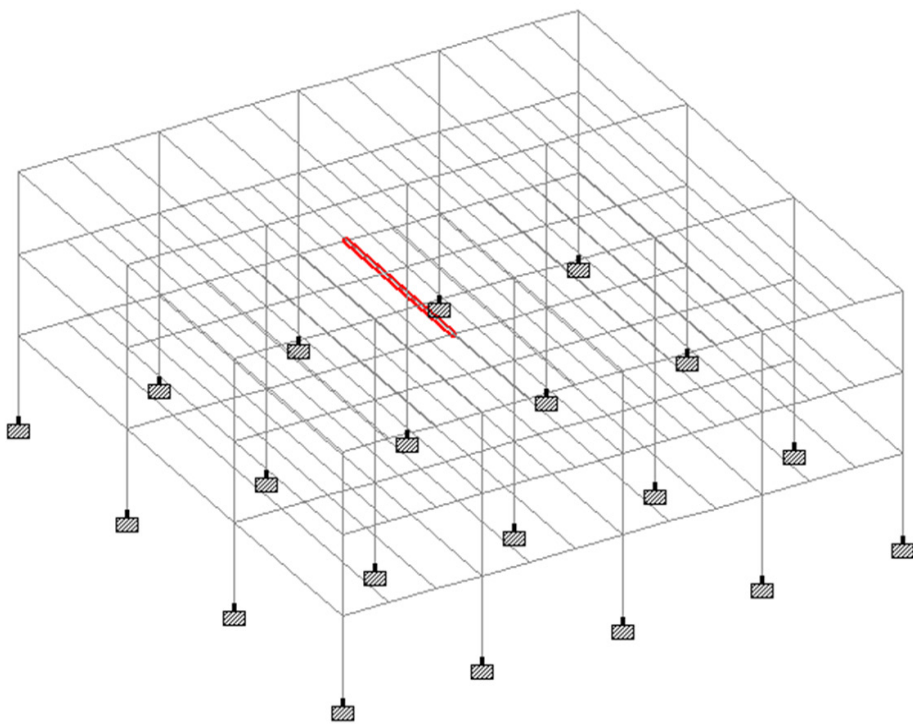
Viga Secundaria

□ 40x20 cm

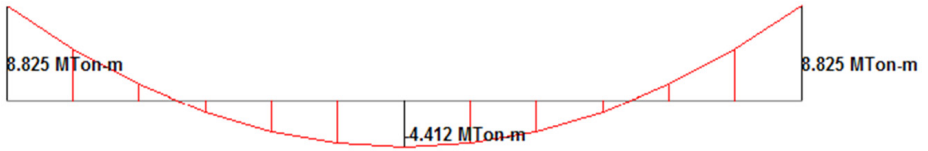


Área tributaria que debe soportar la viga secundaria

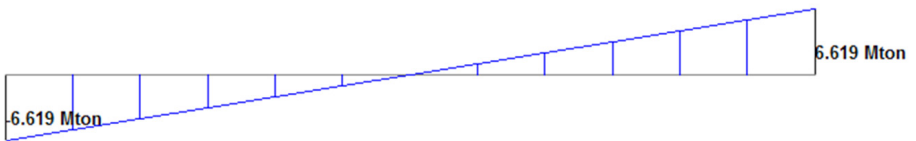
Los procedimientos de cómo se escogió la viga, el significado de las gráficas y el análisis estructural, es el mismo que el resuelto en el ejercicio de la viga principal.



Vista isométrica de la estructura en el programa de análisis, en rojo se resalta la viga de la que se obtuvieron los resultados.



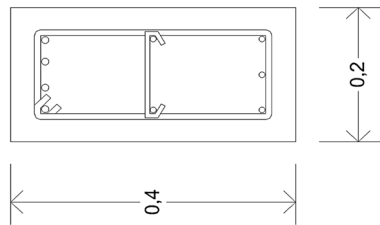
Esfuerzo de flexión



Esfuerzo de cortante [*Nota: tanto los signos como la representación de las gráficas dependen de la convención de signos que se haya usado]

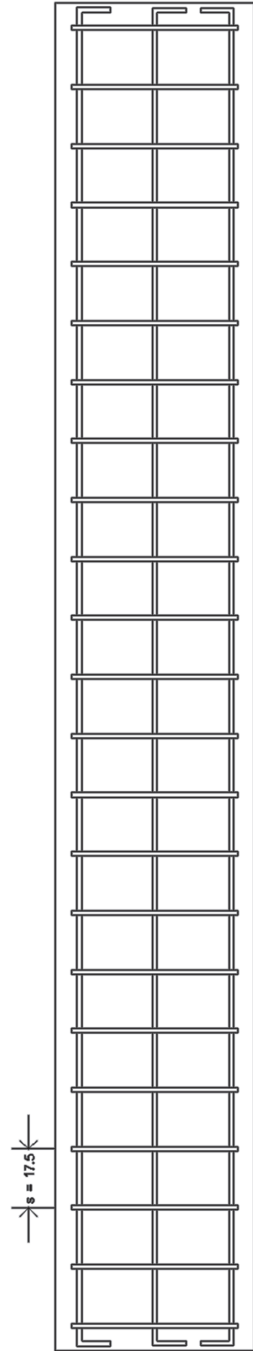
Viga Secundaria [Flexión]		
Datos	Constantes	Resultados
h= 40 cm d'= 5 cm d= 35 cm b= 20 cm fy= 4200 kg/cm ² f'c= 250 kg/cm ² β= 0.85 FR= 0.9 MU- = 882500 kg-cm MU+ = 441200 kg-cm	f'c= 170 kg/cm ² ρ mín= 0.002635 q mín= 0.065106 As mín= 1.84 cm ² MR mín= 2.36 ton-m pb = 0.02024 ρ máx (no s) = 0.01821 ρ máx (sismo) = 0.01518 q máx (no s) = 0.45 q máx (sismo) = 0.375 As máx (no s) = 12.75 cm ² As máx (sismo) = 10.63 cm ² MR máx (no s) = 13.07 ton-m MR máx (sismo) = 11.42 ton-m	Para MU- simplemente armada 11.42 > 8.825 > 2.36 ton-m q = 0.27258 ρ = 0.011033 As= 7.72 cm ² Para MU+ simplemente armada 11.42 > 4.412 > 2.36 ton-m q = 0.125586 ρ = 0.005083 As= 3.56 cm ²

As = 4Vs # 5
 As = 7.92 cm²



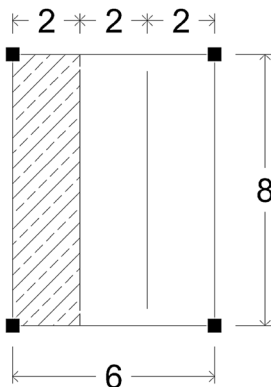
As = 3Vs # 4
 As = 3.81 cm²

Viga secundaria [Cortante]		
Datos	Constantes	Resultados
$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $FR = 0.8$ $h = 40 \text{ cm}$ $r = 5 \text{ cm}$ $b = 20 \text{ cm}$ $d = 35 \text{ cm}$ $V_u = 6619 \text{ kg}$ $A_s = 7.72 \text{ cm}^2$ $\rho_{tracción} = 0.01103$ $\beta = 0.85$ $E \# = 4$ $\# \text{ ramas} = 4$	$f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$ $f^*c = 200 \text{ kg/cm}^2$ $v f^*c = 14.14 \text{ kg/cm}^2$ $AV = 5.07 \text{ cm}^2$ $1.5 \text{ FRbd}v f^*c = 11879.39 \text{ kg/cm}^2$ $2.5 \text{ FRbd}v f^*c = 19798.99 \text{ kg/cm}^2$	$V_{cr} = 0.50 \text{ FRbd}v f^*c = 3331.43 \text{ kg}$ $V_u \leq 1.50 \text{ FRbd}v f^*c$ menor de: $s = FR \cdot Av \cdot f_y \cdot d / V_u \cdot V_{cr} = 181.26 \text{ cm}$ $s = FR \cdot Av \cdot f_y / 3.5 \cdot b = 243.22 \text{ cm}$ $s = d/4 = 17.5 \text{ cm}$



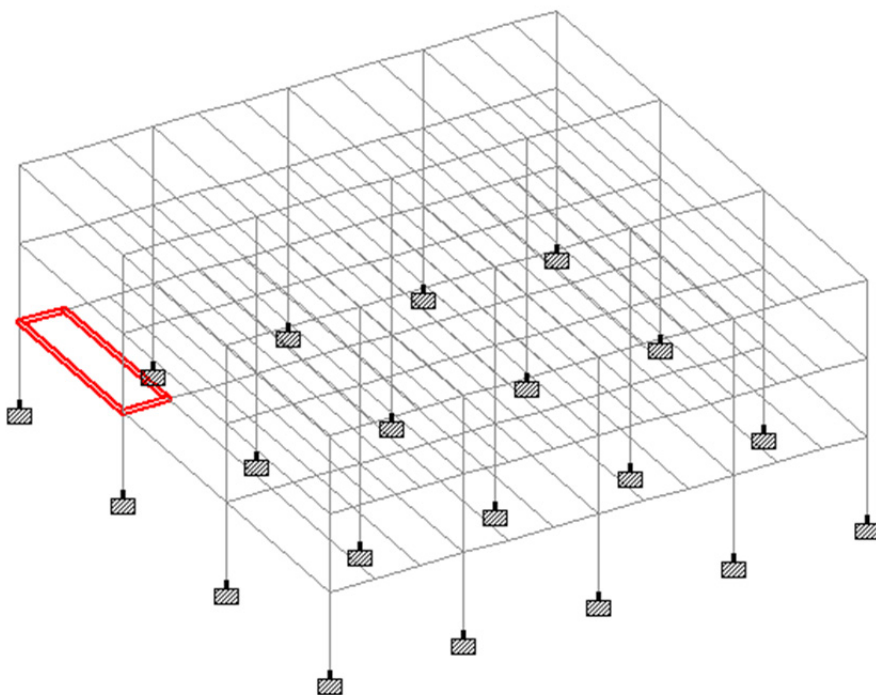
Análisis de resultados

Losa

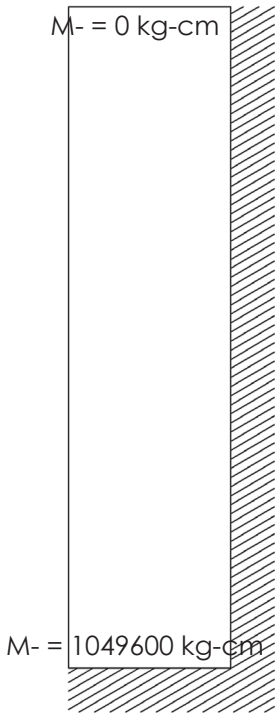


Área tributaria que debe soportar la losa

El caso de las losas es diferente de todos los demás, dado que el programa no hace el análisis de diafragmas rígidos; por ello se debe hacer un análisis manual basado en las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. En cuanto a la obtención del acero, se hace con el mismo procedimiento que con las vigas.



Vista isométrica de la estructura en el programa de análisis, en rojo se resalta la losa que se va a analizar.



La losa que se escogió fue la de esquina y borde dado que esa presenta las peores condiciones por tener discontinuidad en dos de sus lados.

En este caso, la losa trabaja en una sola dirección porque la relación entre su lado largo y el corto es mayor que 2.

$$8\text{m} / 2\text{m} = 4$$

El análisis de losas, según las NTC, sugiere que las losas que trabajan en una dirección se analicen como si fueran vigas;

de ese modo el lado corto no trabaja.

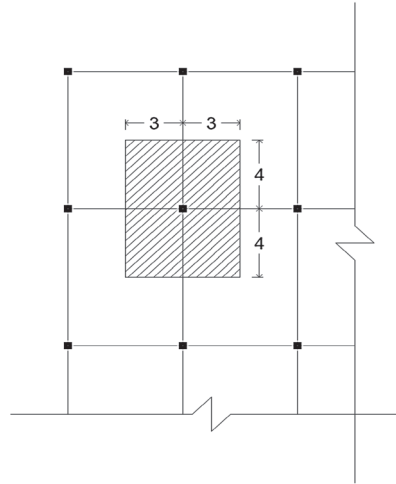
Se calculó el momento como si la losa fuera una viga y se realizó manualmente por el método de flexibilidades obteniendo así un valor de 10.496 ton-m. En el sentido corto no hay momento por lo ya mencionado anteriormente, que la losa trabaja en una sola dirección. El extremo discontinuo tampoco tiene momento ya que no existe una restricción impidiendo que se mueva en esa dirección.

Losa [Flexión]		
Datos	Constantes	Resultados
h= 12 cm d'= 2 cm d= 10 cm b= 200 cm fy= 4200 kg/cm ² f'c= 250 kg/cm ² β= 0.85 FR= 0.9 MU= 1049600 kg-cm	f'c= 170 kg/cm ² ρ mín= 0.002635 q mín= 0.065106 As mín= 5.27 cm ² As ₁ mín = 1.53 cm ² MR mín= 1.93 ton-m pb = 0.02024 ρ máx (no s) = 0.01821 ρ máx (sismo)= 0.01518 q máx (no s) = 0.45 q máx (sismo)= 0.375 AS máx (no s) = 36.43 cm ² AS máx (sismo) = 30.36 cm ² MR máx (no s)= 10.67 ton-m MR máx (sismo)= 9.32 ton-m	Para Mu- $0.96 > 0.305$ ton-m q = 0.43965 ρ = 0.017796 As= 35.59 cm ² como sólo se distribuyen las cargas en una dirección el refuerzo transversal es el mínimo correspondiente As ₁ mín = 1.53 cm ²

Análisis de resultados

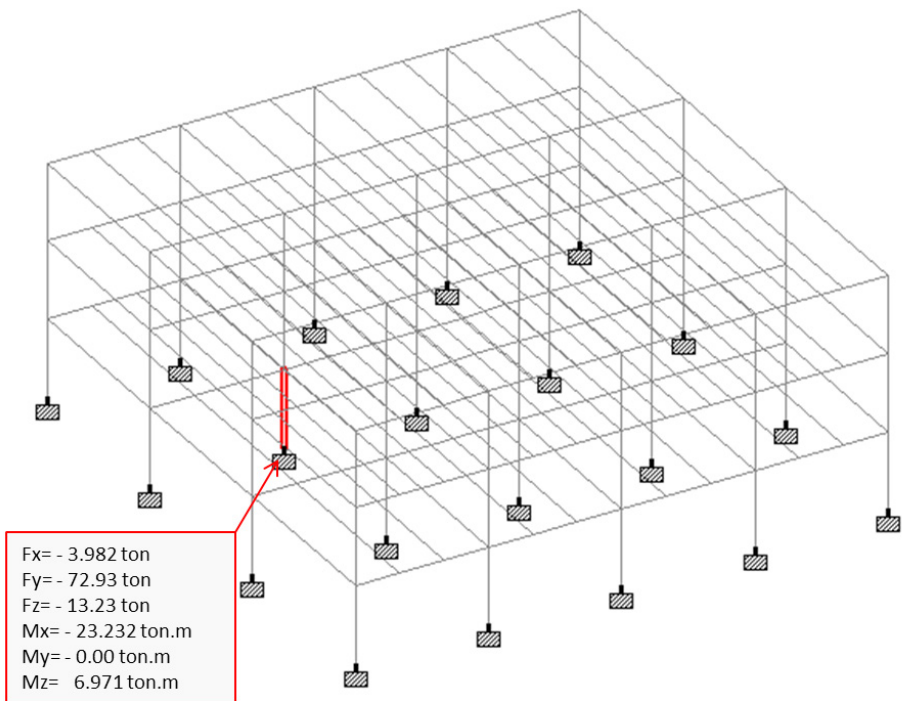
Columna

□ 35x25 cm



Área tributaria que debe soportar la columna

Los procedimientos de cómo se escogió la columna, el significado de las gráficas y el análisis estructural, es el mismo que el resuelto en el ejercicio de la viga principal. Con la excepción que las reacciones ocurren en el eje "x" y el "z".

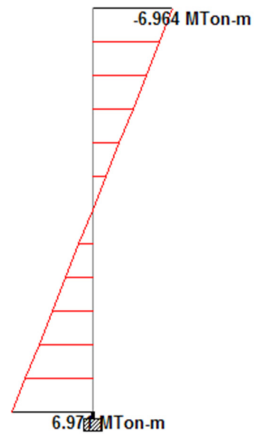
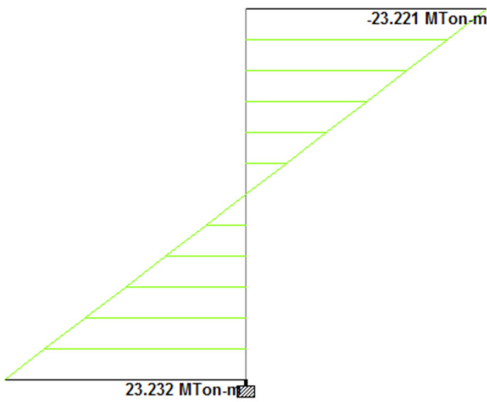


Vista isométrica de la estructura en el programa de análisis, en rojo se resalta la columna de la que se obtuvieron los resultados.

CAPÍTULO 4 DISEÑO ESTRUCTURAL



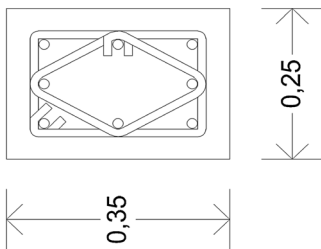
Esfuerzo de cortante. El primero (azul) es el cortante en dirección "x" y el segundo (rojo) es en dirección "z"



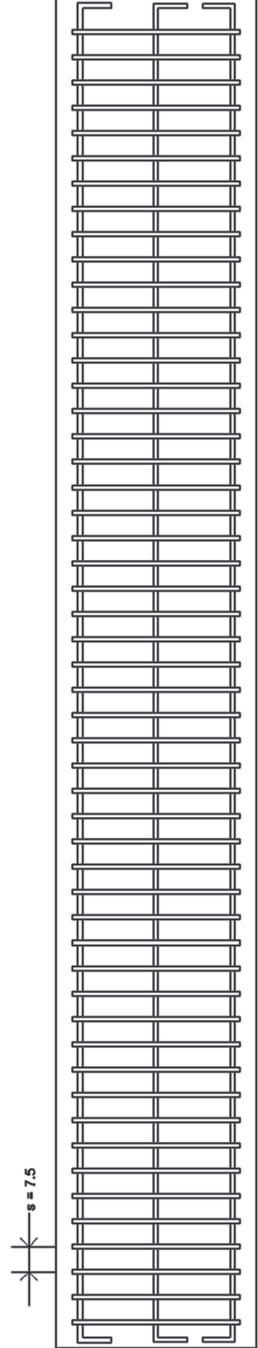
Esfuerzo de flexión. El primero (verde) es el momento alrededor del eje "x" y el segundo (rojo) alrededor de "z"
[*Nota: tanto los signos, la representación de las gráficas y el nombre de los ejes dependen de la convención de signos que se haya usado]

Columna [Flexo-compresión]		
Datos	Obtención de datos para los diagramas de interacción	Resultados obtenidos de los diagramas de interacción
FR= 0.7 f'c= 250 kg/cm ² fy= 4200 kg/cm ² f''c= 170 kg/cm ² dim eje Mayor= 35 cm recubr= 5 cm dim eje menor= 25 cm recubr= 5 cm Pu= 72.93 ton MuM= 23.232 ton-m MuM= 6.971 ton-m	eM= 9.56 cm em= 31.86 cm eM/dim.dir.M= 0.2731 em/dim.dir.m= 1.2742 eje "x" en la dirección mayor h= 25 cm b= 35 cm dy= 20 cm dx= 30 cm dx/b= 0.86 dy/h= 0.80 Mux= 697100 Muy= 2323200 K= [Pu/FRbh ² f''c]= 0.7004 Rx= [Mux/FRb ² hf''c]= 0.1913 Ry= [Muy/FRbh ² f''c]= 0.8925 Rx/Ry= 0.2143	Interpolación entre 0 < (Rx/Ry) < 0.50 Rx/Ry= 0 K= 0.7004 Ry= 0.8925 q= 0.55 Rx/Ry= 0.50 K= 0.7004 Ry= 0.8925 q= 0.7 qnec= 0.6143 ρ= 0.02486 As= 21.76 cm ²

As = 8Vs # 6
 As = 22.80 cm²



Columna [Cortante]		
Datos	Constantes	Resultados
$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ $FR = 0.8$ $h = 35 \text{ cm}$ $r = 5 \text{ cm}$ $b = 25 \text{ cm}$ $d = 30 \text{ cm}$ $V_u (F_z) = 13272 \text{ kg}$ $V_u (F_x) = 3928 \text{ kg}$ $\rho_{tension} = 0.02486$ $\beta = 0.85$ $E \# = 4$ $\# \text{ ramas} = 8$	$f'c = 170 \text{ kg/cm}^2$ $f^*c = 200 \text{ kg/cm}^2$ $\nu f^*c = 14.14 \text{ kg/cm}^2$ $Av = 10.13 \text{ cm}^2$ $1.50 \text{ FRbd} \nu f^*c = 12727.92 \text{ kg/cm}^2$ $2 \text{ FRbd} \nu f^*c = 16970.56 \text{ kg/cm}^2$	$V_{cr} = 0.50 \text{ FRbd} \nu f^*c = 4242.64 \text{ kg}$ Para F_z $1.50 \text{ FRbd} \nu f^*c < V_u \leq 2 \text{ FRbd} \nu f^*c$ menor de: $s = \text{FR} \cdot Av \cdot f_y \cdot d / V_u \cdot V_{cr} = 113.13 \text{ cm}$ $s = \text{FR} \cdot Av \cdot f_y / 3.5 \cdot b = 389.15 \text{ cm}$ $s = d/4 = 7.5 \text{ cm}$ Para F_x $V_u < V_{cr}$ $s = d/2 = 15 \text{ cm}$



Las columnas trabajan a flexocompresión, en teoría debería ser únicamente la carga axial (carga vertical sumada de los niveles superiores; compresión pura), pero en la construcción es muy difícil lograr que la carga superior coincida con el centroide de la columna y esa excentricidad le provoca cierta flexión a la estructura y si no se considera puede colapsarse muy fácilmente.

Para el cálculo de la flexocompresión no existe una fórmula como ocurre en la flexión, en este caso se utilizan diagramas de interacción realizados por investigadores donde dependiendo de la sección geométrica, la relación entre el peralte total y el peralte efectivo y el acomodo del acero se obtiene un valor de q . Este valor está relacionado con la cuantía de acero y las resistencias del acero y concreto. Una vez obtenido el valor de la cuantía de acero se puede sacar la cantidad de acero longitudinal que requiere la columna.

Para el acero transversal es el mismo procedimiento para obtener el cortante en las vigas, la diferencia

radica en que el análisis es para el eje “x” y el “z”.

CONCLUSIONES

- En esta guía se ha tratado de exponer las estructuras de una manera cualitativa, así como los conceptos adquiridos a partir de la experiencia y la intuición, sobre materiales, fuerzas, deformaciones y dimensiones, para que el arquitecto sea capaz de analizar y comprender cómo funcionará la estructura antes de generar el anteproyecto y mucho antes de realizar el cálculo estructural. ¿En qué etapa es mejor realizar el cálculo? Eso depende de cada lector, proyectista, arquitecto, estructurista, etc. A pesar de lo aprendido, el lector no será capaz de realizar el estudio cuantitativo correspondiente con pura intuición, pero sí estará mucho más preparado para comprenderlo.
- Los valores obtenidos a partir de las evaluaciones por semestre de la Facultad de Arquitectura demostraron que sí existe un problema en la materia de estructuras, dado que el porcentaje de no acreditados, en promedio, es de aproximadamente 40%. Este índice aumenta radicalmente en los

semestres irregulares y llega a tener hasta casi 70% de no acreditados de la materia, y aunque no muchos alumnos se inscriben en cursos irregulares, sí es un número muy alto de no acreditación. ¿De qué manera se puede generar un interés por parte de los alumnos para evitar tales índices; con modelos a escala, ejemplos encontrados en la cotidianeidad, un recorrido por la naturaleza, visitas de sitio?

Se observó que entre 2010-1 y 2013-2 ha habido una disminución, mínima, en estos porcentajes, tanto de semestres regulares como de irregulares, pero es necesario reducir, aún más, el número de alumnos no acreditados. Con los conocimientos de esta guía se pretende otorgarle a los alumnos un apoyo para comprender los conceptos y la lógica estructural, y de este modo entender el cálculo básico, propuesto en el plan de estudios de las materias de sistemas estructurales.

- Con el experimento realizado, proponer un edificio simétrico en la zona más conflictiva (sísmicamente hablando) de la ciudad, se pretendió probar que

momentos obtenidos fueran menores que los resultantes, para esa geometría; se llegó a la conclusión de que los resultados fueron satisfactorios, ya que todos los elementos resisten tanto las cargas verticales como las inducidas por el sismo. También se observó que incluso se podrían reducir un poco los elementos, pero a conciencia del estructurista.

Para garantizar buenos resultados es necesario que los edificios propuestos sean lo más simétricos y regulares posible, en cuanto a forma, distribución y cargas. En el caso de contar con formas irregulares en el anteproyecto, lo ideal es encontrar la manera de que se puedan descomponer en formas simples. Yo preguntaría si realmente se necesita crear formas irregulares y complejas para crear arquitectura contemporánea o la creatividad para transformar formas simples en espacios dignos de una buena arquitectura es mayor.

- Para tener un análisis estructural completo, es necesario conocer el lenguaje que estudia los hechos medibles de las cosas, es decir las

matemáticas. Las matemáticas utilizadas para estos análisis son muy simples y únicamente resuelven el álgebra y el cálculo elemental.

El cálculo requerido para estructuras es únicamente un método de comprobación y corrección de las dimensiones obtenidas por la intuición del proyectista. Es por esto que es muy importante comprender el por qué de las estructuras y cuál es su naturaleza, así las correcciones serán mínimas. A pesar de que es un proceso muy importante, dado que otorga la seguridad de los edificios, no se debe partir del cálculo para realizar la traza de la estructura, sino todo lo contrario.

El conocimiento más profundo de las estructuras se obtiene del trabajo en campo, viendo constantemente los problemas de obra, las fallas, la organización, etc., pero no está de más llegar con un conocimiento previo para facilitar el ejercicio.

Las estructuras no tienen un sólo camino, existen miles de posibilidades inexploradas. ¿Tú qué harías?

bibliografía

libros

- Salvadori, Mario y Heller Robert. “*Estructuras para Arquitectos*”. Ed. Nobuko, 2005, Buenos Aires, Argentina.
- Torroja Miret, Eduardo. “*Razón y Ser de los Tipos Estructurales*”. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2010, Madrid, España.
- Gómez Tremari, Rafael. “*Diseño Estructural Simplificado*”. Coordinación Editorial de la Universidad de Guadalajara, 1997, Jalisco, México.
- Ambrose, James. “*Diseño Simplificado de Estructuras de Edificios*”. Ed. Limusa, 1982, D.F., México.
- Méndez Chamorro, Francisco. “*Criterios de Dimensionamiento Estructural*”. Ed. Trillas, 1991, México.
- Becerra Padilla, Benjamín. “*Sistemas Estructurales*”. Casa Editorial Lomo Sapiens, 2011, D.F., México.
- Heino, Engel, “*Sistemas de Estructuras*”. Ed. Gustavo Gili, 2001, Barcelona, España.
- Gordon, J.E. “*Structures or Why Things Don't Fall Down*”. Ed. Da Group. 2003, E.U.A.
- Salvadori, Mario. “*The Strength of Architecture: Why Buildings Stand Up*”. Ed. Norton & Company Inc., 2002, Nueva York, E.U.A.
- Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A.C. “*Manual de Construcción en Acero: Diseño por Esfuerzos Permisibles*”. Ed. Limusa, 2011, D.F., México.
- Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez Max, “*Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias*”. Ed. Trillas, 2004, D.F., México.

- Frederick, Mattheew. “101 Things I Learned in Architecture School”. MIT Press, 2007, Cambridge, E.U.A.
- Cardellach, Félix. “Filosofía de las Estructuras”. Ed. Editores Técnicos Asociados (eta), 1970, Barcelona, España.
- Castillo, Heberto. “Análisis y Diseño de Estructuras”. Ed. Alfaomega Grupo Editor, 1997, D.F., México
- Sánchez Ochoa, Jorge. “Análisis Estructural en Arquitectura”. Ed. Trillas, 1991, D.F., México
- Tuma y Munshi. “Análisis Estructural Avanzado”. Ed. McGraw Hill, 1974, U.S.A.
- Prialla, Meli. “Diseño Estructural”. Ed. Limusa y Grupo Noriega Editores, 2001, D.F., México.
-
- páginas web
-
- <http://www.portalplanetasedna.com.ar>
- <http://www.turismocoruna.com>
- <http://es.123rf.com>
- <http://www.englishheritagewallpapers10.net>
- <http://www.arqhys.com>
- <http://www.bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com>
- <http://www.definición.de>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.histartes.blogspot.mx>
- <http://www.artesinternacional.blogspot.mx>
- <http://www.maderas.com>