

Arq. Gloria Diez

**Diseño Estructural
en Arquitectura**

Introducción

nobuko

Diez, Gloria

Diseño estructural en Arquitectura: introducción - 1a ed. - Buenos Aires:
Nobuko, 2005.

222 p.; 21x15 cm.

ISBN 987-584-014-9

I. Arquitectura I. Título
CDD 720.

Diseño general

Miguel Novillo - Ángel Fernández

miguelangelus2@ciudad.com.ar

miguelangelus@ciudad.com.ar

Edición a cargo

Rosanna Cabrera

Corrección

Cristina Álvarez

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina / Printed in Argentina

La reproducción total o parcial de este libro, en cualquier forma que sea, idéntica o modificada, no autorizada por los autores, viola derechos reservados; cualquier utilización debe ser previamente solicitada.

© 2005 nobuko

ISBN 987-584-014-9

Marzo de 2007

Este libro fue impreso bajo demanda, mediante tecnología digital Xerox en

bibliográfika de Voros S.A. Av. El Cano 4048. Capital.

Info@bibliografika.com / www.bibliografika.com

Venta en:

LIBRERIA TECNICA CP67

Florida 683 - Local 18

C1005AAM Buenos Aires - Argentina

Tel: (54 11) 4314-6303 - Fax: 4314-7135

E-mail: cp67@cp67.com. - www.cp67.com

FADU - Ciudad Universitaria

Pabellón 3 - Planta Baja

C1428EHA Buenos Aires - Argentina

Tel: (54 11) 4786-7244

*A mis cinco hijos, razón de mi vida
y motor fundamental de mi superación,
... y a mis alumnos y futuros arquitectos
que de alguna manera también lo son...*

Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi profunda gratitud a mi Maestro Arquitecto Carlos Terzoni, Profesor Titular Consulto de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (UBA).

A quienes me han dado la oportunidad de acompañarlos y colaborar con ellos en distintos niveles de enseñanza de las Estructuras, en especial al Arquitecto Jorge Fucaracce, Decano de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Abierta Interamericana.

A mis alumnos de muchos años de dedicación docente, que con su aceptación y afecto han sido el incentivo para mejorar cada día.

Y un agradecimiento especial al grupo de alumnos de ITE del ciclo lectivo 2001: Laura Chehebar, María Brassara y Romina Lojo, cuyo trabajo final es tapa de este libro.

Índice

Introducción	11
Capítulo I	
La estructura en la arquitectura: Exigencias básicas estructurales	15
<i>La estructura en la arquitectura</i>	17
Definición de estructura	17
Capítulo II	
Acciones sobre las construcciones: Cargas	25
<i>Acciones sobre las construcciones: Cargas</i>	27
Objeto de su estudio	27
Clasificación de las cargas	28
Determinación de la magnitud de las cargas	32
Peso específico de los materiales más utilizados	42
Sobrecargas, cargas accidentales o útiles	46
Capítulo III	
Estática gráfica	49
<i>Estática</i>	51
Hipótesis de la estática	53
Sistema de fuerzas - Composición y descomposición	54
Momento de una fuerza	61
Capítulo IV	
Vínculos - Apoyos	65
<i>Vínculos</i>	67
Apoyos simples	68
Apoyos dobles	69
Apoyos triples	71
Nudos	71

Capítulo V

Resistencia de materiales: Estados básicos de tensión	75
<i>Resistencia de materiales</i>	77
Materiales - Clasificación - Propiedades	77
Nociones elementales de resistencia	83
Estados de sollicitación simple	85
Hipótesis fundamentales de la resistencia de materiales	89
Ensayos - Tensiones	92
Módulo de elasticidad (Tabla)	95
Tensiones admisibles (Tabla)	95

Capítulo VI

Geometría: Enfoque morfológico	97
<i>Geometría de la sección transversal</i>	99
Área o Superficie	100
Momento de 1º Orden	102
Momento estático	102
Baricentro	102
Momento de 2º Orden	103
Momento de inercia	103
Momento centrífugo	105
Momento polar	105
Geometría de las superficies	106
Clasificación de las superficies	107
Cuádricas	111

Capítulo VII

Elementos lineales simples	115
<i>Tensor y Puntal</i>	117
Columnas	120
Pilares	120
Cables y Arcos	123
Sistema de cables	123
Sistema de arcos	127

Capítulo VIII

Elementos lineales sollicitados a flexión	129
<i>Vigas</i>	131

Capítulo IX

Elementos planos reticulados	139
<i>Estructuras de barras</i>	141
Tipología y clasificación	143

Capítulo X

Estructuras de tracción pura	149
<i>Sistemas estructurales de forma activa</i>	151
1. Estructuras sometidas a tracción pura	151
Mecanismo de desviación de cargas	151
Materiales	152
Estabilización de la cubierta	154
Posibilidades formales	156
Ventajas e inconvenientes del sistema	159
2. Estructuras neumáticas	160
Materiales	161
Geometría de la membrana	161

Capítulo XI

Estructuras de compresión dominante	165
<i>Sistemas estructurales de forma activa</i>	167
Mecanismo de desviación de cargas	167
Materiales	170
Posibilidades formales	170
Bóveda	170
Cúpula	171
Pandeo	172
Ventajas e inconvenientes del sistema	173

Capítulo XII

Estructuras laminares - Cáscaras	175
<i>Sistemas estructurales de superficie activa</i>	177
Cáscaras	177
Mecanismo de desviación de cargas	177
Relación de los materiales	179
Materiales	180
Posibilidades formales	180
Ventajas e inconvenientes del sistema	183

Plegados	183
Posibilidades formales	184
Apoyos	184
Luces y espesores	185

Capítulo XIII

Estructuras de flexión dominante	187
<i>Sistemas estructurales de masa activa</i>	189
Mecanismo de desviación de cargas	189
Elementos solicitados a flexión	190
Losas	190
Emparrillado de vigas	193
Tabiques	194
Pórticos	195

Capítulo XIV

Estructuras reticuladas	197
<i>Sistemas estructurales de vector activo</i>	199
Mecanismo de desviación de cargas	199
Sistemas curvos triangulados	199
Estéreoestructuras	202

Capítulo XV

Sistemas estructurales para fundaciones: El suelo	205
<i>Fundaciones</i>	207
Suelos	207
Distintos tipos de suelos	209
Clasificación unificada de los suelos	209
Clasificación de acuerdo con su comportamiento	210
Clasificación de los sistemas de fundaciones	211
Fundaciones superficiales o directas	212
Fundaciones de columnas y pilares	213
Zapatas de hormigón armado	214
Plateas de fundación	216
Fundación por pozos	216
Fundaciones indirectas	217
Pilotines	217
Pilotes	217
Fundaciones por consolidación	220
Submuración o recalce	221

Introducción

Este trabajo elemental esta dirigido fundamentalmente a aquéllos que aún no han desarrollado una metodología propia (incluso cuando fuera en forma primaria) para el análisis crítico de las estructuras resistentes.

El análisis y crítica estructural puede abarcar distintos aspectos, según sea el o los objetivos que se persigan, por lo tanto, plantearemos aquí aquéllos que, por pertenecer a un grado elemental de análisis, permitan que se los utilice al incorporarse los conocimientos y experiencias nuevas.

Una obra arquitectónica es única e indivisible, debe ser concebida como un todo formal, funcional y técnico.

Para el arquitecto es necesario e imprescindible el conocimiento del origen estructural.

Dado que la estructura no se puede concebir como un hecho aislado sino como una parte indivisible de la obra arquitectónica, cualquier análisis que se encare deberá hacerse **con relación al conjunto y con relación a la estructura misma.**

En el análisis de una estructura podríamos plantear, en principio que ella será óptima con relación a otra, cuando resuelve el problema de soportar las mismas cargas, salvando las mismas distancias con la menor cantidad de material y la misma seguridad, siendo su costo compatible con el uso y mantenimiento de la obra.

La aptitud nace de la buena organización del conjunto de los elementos resistentes estructurales, sus formas y dimensiones, en función a la tecnología disponible y a la economía de la obra, de allí que:

El arquitecto necesariamente debe dominar el conocimiento, la estrategia y el arte del diseño estructural.

El criterio utilizado para la clasificación de los distintos **sistemas estructurales** tiene como objetivo la comprensión del funcionamiento básico, conside-

rando a éste como el encargado de encaminar las fuerzas hacia determinadas direcciones con el fin de solucionar el conflicto entre la verticalidad de la gravedad terrestre y la dinámica horizontal del movimiento humano.

Al mismo tiempo se debe comprender que el funcionamiento de los mismos es independiente de la magnitud de las cargas, la escala de la obra y de los materiales empleados, y que son estos sistemas destinados a cubrir espacios, los ordenadores en que se basan los principios del diseño de la obra de arquitectura.

Se han expuesto dos clasificaciones diferentes, una basada en el estado de sollicitación interna de los distintos elementos componentes actuando bajo la carga de servicio, en general nos referimos a elementos lineales o planos; y una segunda clasificación basada en los mecanismos sustentantes dominantes, la acción principal de desviación de cargas, que comprende cinco familias o grupos (tomando como base la clasificación detallada por Engel).

1. Estructuras de forma activa: son aquéllas que actúan por su forma material y son descritas como sistemas cuya forma es el camino de las fuerzas expresado en la materia.

Esta familia estructural está compuesta por las **Estructuras de tracción**, que a su vez se subdividen en **Estructuras de tracción pura** y **Estructuras neumáticas**, y en **Estructuras de compresión dominante**.

Son los sistemas más económicos para cubrir grandes luces atendiendo a la relación luz-peso.

2. Estructuras de superficie activa: también llamadas *sistemas laminares*, son aquéllas que actúan por continuidad superficial y de forma combinando esfuerzos de tracción y compresión normales a la sección y tangenciales a su radio de curvatura.

Esta familia estructural se subdivide en **Sistemas de cáscaras** y **Sistemas de plegados**.

Definimos a las *cáscaras* como láminas curvas y como *plegados* a sistemas de láminas curvas o planas vinculadas por sus bordes o aristas.

3. Estructuras de vector activo: denominadas *estructuras de barras* o *reticulados*, son aquéllas que actúan por medio de elementos componentes llamados barras, vinculadas mediante nudos a partir de la triangulación, solicitados a tracción y/o a compresión ejercido en forma axial al eje del elemento estructural.

Esta familia estructural se subdivide en **Sistemas planos triangulares** y **Estéreoestructuras**.

Estos sistemas descomponen las fuerzas aplicadas en los nudos, los cuales consideramos articulados en la dirección de los elementos concurrentes al mismo.

4. Estructuras de masa activa: son aquellas que actúan por flexión dominante, es decir, la combinación de esfuerzos de tracción y compresión en un plano normal a la sección del elemento y con esfuerzos de corte en forma tangencial a la misma, actúan por continuidad de masa, o sea, por cantidad de material.

Esta familia estructural se subdivide en **Sistemas superficiales** (losas, tabiques) y **Sistemas lineales** (vigas, pórticos).

Si bien no son sistemas económicos son los más aptos, ya que permiten la materialización de planos horizontales necesarios para el desplazamiento humano.

La deformación específica de este sistema es la curvatura del eje o de la superficie a consecuencia de la flexión.

5. Estructuras para fundaciones: son aquellas encargadas de transmitir las cargas al terreno.

Esta familia estructural se subdivide en **Sistemas de fundaciones directas** y **Sistemas de fundaciones indirectas**.

Capítulo I

**La estructura en
la arquitectura:**
Exigencias básicas
estructurales

LA ESTRUCTURA EN LA ARQUITECTURA

La Arquitectura es el resultado de una actividad natural del hombre, que trata de humanizar el espacio, con los medios que la cultura pone a su disposición, es decir, trata de limitar el espacio, que le sea útil para desarrollar sus actividades públicas o privadas.

Uno de los problemas básicos que se plantea a la Arquitectura actual es el de resolver el aspecto técnico, ajustándose a las posibilidades tecnológicas que evolucionan día a día.

Podemos interpretar como una de las finalidades de la Arquitectura:

La ordenación del espacio hacia el bienestar del hombre.

Cuando hablamos de **Arquitectura**, consciente o inconscientemente, hablamos de **Estructura**, el diseño arquitectónico y el estructural son inseparables.

La estructura es un componente esencial de la arquitectura, ya sea para construir un simple refugio o cerrar grandes espacios donde se reúnen centenares de personas.

Desde la Antigüedad, el hombre tuvo que dar forma a ciertos materiales y aprender a usarlos en determinadas cantidades para resistir distintas cargas, de manera de poder delimitar espacios sólidamente adecuados para desarrollar sus actividades, en forma económica e integrado con el entorno.

Uno de los primeros teóricos de la Arquitectura, Marco Vitrubio Polión (arquitecto romano de la época de Augusto) expresaba que toda obra debe contar con tres aspectos fundamentales:

En toda construcción hay que tener en cuenta su solidez
(*firmitas*), **su utilidad** (*utilitas*) **y su belleza** (*venustas*).

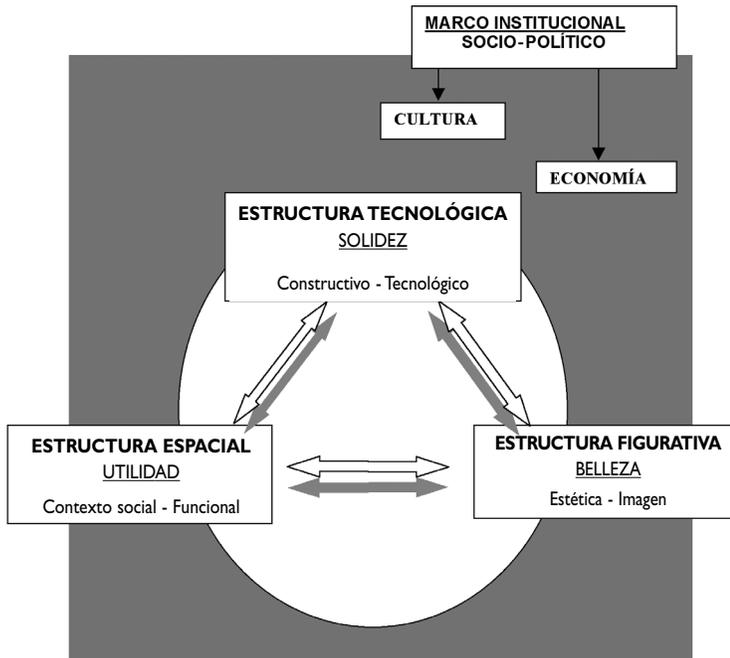
Ver Gráfico pág. siguiente

Una obra arquitectónica es única e indivisible, y debe ser concebida como un todo formal, funcional y técnico.

DEFINICIÓN DE ESTRUCTURA

La **estructura** es aquello que hace al armado, a la disposición de las partes de una obra.

Generalmente, cuando hablamos de estructura, pensamos en aquella parte del conjunto que sostiene o soporta, que distribuye o reparte cargas, es decir, que



hace al equilibrio estático de la construcción, pero si bien éste es su fin inmediato, la estructura debe cumplir la función de organizar, dar sentido, **estructurar la totalidad**.

La estructura deberá sostener **estáticamente** y **estéticamente** la composición.

La naturaleza nos brinda incontables ejemplos donde esto se pone de manifiesto, tal es el caso de los árboles, la forma de sus ramas y tronco, aún sin tener su follaje, es decir su estructura, nos permite imaginar cómo es en plenitud. Lo mismo ocurre con el esqueleto de los animales y del hombre, que nos permite determinar el tamaño, las proporciones y la conformación general, en donde cada elemento tiene la cantidad de material exactamente necesario para la función que cumple, elevando al máximo la racionalización.

Del mismo modo, a través de la estructura de una construcción se deben poder leer su destino y organización, adaptándose al partido del proyecto, subordinándose a él y resolviendo el planteo en forma clara y económica.

El proceso de visualizar o concebir una estructura es un arte.

Básicamente es motivado por una experiencia interna, por una intuición.

Nunca es sólo el resultado del razonamiento deductivo.

Eduardo Torroja

La realización de la Arquitectura, al pasar de la idea abstracta a la concreta, depende de la “dimensión técnica” del proyecto, o sea, de la concreción de la idea espacial y proyectual en una estructura resistente.

Los conceptos físicos básicos deben ser entendidos e interiorizados por completo si se quiere integrar inteligentemente la estructura y el diseño.

Los diagramas conceptuales ayudan a desarrollar el entendimiento intuitivo sobre el funcionamiento de la estructura con relación al diseño de un edificio. Esta comprensión requiere una atención a las leyes de la naturaleza que afectan a las estructuras y a la respuesta de éstas.

La principal dificultad parece consistir en adquirir una cierta capacidad de imaginación para poder comprender y relacionar, en una estructura, las cargas aplicadas y los esfuerzos resultantes.

Los primeros arquitectos servían como “maestros constructores”, al diseñar la estructura como una parte integral del edificio mismo, debido a que los sistemas estructurales tradicionales evolucionaron con lentitud y se podían dimensionar y construir sobre la base de la experiencia de proyectos previos.

Con el correr del tiempo y a medida que se fueron dando los avances tecnológicos (elevadores, plomería a presión, iluminación eléctrica, ventilación mecánica y desarrollo estructural), los edificios se construyeron más grandes, altos y complejos.

La función del arquitecto también evolucionó, transformándose en el líder de un equipo asistido por consultores técnicos especializados, pero para desempeñarse en este nuevo rol y mantener el control del diseño en general es indispensable que el arquitecto entienda conceptualmente esas disciplinas técnicas.

Para el arquitecto es necesario e imprescindible el conocimiento del diseño y funcionamiento estructural.

Dado que la estructura no se puede concebir como un hecho aislado sino como una parte indivisible de la obra arquitectónica, cualquier análisis que se encare deberá hacerse **en relación con el conjunto y en relación con la estructura misma.**

Podemos sintetizar entonces que:

ESTRUCTURA

Es un conjunto de elementos resistentes convenientemente vinculados entre sí que accionan y reaccionan bajo las cargas de servicio.

• Su finalidad es la de *recibir, resistir y transmitir* las cargas a los apoyos sin sufrir deformaciones incompatibles en relación con el material, al estado de sollicitación y al uso de los edificios.

- Las cargas deben llevarse a tierra y ésta a su vez se comporta como una estructura.
- La estructura es la encargada de cerrar y delimitar el espacio arquitectónico.
- En ocasiones, se la construye para unir dos puntos, como en el caso de puentes y ascensores.

EXIGENCIAS BÁSICAS

Las **exigencias básicas estructurales** son aquéllas que debemos tener en cuenta para lograr una **estructura óptima**, y son:

- Equilibrio
- Estabilidad
- Resistencia
- Funcionalidad
- Economía
- Estética

Con relación al conjunto

Plantaremos aquí las exigencias de *funcionalidad y estética*, ya que el resto aparecerá al encarar el análisis sobre la estructura misma.

FUNCIONALIDAD

Se tendrá en cuenta si se cumplen las condiciones funcionales del edificio, ya que éstas son previas al diseño de la obra y, por lo tanto, la estructura deberá facilitar, o por lo menos no interferir, en el buen funcionamiento arquitectónico.

En ciertos casos las exigencias funcionales pueden llegar a condicionar en grado sumo las posibles soluciones estructurales.

Se verificará si el sistema estructural elegido se adapta a las condicionantes con la máxima flexibilidad en cuanto a zonificación, circulaciones, dimensiones de locales, sistemas de crecimiento e instalaciones.

ESTÉTICA

El arquitecto al decidir el sistema estructural que considera más conveniente para expresar su concepto del edificio, impone sus postulados estéticos a la estructura.

Independientemente de ello, por tratarse de un hecho formal, la estructura es de por sí portadora de emoción estética.

Según los espacios arquitectónicos que la estructura contribuye a limitar o sostener, el análisis de los aspectos estéticos será planteado de diferente manera; como por ejemplo tomaremos el caso de edificios pequeños y de poca complejidad, en estos casos es posible que la estructura se *subordine a la función* y se confunda con los elementos de cerramiento, por lo que el aporte puede ser muy limitado, y los valores estéticos aparecerán en función del conjunto.

En otros casos, debido a la complejidad (lucos a salvar, altura de obra u otras causas) el sistema estructural es una *parte activa en la expresión de su arquitectura*, ya sea porque define su volumetría, el espacio interior o la forma exterior del edificio.

Con relación al aspecto funcional y estético, H. Engel opina que:

En la medida que el proyecto estructural y la estructura misma sean capaces de reforzar el concepto funcional, social y estético del espacio, podrá medirse la calidad de la estructura arquitectónica.

Con relación a la estructura misma

En la consideración del resto de las exigencias básicas debemos tener en cuenta que si bien ellas pertenecen casi exclusivamente a la estructura, del mismo modo que las anteriores, están en función de la totalidad de la obra, encontrándose, por lo tanto, subordinadas en gran medida a las decisiones adoptadas para el conjunto, principalmente en los aspectos constructivos y económicos.

EQUILIBRIO

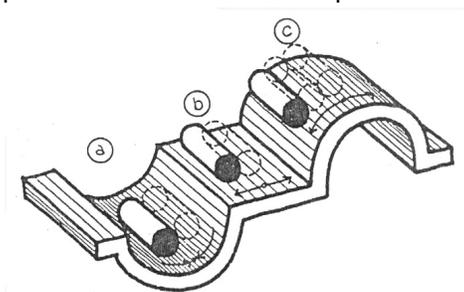
Es fundamental ya que se relaciona con la garantía de que la estructura o cualquiera de sus partes sea capaz de generar mecanismos que equilibren las acciones con las reacciones, conduciendo las cargas a los apoyos.

La resultante entre fuerzas activas y reactivas debe ser **nula**.

Dicho de otro modo, no se moverá, no sufrirá desplazamientos, debiendo soportar sin peligro las cargas de servicio que se pudieran producir a lo largo de su vida útil.

El equilibrio estático de un cuerpo puede ser: **estable, indiferente o inestable**, y podemos ejemplificarlas mediante un rodillo apoyado alternativamente:

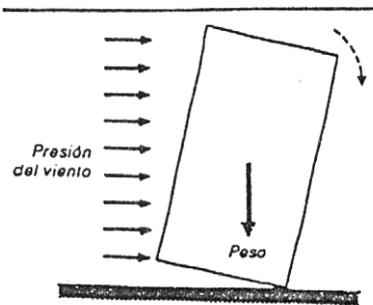
- sobre una superficie cóncavaequilibrio estable
- sobre una superficie planaequilibrio indiferente
- sobre una superficie convexaequilibrio inestable



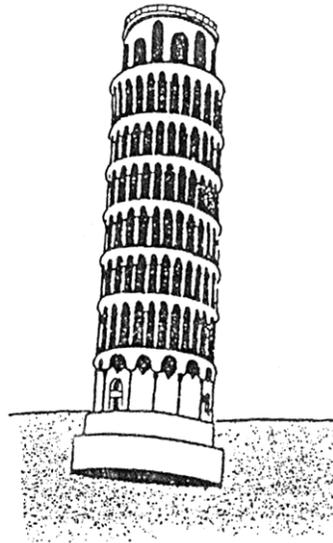
ESTABILIDAD

El equilibrio a su vez debe ser estable, es decir, no deberá alterarse por la aparición, desaparición o modificación de las cargas de servicio. La estructura en su conjunto generará diferentes estados de equilibrio, en función de las diversas combinaciones que pudieran producirse entre las cargas permanentes y accidentales a lo largo de su vida útil.

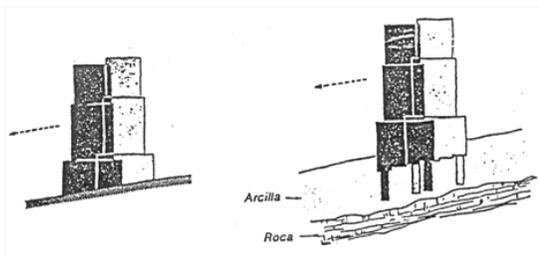
No deberá existir la posibilidad de movimientos inaceptables, como por ejemplo: deslizamientos o vuelcos.



Inestabilidad debida al viento o sismo (acciones horizontales).



Inestabilidad debida a asentamiento irregular.



Inestabilidad debida al desplazamiento del terreno.

RESISTENCIA

Concierne a la integridad de la estructura y cada una de sus partes.

No debe existir peligro de rotura del conjunto o sus partes, el material de la estructura estará usado en cantidad y calidad suficientes como para soportar las acciones de las diferentes solicitaciones sin romperse ni sufrir deformaciones inaceptables.

La deformación probable bajo condiciones extremas de carga deberá mantenerse por debajo de los límites compatibles con el material, el buen funcionamiento y el aspecto del edificio.

TÉCNICA CONSTRUCTIVA

En la materialización de la estructura intervienen, tanto la elección de los materiales aptos para resistir los esfuerzos que surjan del estado de sollicitación, como la disponibilidad de mano de obra, equipos y técnicas de ejecución acordes con dichos materiales, que garanticen la ejecución de la obra de acuerdo con lo previsto por el proyectista.

La voluntad de materialización de nuevos sistemas estructurales llevó a la creación de técnicas tales como la prefabricación y el pretensado.

ECONOMÍA

En la elección del sistema estructural más adecuado a los fines previstos, de los materiales y técnicas constructivas a utilizar, intervendrá el principio de la economía entendida en el sentido de obtener la mejor solución con el máximo rendimiento y el mínimo consumo.

MANTENIMIENTO

Si bien los costos iniciales suelen ser importantes, no puede evitarse la consideración de los mismos en función de los insumos necesarios para el mantenimiento de la estructura en condiciones de trabajo a lo largo de su vida útil. Así podemos encontrarnos con soluciones de bajo costo inicial que pueden ver comprometida su eficiencia sin un adecuado y sistemático mantenimiento, lo que puede reducir notablemente su campo de aplicación.

En el análisis de una estructura podríamos plantear, en principio que ella será más apta que otra cuando resuelve el problema de *soportar las mismas cargas, salvando las mismas distancias con la menor cantidad de material y la misma seguridad, siendo su costo compatible con el uso y mantenimiento de la obra.*

La aptitud nace de la buena organización del conjunto de los elementos resistentes estructurales, sus formas y dimensiones, en función a la tecnología disponible y a la economía de la obra; de allí que el arquitecto necesariamente deba dominar la estrategia y el arte del **Proyecto estructural.**



Puertas de Europa, Torres Kio, Madrid, España.

Capítulo II

**Acciones sobre las
construcciones:
Cargas**

ACCIONES SOBRE LAS CONSTRUCCIONES: CARGAS

Al dar la definición técnica de estructuras, las definimos como un conjunto de elementos convenientemente vinculados entre sí, que accionan y reaccionan bajo los efectos de las **cargas**.

Su finalidad (entre otras) es la de recibir, resistir y transmitir las **cargas** a los apoyos sin sufrir deformaciones incompatibles con relación al material, al estado de sollicitación y al uso del edificio.

Por último las cargas deben ser llevadas a tierra (ya que allí no hay espacio para el movimiento) y ésta a su vez se comportará como una estructura.

También afirmamos que la estructura con su forma material rígida es la encargada de mantener el espacio arquitectónico. Este espacio rodeado de materia provoca conflictos direccionales que el Proyecto Estructural debe resolver, obligando a las cargas o fuerzas a cambiar de dirección de manera que el espacio no tenga obstrucciones para el movimiento y la actividad humana.

Identificar el camino que siguen las cargas al ser conducidas por los distintos elementos hasta las fundaciones permite entender claramente el funcionamiento estructural.

Surge, por todo lo antedicho, y además, por el simple hecho de existir, que los edificios están sometidos a cargas y deben resistirlas.

Corresponde entonces como paso previo al análisis y estudio de los sistemas estructurales que desvían las cargas (fuerzas) hacia determinadas direcciones, conceptualizar, analizar, determinar y evaluar cuales son las que van a actuar en dichos sistemas.

Por último es importante recalcar que la determinación de cargas es un problema complejo y que depende entre otros del uso del edificio, de los materiales a utilizar y del emplazamiento de la obra.

OBJETO DE SU ESTUDIO

Es muy grande la variedad de tipos de cargas que existen: el mar sobre una escollera, un hombre parado sobre el suelo, el agua dentro de un tanque o el agua congelada que aumenta su volumen y puede romper dicho tanque.

De todo este gran espectro hay que delimitar el ámbito de las cargas que son importantes para el diseño de una estructura. Las condiciones de éstas se pueden modificar de un instante a otro.

Consideramos carga a toda causa capaz de producir estados tensionales en una estructura o elemento estructural.

También se puede definir a las cargas como aquellas fuerzas actuantes sobre los elementos estructurales.

CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS

Hay muchos criterios para clasificar las cargas, nosotros lo haremos de la siguiente forma:

- 1. Según su origen**
 - Gravitacionales
 - Eólicas
 - Sísmicas
 - Especiales
 - Por maquinarias
 - Presión de agua
 - Presión del terreno
 - Por deformaciones
 - Térmicas
 - Por descenso de apoyos
 - Variación de propiedades
- 2. Según su estado inercial**
 - Estáticas
 - Dinámicas
 - Móviles
 - De impacto
 - Resonancia
- 3. Según su tiempo de aplicación**
 - Permanentes
 - Accidentales
- 4. Según su ubicación en el espacio**
 - Concentradas
 - Distribuidas
- 5. Según su recta de acción**
 - Verticales
 - Horizontales
 - Oblicuas

Las cargas más importantes que soporta una estructura no sufren cambios bruscos, son las cargas estáticas y son la base del diseño de la misma.

I. Según su origen:

Gravitacionales: son las que actúan sobre una estructura como consecuencia de la acción de la gravedad (fuerza de atracción que ejerce la tierra sobre todos los cuerpos), por lo tanto, siempre tienen dirección vertical, como por ejemplo: el peso propio, muebles, personas, etc.

Eólicas: son aquellas producidas por la acción del viento que afectará a las construcciones según sea su implantación, altura e incidencia en relación con su peso.

Sísmicas: son las originadas por los fenómenos sísmicos o terremotos que producen sacudidas y oscilaciones, provocando movimientos en el terreno donde se apoya la estructura, exigiendo a ésta esfuerzos adicionales para mantener el equilibrio.

Especiales: Pueden ser originadas por:

Maquinarias o Mecanismos: vibradores para asentamiento del colado de hormigón en un entrepiso, choque de un auto contra una columna de estacionamiento; vibraciones por cercanía de: autopistas, ferrocarril, máquinas. Impacto producido por caída de contrapeso de ascensor. Traslado de máquinas durante el montaje.

Presión de agua (subpresión): sobre la superficie lateral y fondo de un tanque o sobre el subsuelo de un edificio producido por la napa de agua.

Presión del terreno: se producen en las paredes de un sótano o muros de contención.

Por deformaciones: son originadas por cargas internas a la estructura y no exteriores como las anteriormente estudiadas.

Son debidas a deformaciones que la estructura sufre por diversas causas:

Térmicas: las diferencias de temperatura provocan en los sólidos dilataciones y contracciones; si el sólido está confinado entre elementos rígidos que le impiden la deformación, se origina una carga.

Descenso de apoyos: estas cargas son generadas por deformaciones en los suelos de cimentación. Sometido al peso de un edificio, un suelo de resistencia no uniforme puede ceder más en una parte específica de la fundación que en otra.

El asentamiento no uniforme no implica al edificio ninguna carga adicional, pero su parte apoyada soporta una carga mayor y distinta que aquella para la cual fue proyectada, al mismo tiempo que la parte no apoyada también se halla sometida a un esfuerzo, tal como lo demuestran los diagramas de deformación total.

Variación de propiedades: las transformaciones químicas y las condicionantes ambientales pueden provocar deformaciones que se traducen en cargas, como por ejemplo: la contracción del hormigón por fragüe o el trabajo de la madera por la variación del tenor de humedad.

2. Según su estado inercial

Esta clasificación se refiere al *estado de reposo o movimiento* en que se encuentra la carga en el momento de actuar.

Estáticas: son las que durante su tiempo de aplicación no cambian nunca su estado de reposo o lo hacen muy lentamente en el tiempo.

En todos los casos son las cargas que durante el tiempo que actúan están en estado de reposo, y por extensión, aquéllas que tienen estado inercial despreciable, como por ejemplo: público en una sala de espectáculos, personas en edificios de oficinas y viviendas, el peso propio de la obra.

Dinámicas: son las cargas que varían rápidamente en el tiempo.

Según la dirección de su movimiento se pueden clasificar en:

Móviles: aquéllas en las cuales la dirección de desplazamiento de la carga es paralela al plano de aplicación de la misma y la dirección de aplicación de la carga perpendicular a dicho plano, por ejemplo: vehículos en movimiento.

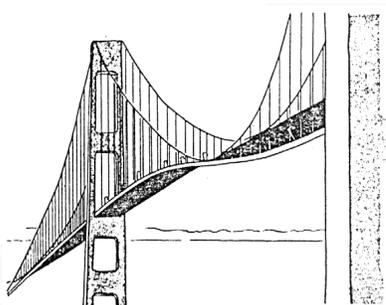
De impacto: son aquéllas en las cuales la dirección de la carga coincide con la dirección del movimiento y ésta es a su vez perpendicular al plano de aplicación de la carga, como por ejemplo: público saltando sobre gradas.

Las cargas móviles pueden tener un **efecto de resonancia**.

Este efecto se explica mediante la teoría que plantea que todas las estructuras son en cierta medida elásticas, poseen la propiedad de deformarse bajo la acción de las cargas y de volver a su posición inicial una vez desaparecida la misma; como consecuencia de su elasticidad, las estructuras tienden a oscilar.

El tiempo que tarda una estructura en describir una oscilación completa se denomina **período fundamental** y está en relación directa con su rigidez.

Cuando una carga dinámica actúa rítmicamente en una estructura, esta variación rítmica puede coincidir con el período fundamental de la misma (o con un múltiplo de éste), la estructura oscila con amplitud creciente y como consecuencia aumentan las deformaciones hasta su eventual rotura.



Colapso del Puente de Tacoma (EE.UU.) por oscilaciones aerodinámicas.

Las cargas resonantes se caracterizan por sus variaciones rítmicas.

El tirón rítmico de un campaneo origina una carga resonante, ya que una fuerza relativamente pequeña aplicada rítmicamente durante un tiempo prolongado, produce efectos crecientes: una fuerza pequeña rítmica puede provocar el giro de una campana de varias toneladas.

3. Según su tiempo de aplicación

Permanentes: son aquellas cargas que persisten durante toda la vida útil de la estructura.

Accidentales: son aquellas cargas cuya magnitud y/o posición puede variar a lo largo de la vida útil de la estructura, como por ejemplo: las personas, el viento, los muebles; y aquéllas que no se pueden prever con anterioridad, como por ejemplo: los terremotos.

4. Según su ubicación en el espacio

Concentradas o puntuales: son las cargas que actúan sobre una superficie muy reducida con respecto a la superficie total, como por ejemplo: las columnas o el anclaje de un tensor.

Distribuidas: son aquellas cargas que actúan sin solución de continuidad a lo largo de todo elemento estructural o en parte del mismo.

Uniformemente distribuidas: son aquellas cargas que mantienen un valor constante en toda su extensión, como por ejemplo: el peso propio de una losa o la presión de agua en el fondo de un tanque.

No uniformemente distribuidas: son aquellas cargas que varían su valor en distintos puntos de su extensión, como por ejemplo: la altura de una pared variable o la presión de agua en la pared de un tanque.

5. Según su recta de acción

Verticales: por gravitación o por subpresión.

Horizontales.

Oblicuas.

DETERMINACIÓN DE LA MAGNITUD DE LAS CARGAS

Distintos casos analizados según la clasificación por origen:

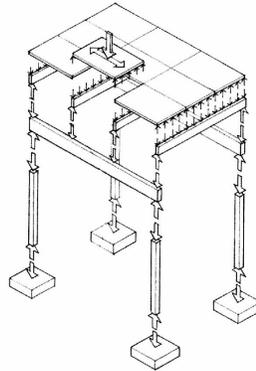
Cargas gravitacionales

El peso propio es, en muchos casos, la carga más importante aplicada a una estructura y puede superar varias veces las demás cargas, por ejemplo, en un edificio destinado a vivienda puede ser de 8 a 10 veces más que la carga útil (sobrecarga).

El cálculo del peso de los elementos se realiza multiplicando el volumen de éstos por el peso específico del material que lo compone.

Cuando los elementos son diferentes la carga se obtendrá sumando las diversas partes de la estructura.

$$\text{Peso} = \text{Pe} \cdot \text{V}$$



Las cargas más comunes y frecuentes en una estructura son las gravitacionales, debidas a su peso propio y el de todos los elementos constructivos.

Cada elemento estructural, así como todos los elementos constructivos, tienen su peso propio y debe agregarse a esto el peso del equipamiento y de las personas, llamada **sobrecarga** o carga útil.

Las cargas que debe resistir el piso de un edificio varían de tal manera, que es necesario tener en consideración la cantidad de ocupantes, la distribución de los muebles, el peso de las máquinas o el almacenamiento de mercaderías.

Para simplificar el cálculo las cargas más comunes no se evalúan en la práctica caso por caso, son dictadas al proyectista por el conjunto de normas y reglamentos contenidos en los Códigos de Edificación.

Son tantos los valores a tener en cuenta, que los códigos la reemplazan por una carga equivalente, se obtiene en base a pruebas estadísticas para diversos tipos de edificios y se modifica periódicamente a medida que surgen nuevas condiciones.

Las cargas especificadas en los Códigos son convencionales; la carga sobre un piso se puede suponer igual a un número constante de kg/m^2 , aunque en la práctica la carga de un piso nunca es uniforme.

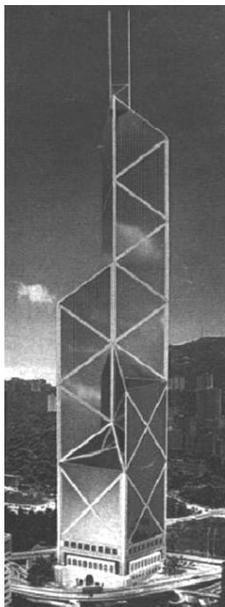
En nuestro país se encuentran en vigencia los Reglamentos CIRSOC (Centro de Investigación de los Reglamentos para la Seguridad de las Obras Civiles) y de ellos, la Serie 100 se refiere a las Acciones sobre las Construcciones.

El CIRSOC 101 proporciona los valores que corresponden a los pesos específicos de los distintos materiales y la estimación de la sobrecarga de uso según el destino.

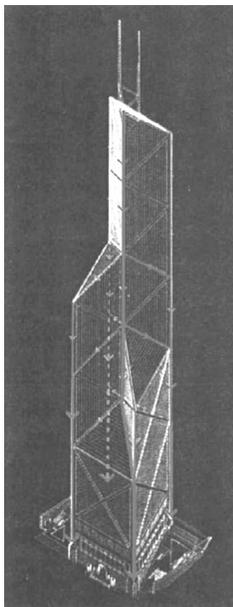
El CIRSOC 104 trata sobre el cálculo de la Acción de nieve, según la zonificación del país de acuerdo a la frecuencia de nevadas y un coeficiente que considera la pendiente y la forma total de la cubierta proyectada. La acumulación de nieve es mayor cuanto menor sea la pendiente.

Cargas eólicas

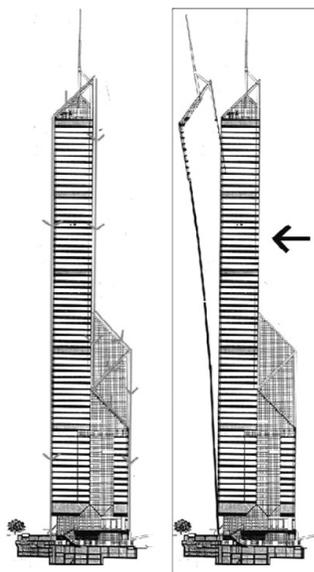
Se considera que el viento actúa en cualquier dirección. Para fines prácticos y salvo casos excepcionales se considera que la dirección del viento es horizontal y en cada caso se tomará en las circunstancias más desfavorables.



Banco de China.



Axonometría,
distribución de cargas.



Vista: distribución de cargas y
esquema de deformaciones.

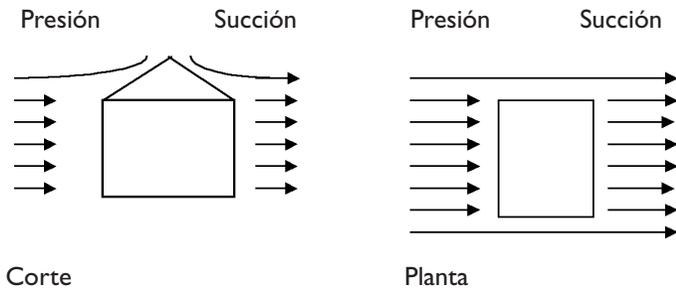
En edificios en altura, además de las cargas gravitacionales, toman gran importancia las cargas debidas a la acción del viento y de acuerdo a la implantación, las acciones sísmicas.

Tipología estructural: sistema de pórticos y estructura reticulada espacial.

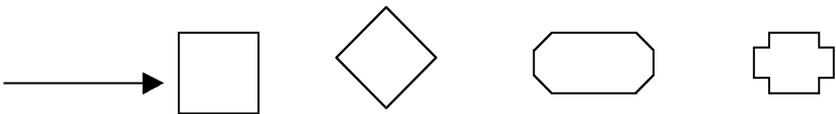
Cabe destacar que en Hong Kong la carga de viento producida por los tifones es mucho mayor que la carga sísmica, por lo tanto, la estructura fue calculada en función de la primera.

El viento ejerce sobre los obstáculos que encuentra esfuerzos que varían en el tiempo y en el espacio, produciendo en cada elemento una carga que puede ser **positiva** (presión) o **negativa** (succión), según la configuración de la construcción, la posición del elemento y el ángulo de incidencia en la superficie.

Es difícil determinar exactamente la carga que el viento ejerce sobre un edificio pues depende de numerosos factores entre los que podemos destacar su velocidad, determinada por la ubicación geográfica, las características del entorno (rugosidad) y la forma y superficie expuesta del edificio (de allí que para tener en cuenta la acción del viento se recurrirá en la mayoría de los casos a hipótesis de cálculo simplificadas, contenidas en los reglamentos).

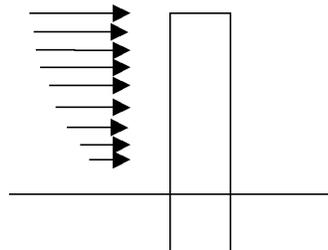


En los edificios en altura la forma de la cara que se opone al viento dominante, contribuye notablemente a disminuir la incidencia del mismo.



La **velocidad del viento** es la velocidad del aire en movimiento, que disminuye en las capas inferiores por rozamiento con el suelo, la carga del viento aumenta con la altura de las construcciones.

Los Códigos prescriben presiones y succiones uniformes cuyos valores se revisan periódicamente a fin de tomar en consideración la continua acumulación de conocimientos en el campo de la aerodinámica.



En nuestro país está en vigencia en la actualidad el CIRSOC N 102 y 102/1 (del año 1982) que es quien reglamenta el cálculo de la acción del viento.

En la actualidad se ha realizando una revisión y modificación de la Norma que entrará en vigencia a la brevedad.

Si bien en realidad la carga de viento es una carga dinámica, a los fines de su fácil determinación se la considera estática y también en este caso los Códigos simplifican el procedimiento de proyecto, tomando en cuenta las variaciones del viento en forma estadística y sugiriendo presiones convencionales seguras.

Los valores están fijados en kg/m^2 de superficie expuesta.

Cargas sísmicas

En ciertas regiones se deben tener en cuenta las cargas sísmicas.

Son las cargas que están originadas por fenómenos sísmicos, que producen sacudimientos y oscilaciones provocando movimientos donde se apoya la estructura, exigiéndole a la misma, esfuerzos adicionales para mantenerse en estado de equilibrio permanente.

Estas cargas provocan oscilaciones o movimientos ondulatorios parecidos a los de las olas del mar. Los terremotos, en consecuencia, son vibraciones de la superficie de la tierra causadas por deslizamientos del terreno (Teoría del movimiento de placas tectónicas) o por explosiones volcánicas. La magnitud de un sismo se puede medir según la *Escala Modificada Mercali*, en función de los daños ocasionados, o en *Escala Richter* que mide su intensidad en función de la energía liberada.

Las vibraciones se producen simultáneamente en dirección vertical y horizontal siendo estas últimas, en sus efectos, aproximadamente 10 veces más intensas que las primeras.

La aceleración generada por los desplazamientos del suelo, aplicada a la masa del edificio es lo que se transforma en carga, de acuerdo a la 2° Ley de Newton:

$F = m \cdot a$	Fuerza = Masa . Aceleración
-----------------	-----------------------------

Esta serie de sacudidas, variables al azar, se transmiten al edificio a través de sus fundaciones y producen movimientos convulsivos mucho mayores en los pisos altos.

Los terremotos son imprevisibles y su acción sobre los edificios depende de las características estructurales y constructivas de éstos en relación con la conformación geológica del terreno.

La determinación del estado de carga equivalente (horizontal fundamentalmente) al efecto sísmico se realizará mediante la aplicación de distintos métodos y reglamentos.

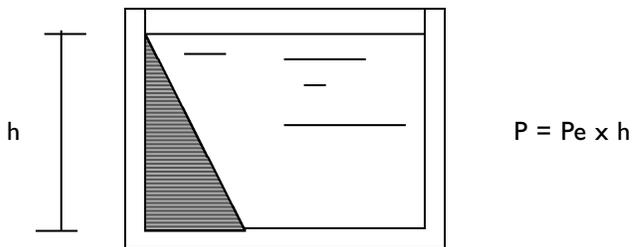
En nuestro país rige el CIRSOC 103 del año 1983, también en revisión en la actualidad, basado en estudios del INPRES (Instituto de Prevención sísmica, San Juan).

Como las fuerzas dinámicas debido al movimiento de la corteza terrestre son, mayoritariamente horizontales, se han diseñado diversos dispositivos para aislar los edificios de las vibraciones sísmicas: uno de ellos consta de pilares de cimiento, hechos de capas alternadas de plástico y acero, que actúan como resortes horizontales y permiten que el suelo se mueva debajo del edificio, los amortiguadores son también de utilización frecuente.

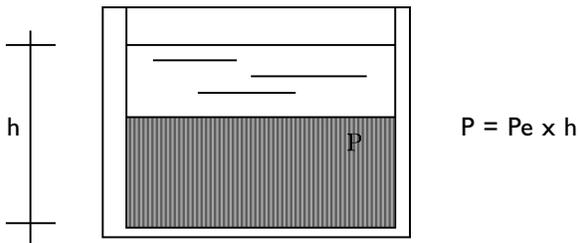
Cargas especiales

Presión de agua: las paredes laterales de los tanques de agua sufren una presión hidrostática interna de adentro hacia afuera y normal a la pared. Esta presión va creciendo desde el nivel superior del agua (donde es nula).

Dicha presión depende fundamentalmente del peso específico del líquido y de la altura del recipiente que lo contiene.



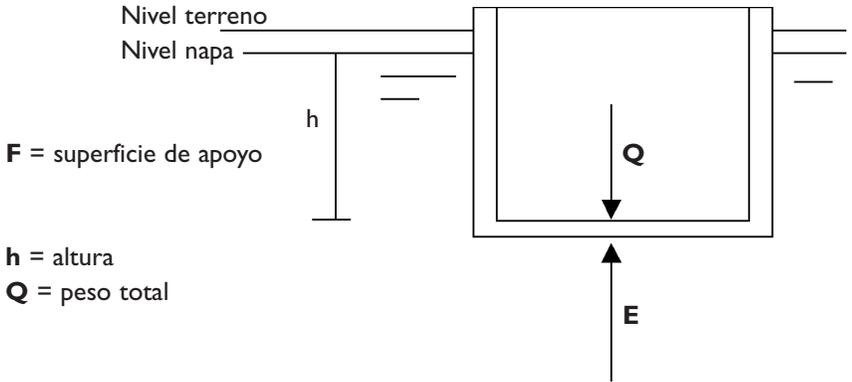
La presión sobre el fondo es igual a la carga lateral máxima.



Subpresión sobre la superficie horizontal: presión de una napa de agua sobre el subsuelo de un edificio.

Se basa en el principio de Arquímedes que dice: “Sobre todo cuerpo sumergido actúa un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del agua desalojada.”

$$\text{EMPUJE} = F \times h$$



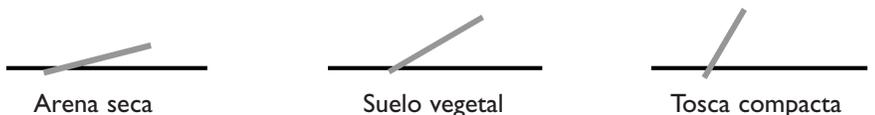
La presión sobre el terreno es igual a: $Q-E$

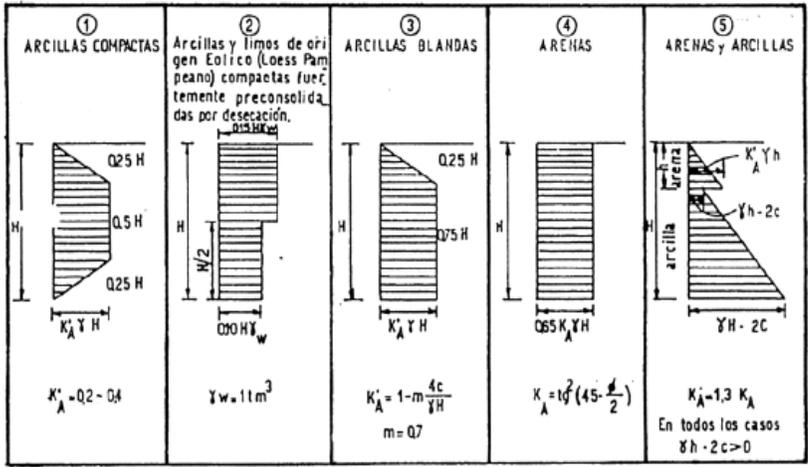
Esto implica que si $Q < E$, el cuerpo tiende a flotar, en cambio si $Q > E$ el cuerpo no flota.

Presión del terreno: cuando se realizan construcciones en contacto con la tierra deben tenerse en cuenta las cargas o acciones que ésta ejerce sobre las estructuras. Dicho de otra forma, un suelo en reposo es capaz de ejercer una presión o empuje sobre la estructura. Esta carga actúa sobre las paredes de un sótano o muros de contención en general, originadas por el deslizamiento del terreno natural que trata de contener.

Existe gran variedad de terrenos.

La resistencia a desmoronarse según un ángulo de deslizamiento (denominado “D”) depende de la compacidad y composición granulométrica del suelo, o sea, de las características de los elementos que lo componen.





Existen dos tipos principales de empuje:

El **empuje activo** es aquél que tiende a mover la estructura, por ejemplo: el tabique de soporte de talud y el **empuje pasivo** es aquél que se opone al movimiento de dicha estructura (cuando el tabique está entre la tierra y la presión de agua).

La carga que debe soportar una estructura de sostén varía de un caso a otro, por lo tanto, será necesario recurrir a ensayos de suelos para casos muy particulares o a valores tabulados por los Códigos de Edificación locales en los casos de suelos comunes, es decir, en general se trabaja con hipótesis que simplifican el problema.

Empuje pasivo \longrightarrow tiende a mover la estructura.
 Empuje activo \longrightarrow se opone al movimiento de la misma.



Para muros de contención se considera empuje activo.

Estos empujes pueden ser horizontales o verticales de abajo hacia arriba (subpresión).

Cuando existe la posibilidad de tener presencia de agua hay que realizar un drenaje en la zona inferior, sino hay que sumarle al empuje de la tierra la presión hidrostática.

Cargas originadas por deformaciones

Son originadas por cargas internas a las estructuras y no externas como las anteriores. El CIRSOC las denomina Acciones.

Cargas térmicas

Las diferencias de temperatura provocan en los sólidos dilataciones o contracciones. Si el sólido está compuesto por elementos rígidos que impiden la libre deformación se origina una carga.

Por ejemplo: el líquido que llena totalmente una botella, al congelarse se dilata y presiona las paredes, que al ser de vidrio se rompen.

Todas las estructuras están expuestas a cambios de temperatura y varían de forma y dimensión durante el día y la noche, y en ciclos más prolongados en invierno y verano.

Los efectos de la variación de dimensiones debida a la dilatación y contracción térmica equivalen a menudo a grandes cargas, peligrosas ya que no se ven.

Si consideramos un puente de acero, la variación de temperaturas entre el invierno y el verano hará que el mismo se dilate porque adquiere la temperatura del aire que le rodea, el aumento de la longitud es casi imperceptible, pero si las características constructivas del mismo no permiten este alargamiento puede verse afectada su resistencia.

Si la estructura cuenta con revestimientos térmicos que aseguren variaciones menores a 10°C puede prescindirse de considerarse el efecto térmico. Como estas cargas son producto de una deformación, ésta es la que se debe calcular en primer término.

Para calcular dicha deformación se utiliza el coeficiente de dilatación que depende del material utilizado, por ejemplo el coeficiente de dilatación del Hormigón armado ($H^{\circ}A^{\circ}$) es 0,000011 m/m°C y el del aluminio es de 0,000027 m/m°C.

Cargas por descenso de apoyos

La determinación de magnitud de las cargas por descenso irregular de apoyos es de gran complejidad, surge de la evaluación de las deformaciones sufridas por

los distintos elementos estructurales de la construcción. Como las características de cada edificio y las del terreno de cimentación varían en cada caso, muchas deformaciones no pueden ser tabuladas.

El examen del suelo de cada caso particular y la envergadura del peso del edificio en su totalidad y el tipo de fundación empleado dará las posibilidades de deformación, en función de la cual se calcula la carga.

El asentamiento no uniforme no le origina cargas adicionales al edificio, pero sus apoyos soportarán mayor carga, y de distinto tipo para la que fue proyectada y sus partes no apoyadas soportarán esfuerzos diferentes.

Cargas dinámicas

Móviles

Teniendo en cuenta su característica de carga móvil, la deformación de una estructura depende, en cada sección de la misma, de la ubicación que tome la carga en cada instante de su recorrido para determinar cuáles son, en definitiva, las posiciones de la carga que más deforman a la estructura.

De impacto

Las cargas de impacto están dadas en función de la fuerza por diferencial de tiempo; luego es mayor el efecto de una misma fuerza aplicada en un breve tiempo (de impacto) que aplicada en forma continua.

Como criterio de simplificación los códigos dan valores o porcentajes que incrementan la carga para distintos tipos de impacto.

Unidades de medida

Las cargas se miden según su distribución en el espacio, por lo tanto pueden ser **Concentradas**: las cuales se miden por unidad de fuerza (t, kg, N, kN).

Distribuidas:

En elementos lineales: unidad de fuerza x unidad de longitud (t/m).

En elementos superficiales: unidad de fuerza x unidad de superficie (t/m²).

Cuando del análisis de cargas efectuado resulten valores menores de los mínimos consignados a continuación, estos últimos prevalecerán.

500 kg/m² para entrepiso con acceso de personas.

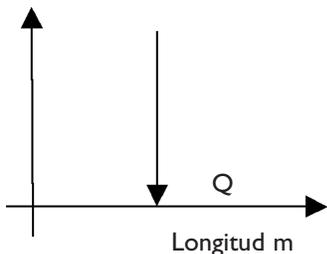
600 kg/m² para entrepisos de azoteas y losas de baños y cocinas.

Diagramas de carga, forma de representación

Un **diagrama de cargas** es un gráfico representativo de las cargas que actúan sobre un elemento estructural.

Las cargas se representan según un sistema de ejes cartesianos en el que sobre las ordenadas (eje y) se mide la cantidad de carga en kg o t, y sobre las abscisas (eje x) se mide la longitud de dicha carga, en m .

Carga
kg o t



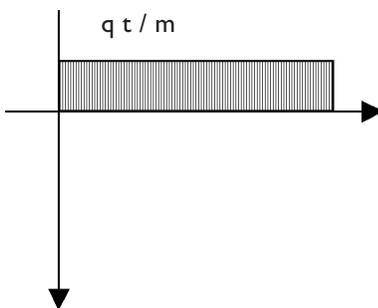
Si se trata de una *carga concentrada*, que actúa sobre una superficie muy pequeña con respecto al total, solo mediremos la cantidad de carga que transmite.

Normalmente se indica con la letra:

- Q** mayúscula si es carga total,
- G** mayúscula si es peso propio,
- P** mayúscula si es sobrecarga.

Carga distribuida:

- q** minúscula si es carga total,
- g** minúscula si es peso propio,
- p** minúscula si es sobrecarga.



Si se trata de una *carga distribuida*, tiene continuidad a lo largo del elemento estructural o parte del mismo, mediremos sobre la ordenada, la cantidad de carga y sobre la abscisa, la longitud de dicha carga. La superficie del diagrama representa el valor total de la carga.

Las superficies representativas de cargas distribuidas se rayan en sentido de las ordenadas.

Pueden ser:

- **Uniformemente distribuidas:** cuando mantienen un valor constante de la carga en toda su extensión.

• **No uniformemente distribuidas:** cuando las cargas varían en distintos puntos de su extensión.

En todos los casos de cargas distribuidas el valor total de la carga se considera aplicado en el centro de gravedad de la superficie.

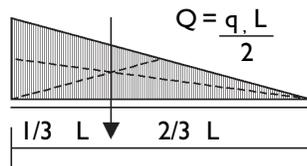
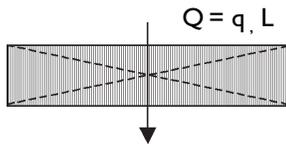
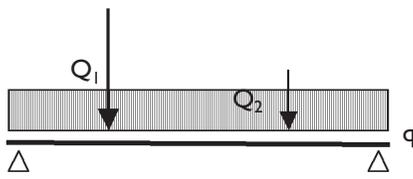


Diagrama de carga de una viga



Carga distribuida q (t/m)
Cargas concentradas Q_1 y Q_2 (t)

Peso específico de los materiales más utilizados

a. Cuerpos a granel:

	Kg / m³
1. Tierra seca	1.300 kg/m ³
2. Tierra húmeda	1.800 kg/m ³
3. Tierra saturada	2.100 kg/m ³
4. Arena seca	1.600 kg/m ³
5. Arena húmeda	1.860 kg/m ³
6. Arena saturada	2.100 kg/m ³
7. Gravilla o canto rodado secos	1.700 kg/m ³
8. Gravilla o canto rodado húmedos	2.000 kg/m ³
9. Piedra partida	1.700 kg/m ³
10. Cemento posado	1.400 kg/m ³
11. Cemento recalado por sacudimiento	2.000 kg/m ³
12. Cal viva	1.150 kg/m ³
13. Polvo de ladrillos	900 kg/m ³
14. Yeso	970 kg/m ³
15. Sal	1.250 kg/m ³
16. Escorias y ceniza de coke	750 kg/m ³
17. Escorias de carbón de piedra	1.000 kg/m ³
18. Ceniza	900 kg/m ³
19. Basura	660 kg/m ³

b. Piedras naturales:

1. Granito. Sienita. Pórfido	2.800 kg/m ³
2. Basalto	3.000 kg/m ³
3. Mármol	2.700 kg/m ³
4. Pizarra	2.700 kg/m ³
5. Piedra caliza compacta	2.500 kg/m ³
6. Piedra caliza porosa	2.000 kg/m ³

c. Mamposterías:

1. Ladrillos comunes, mezcla de cal	1.600 kg/m ³
2. Ladrillos comunes, mezcla de cemento	1.800 kg/m ³
3. Ladrillos huecos, mezcla de cal	1.300 kg/m ³
4. Ladrillos huecos, mezcla de cemento	1.500 kg/m ³
5. Ladrillos de máquina OSN mezcla de cal	2.000 kg/m ³
6. Ladrillos de máquina OSN mezcla de cemento	2.200 kg/m ³
7. Ladrillos prensados, mezcla de cal	1.900 kg/m ³
8. Ladrillos prensados, mezcla de cemento	2.100 kg/m ³
9. Ladrillos de escoria, carbonilla, empastados con cemento	1.300 kg/m ³
10. Ladrillos refractarios	2.700 kg/m ³
11. Mármol	2.500 kg/m ³
12. Piedra caliza	2.300 kg/m ³
13. Granito	2.600 kg/m ³
14. Piedra artificial	2.100 kg/m ³

d. Mezclas:

1. Cemento y arena	2.100 kg/m ³
2. Cemento, cal y arena	1.900 kg/m ³
3. Cal y arena	1.700 kg/m ³
4. Cal, arena y polvo de ladrillos	1.600 kg/m ³
5. Yeso fundido	1.000 kg/m ³

e. Hormigones:

1. Cemento, arena y canto rodado, piedra partida y granza granítica:	
Sin armar	2.200 kg/m ³
Armado	2.400 kg/m ³
2. Cemento, arena y cascotes	1.800 kg/m ³
3. Cal, arena, polvo de ladrillos y cascotes	1.600 kg/m ³

f. Maderas:

1. Abedul	650 kg/m ³
2. Álamo	500 kg/m ³
3. Algarrobo	810 kg/m ³
4. Caldén	630 kg/m ³
5. Caoba	820 kg/m ³
6. Cedro	750 kg/m ³
7. Cedro Misionero	550 kg/m ³
8. Coihué	660 kg/m ³
9. Curupay	1.080 kg/m ³
10. Ébano	1.300 kg/m ³
11. Espina Corona	900 kg/m ³
12. Fresno	810 kg/m ³
13. Guaicá	600 kg/m ³
14. Guayacán	1.190 kg/m ³
15. Guayaibí	830 kg/m ³
16. Guatambú	840 kg/m ³
17. Haya	640 kg/m ³
18. Ingá	670 kg/m ³
19. Incienso	920 kg/m ³
20. Itín	1.260 kg/m ³
21. Lapacho	1.000 kg/m ³
22. Laurel Negro	640 kg/m ³
23. Mora	1.050 kg/m ³
24. Nogal de Italia	620 kg/m ³
25. Nogal Salteño	620 kg/m ³
26. Ñandubay	1.010 kg/m ³
27. Palo Blanco	840 kg/m ³
28. Palo Lanza	960 kg/m ³
29. Palo Santo	1.230 kg/m ³
30. Peteribí	650 kg/m ³
31. Pino Blanco	430 kg/m ³
32. Pino Misionero	510 kg/m ³
33. Pino Neuquén	520 kg/m ³
34. Pino Oregón	550 kg/m ³
35. Pino Spruce	460 kg/m ³
36. Pinotea	600 kg/m ³
37. Quebracho Blanco	910 kg/m ³
38. Quebracho Colorado	1.280 kg/m ³

39. Quina	1.000 kg/m ³
40. Roble de Eslovenia	710 kg/m ³
41. Roble Pellín	720 kg/m ³
42. Roble Salteño	580 kg/m ³
43. Timbó Colorado	440 kg/m ³
44. Tipa Blanca	710 kg/m ³
45. Urunday	1.180 kg/m ³
46. Urundel	1.210 kg/m ³
47. Virapitá	900 kg/m ³
48. Viraró	920 kg/m ³

g. Metales:

1. Acero o hierro, laminado o solado	7.850 kg/m ³
2. Hierro fundido	7.250 kg/m ³
3. Plomo	11.420 kg/m ³
4. Cobre	8.900 kg/m ³
5. Bronce	8.600 kg/m ³
6. Zinc fundido	6.900 kg/m ³
7. Zinc laminado	7.200 kg/m ³
8. Estaño laminado	7.400 kg/m ³
9. Latón laminado	8.400 kg/m ³
10. Latón fundido	8.650 kg/m ³

h. Pavimentos:

1. Baldosas, mezcla de cemento y mármol reconstituido, por cada centímetro de espesor	22 kg/m ²
2. Baldosas cerámicas, íd.	20 kg/m ²
3. Asfalto fundido, íd.	14 kg/m ²

i. Cielorrasos:

1. Yeso con enlucido	20 kg/m ²
2. Mezcla de cemento, cal y arena con metal desplegado	57 kg/m ²
3. Yeso (enlucido)	5 kg/m ²

j. Cubiertas:

1. Tejas planas simples, con armadura de sostén	75 kg/m ²
2. Tejas planas dobles, íd.	95 kg/m ²
3. Tejas Marsella, íd.	65 kg/m ²

4. Tejas españolas, íd.	105 kg/m ²
5. Tejas flamencas con barro de mezcla, íd.	80 kg/m ²
6. Tejas flamencas de gran tamaño, íd.	85 kg/m ²
7. Tejas árabes a la bohemia, íd.	115 kg/m ²
8. Tejado inglés de pizarra sobre enlistonado, íd.	45 kg/m ²
9. Tejado inglés sobre tablas de 2,5 cm, íd.	55 kg/m ²
10. Tejado alemán de pizarras con tejas de 20 cm x 15 cm, íd.	60 kg/m ²
11. Tejado alemán sobre tablas de 2,5 cm y cartón cuero, con tejas de 25 cm x 25 cm, íd.	65 kg/m ²
12. Zinc en chapa de 0,7 mm de espesor, íd.	40 kg/m ²
13. Cobre en chapa de 0,6 mm de espesor, íd.	40 kg/m ²
14. Vidrios sin armar de 4 mm de espesor	12 kg/m ²
Por cada mm más de espesor de vidrio un aumento de	3 kg/m ²
15. Vidrios armados de 5 mm de espesor	30 kg/m ²
Por cada mm más de espesor de vidrio un aumento de	5 kg/m ²
16. Tejas de vidrio con armadura de sostén	65 kg/m ²
17. Cubierta de chapa ondulada de hierro	10 kg/m ²
18. Chapa ondulada de fibrocemento de 8 mm de espesor	20 kg/m ²
19. Chapa ondulada de fibrocemento de 6 mm de espesor	15 kg/m ²

k. Materiales varios:

1. Vidrio	2600 kg/m ³
2. Asfalto	1300 kg/m ³
3. Brea	1100 kg/m ³
4. Alquitrán	1200 kg/m ³
5. Parafina	900 kg/m ³

Sobrecargas, cargas accidentales o útiles

a. Locales:

1. Habitaciones	150 kg/m ²
2. Comedores y salas de recepción en viviendas - Oficinas	
Se aumentará esta sobrecarga en un 10% hasta un máximo de 50% por cada 5,00 m ² o fracción que pase los 25,00 m ² de superficie.	200 kg/m ²
3. Comedores públicos, salones baile y recepción y en general donde se puedan llevar a cabo reuniones	500 kg/m ²
4. Baños y cocinas	200 kg/m ²
5. Salas de enfermos en hospitales y sanatorios	200 kg/m ²
6. Aulas	350 kg/m ²

7. Bibliotecas, archivos	400 kg/m ²
8. Locales públicos	400 kg/m ²
9. Salas de espectáculos	500 kg/m ²
10. Salas o locales para deportes	600 kg/m ²
11. Pasillos de acceso en general, escaleras, balcones:	
En edificios para viviendas	300 kg/m ²
En edificios públicos, comerciales e industriales	500 kg/m ²
12. Mercados	400 kg/m ²
13. Garajes, depósitos comunes, grandes tiendas y almacenes	500 kg/m ²
14. Locales a los cuales no se les asigna destino	600 kg/m ²
15. Barandilla de balcones y escaleras, esfuerzo horizontal dirigido al exterior y aplicado sobre el pasamano:	
En edificios de vivienda	40 kg/m ²
En edificios públicos, comerciales e industriales	100 kg/m ²

b. Azoteas:

1. Azoteas, inaccesibles	100 kg/m ²
2. Azoteas, accesibles	150 kg/m ²
3. Azoteas donde pueda congregarse gente para fines de recreo u observación	500 kg/m ²

Capítulo III

**Estática
Gráfica**

ESTÁTICA

La estática trata sobre las dos primeras exigencias básicas de la estructura: **Equilibrio y estabilidad.**

Por definición es la parte de la física que estudia las fuerzas y su equilibrio, pertenece a la rama de la **mecánica.**

Estudia las condiciones que deben cumplir las fuerzas que actúan sobre un “sistema” (estructura), para que éste permanezca en estado de equilibrio.

La física define **fuerza** como todo aquello que tiende a modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo.

Del anteproyecto surge la forma geométrica de la estructura, enfrentamos un nuevo problema: de la aplicación de la tecnología disponible surge la elección de los materiales a emplear, y la forma de emplearlos, y con la acción de la gravedad, las cargas. Pero resulta necesario identificar esas cargas, calificarlas y cuantificarlas para lograr una forma estructural acorde a la estructura del diseño propuesto.

Del análisis de cargas surgen las **fuerzas actuantes**, ya que consideramos “carga” a las fuerzas que actúan sobre la estructura.

Por lo tanto, las fuerzas son representaciones de las cargas, se las puede identificar por sus efectos y se las determina de la siguiente manera:

Todo lo que se puede medir es considerado una **magnitud.**

Existen **magnitudes escalares** y **magnitudes vectoriales.**

Son magnitudes escalares aquéllas que quedan definidas por un número y su unidad, por ejemplo:

3 m —————> Longitud

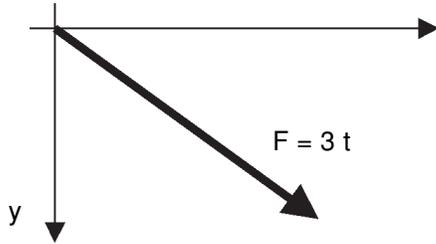
12 m² —————> Superficie

32 °C —————> Temperatura

Son magnitudes vectoriales aquéllas que son definidas por un vector. Tal es el caso de las *fuerzas*.

Un **vector** es un segmento orientado, cuyos elementos son:

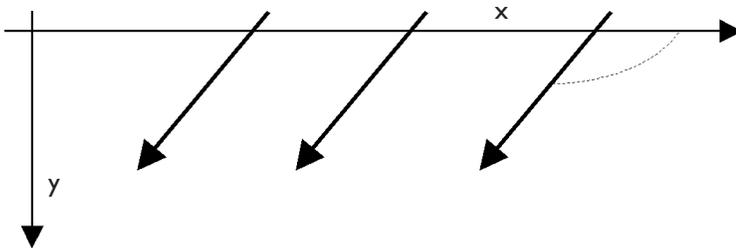
1. Intensidad.
2. Dirección.
3. Recta de acción.
4. Sentido.
5. Punto de aplicación.



1. Intensidad o módulo: es el número seguido de la unidad correspondiente que da la medida de una fuerza con relación a otra considerada como unitaria.

Las unidades de fuerza son **kg** (kilogramo), **t** (tonelada), **N** (Newton), **kN** (kilo Newton).

2. Dirección: trayectoria rectilínea que tiende a seguir un objeto bajo la acción de la fuerza aplicada. Queda definida por el ángulo que la misma forma con relación al eje x.



3. Recta de acción: es la recta sobre la que actúa la fuerza, en algunos casos la dirección coincide con la recta de acción.



4. Sentido: fijada la dirección, existen dos sentidos posibles, es hacia donde se dirige la fuerza, indicada por la flecha.

5. **Punto de aplicación:** un vector puede ser:

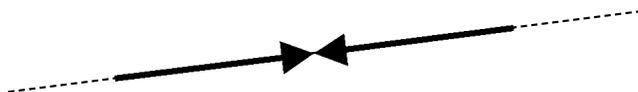
- **Aplicado:** cuando tiene punto de aplicación definido.
- **Axil:** cuando se desplaza libremente sobre su recta de acción y no se modifica su efecto sobre el cuerpo en el que actúa.

Estática: es el estudio, metódico, aproximado del desplazamiento de las rectas de acción y la combinación de las fuerzas, con su correspondiente equilibrio.

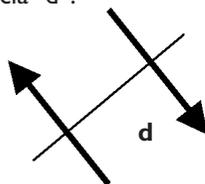
Es tan importante su conocimiento que sin él sería imposible calcular una estructura, por más simple que sea.

Además del concepto de fuerza, podemos definir:

Bifuerza: son dos fuerzas que tienen la misma recta de acción, igual intensidad y sentido contrario, cuyo efecto sobre un sistema es nulo.



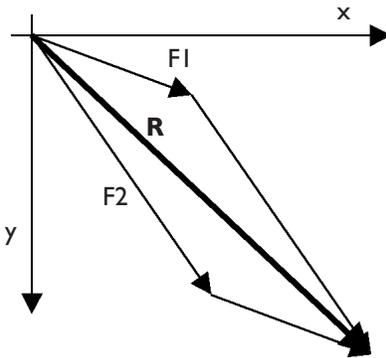
Par de fuerzas: son dos fuerzas paralelas, de igual intensidad, de sentido contrario, separadas por una distancia “d”.



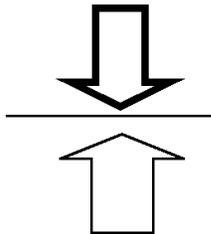
HIPÓTESIS DE LA ESTÁTICA

1. **Hipótesis de rigidez:** la estática supone que los cuerpos son *rígidos ideales*, es decir *no se tienen en cuenta las deformaciones de los materiales*.
2. **Traslación de una fuerza sobre su recta de acción:** a partir de la hipótesis de rigidez, el efecto de una fuerza no varía si ésta se traslada sobre su recta de acción.
3. **Principio de superposición de efectos:** si un conjunto de fuerzas o pares actúan sobre un cuerpo rígido todas las fuerzas se podrán reemplazar por una única **fuerza resultante** y la totalidad de los pares por un único par.

4. **Principio del paralelogramo:** la resultante **R** de un sistema de dos fuerzas concurrentes es la diagonal del paralelogramo que tiene por lados a las fuerzas dadas.



5. **Acción de una bifuerza:** si a un sistema de fuerzas se agrega o se quita una bifuerza, no se produce cambio alguno en el mismo, ya que su efecto es nulo.
6. **Principio de acción y reacción:** en todo sistema en equilibrio, toda fuerza (acción), origina otra fuerza igual y contraria (reacción).



SISTEMA DE FUERZAS - COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN

Es el conjunto de fuerzas que actúa sobre un cuerpo.

Componer un sistema de fuerzas es hallar una única fuerza, llamada **resultante** que produzca el mismo efecto mecánico que el sistema, es decir una fuerza **equivalente**.

Equilibrar un sistema de fuerzas será obtener una única fuerza **equilibrante**, o un sistema de fuerzas que anule el efecto mecánico.

La **equilibrante** es una fuerza con la misma recta de acción, igual intensidad y sentido contrario que la **resultante**.

Clasificación

1. Colineales
2. Concurrentes
3. Paralelas
4. No concurrentes o cualesquiera.

1. Son **fuerzas colineales** las que comparten la misma recta de acción.

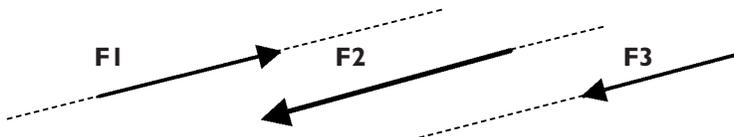


2. Llamamos **fuerzas concurrentes** a aquéllas cuyas rectas de acción se encuentran en un punto.

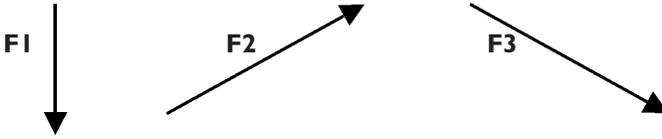
Dicho punto puede o no coincidir con los puntos de aplicación de las fuerzas, pero si deberán concurrir sus rectas de acción.



3. Son **fuerzas paralelas** aquéllas cuyas rectas de acción son paralelas entre sí, tienen todas la misma dirección.



4. Llamamos **fuerzas no concurrentes o cualesquiera** a aquellas fuerzas cuyas rectas de acción no concurren en un punto ni son paralelas.

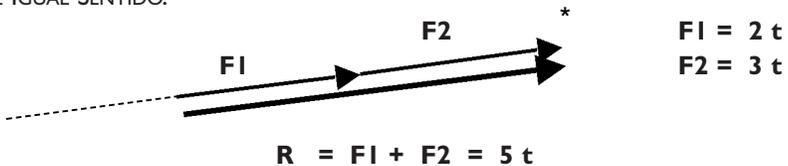


Para componer sistemas de fuerzas, existen métodos gráficos y analíticos. Desarrollaremos los primeros:

I. Composición de fuerzas colineales

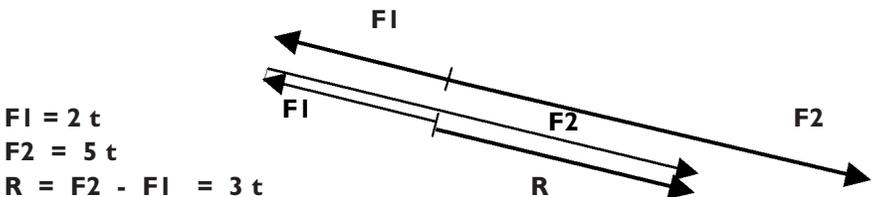
Son las que comparten la misma recta de acción:

- DE IGUAL SENTIDO.



La resultante de un sistema de fuerzas colineales de igual sentido es otra fuerza de igual dirección y sentido cuya intensidad es la suma de las fuerzas dadas.

- DE DISTINTO SENTIDO.



La resultante de un sistema de fuerzas colineales de distinto sentido es otra fuerza de igual dirección, cuya intensidad es la diferencia de las intensidades de las fuerzas y el sentido es el de la mayor.

* La resultante se ubica sobre la misma recta de acción de la fuerza.

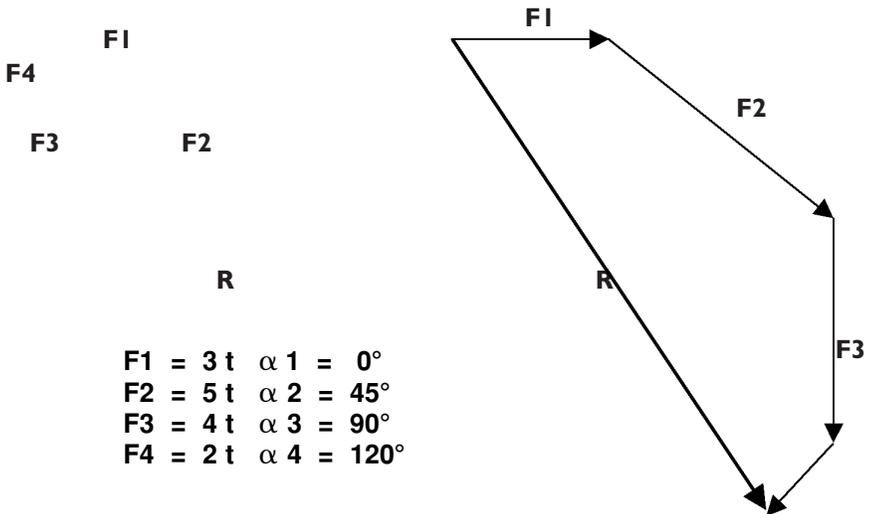
2. Composición de fuerzas concurrentes

Se definen mediante su intensidad y dirección.

La resultante de dos fuerzas concurrentes es la diagonal del paralelogramo que tiene por lados a las fuerzas dadas (Principio del Paralelogramo).

Cuando el sistema de fuerzas está formado por más de dos fuerzas, el método a utilizar será el **Polígono de fuerzas** o **Polígono vectorial**.

Dado un sistema de fuerzas concurrentes:



Se trasladan a partir de un punto cualquiera del plano, cada una de las fuerzas con su dirección y su módulo o intensidad, en escala, una a continuación de la otra.

La resultante se halla uniendo el origen de la primera con el extremo de la última y debe ubicarse en el sistema a partir del punto de concurrencia.

Si al construir el polígono de fuerzas, éste diera **cerrado**, el sistema está en **equilibrio**, o sea, la resultante es nula.

3. Composición de fuerzas paralelas

Se definen mediante la intensidad y la distancia a partir de un punto.

• DE IGUAL SENTIDO.

$$d_1 = 0\text{m} \quad F_1 = 3 \text{ t}$$

$$d_2 = 3\text{m} \quad F_2 = 2 \text{ t} \quad R = F_1 + F_2 + F_3$$

$$d_3 = 5\text{m} \quad F_3 = 5 \text{ t} \quad R = 10 \text{ t}$$

y

5m

F_1
3m

F_2
2m

La resultante deberá ser paralela a las fuerzas dadas, tendrá el mismo sentido y su intensidad será la suma de las intensidades.

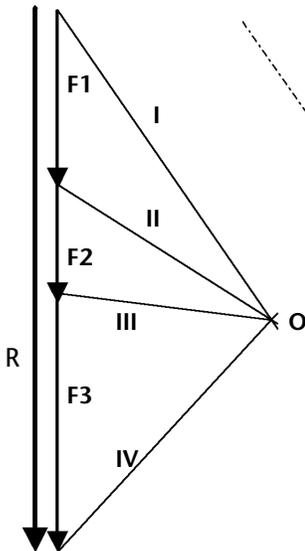
El problema se presenta cuando debemos ubicarla en el sistema, para lo cual debemos recurrir a otro método que consiste en trazar un **esquema polar** y el **polígono funicular**.

Para el trazado debe construirse primero el polígono vectorial, es decir, a partir de un punto cualquiera, dibujar en escala cada una de las fuerzas y trazar la resultante.

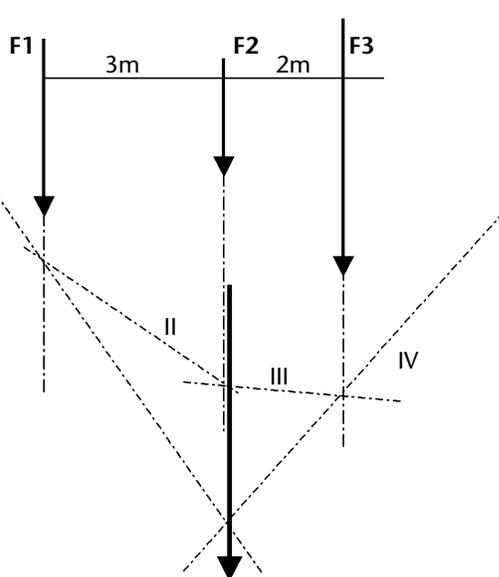
Para ubicarla se toma un punto cualquiera "O", que llamaremos **polo**, y trazamos los **rayos polares** uniendo el origen y extremo de cada una de las fuerzas con el polo. Luego se traslada el **rayo I** hasta cortar a la recta de acción de F1, por ese punto y en forma paralela se traslada el **rayo II** hasta cortar a la recta de acción de la F2, por ese punto y en forma paralela pasamos el **rayo III** hasta cortar la recta de acción de F3, finalmente por ese punto trazamos el **rayo IV**, si hubiera más fuerzas se repetiría el trazado de todos los rayos.

Como la resultante queda comprendida entre el primero y último rayo, donde éstos se corten encontraremos un punto de su recta de acción.

Esquema polar



Polígono funicular



Propiedad fundamental del polígono funicular: existen infinitos polígonos funiculares, ya que la elección del polo “O” es arbitraria, no obstante, siendo única la resultante del sistema, el primero y el último rayo de cada funicular diferente se cortarán siempre sobre un punto de la recta de acción de la resultante.

4. Composición de fuerzas no paralelas o cualesquiera

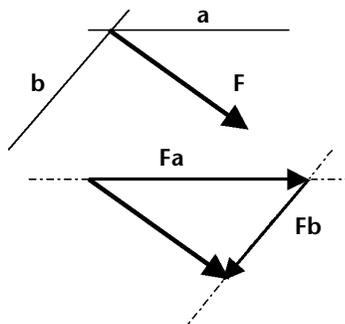
Para componer un sistema de fuerzas no paralelas o cualesquiera se procede del mismo modo que con las fuerzas paralelas, es decir, se traza el polígono vectorial respetando la dirección, la intensidad y el sentido de cada fuerza, de donde obtendremos la dirección, intensidad y sentido de la resultante.

Para ubicarla en el sistema utilizaremos el esquema polar y el polígono funicular.

Descomposición de fuerzas: por el mismo Principio de la Estática que enuncia que una **fuerza resultante** puede reemplazar a todo un sistema, podemos descomponer una fuerza en dos direcciones concurrentes o paralelas, y mediante otros métodos en tres direcciones no concurrentes.

Descomposición de una fuerza en dos direcciones concurrentes:

una fuerza puede descomponerse en dos direcciones que concurren con ella en un punto, para lo cual trazamos una de las direcciones por el origen de la misma y la otra por el extremo. Al cortarse ambas direcciones obtendremos la intensidad de las fuerzas componentes.

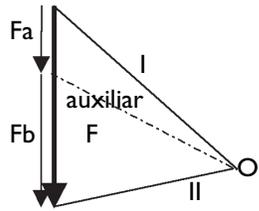
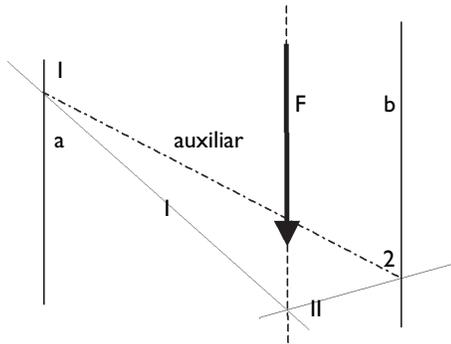


Descomposición de una fuerza en dos direcciones paralelas:

Caso I – la fuerza está ubicada entre las direcciones dadas.

Para descomponer una fuerza en dos direcciones paralelas, se grafica la fuerza en escala, se elige un polo O y se trazan los rayos I y II. Como los mismos abarcan a la fuerza F, sabemos que sus direcciones serán concurrentes con ella en un punto.

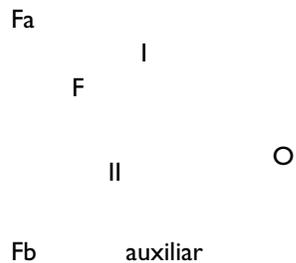
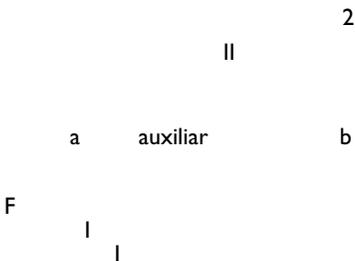
Trazamos los rayos sobre la recta de acción de la fuerza en el sistema a partir de un punto cualquiera, que se cortarán con las direcciones a y b en puntos que llamaremos 1 y 2, entre los que determinaremos un **segmento auxiliar**, que será luego trasladado sobre el esquema polar, a partir del polo y que dividirá a la fuerza F en dos partes, que medidas en escala serán las fuerzas Fa y Fb constitutivas del sistema. Entre el rayo I y la auxiliar está Fa (ambos rayos concurren con ella) y entre la auxiliar y el rayo II queda determinada Fb.



Caso II – la fuerza está ubicada a un lado de las direcciones dadas.

Se procede del mismo modo que en el caso anterior, se traza el esquema polar, se trasladan los rayos **I** y **II** que cortan a la fuerza **F** en un punto de su recta de acción, en el sistema y determinan así el **segmento auxiliar**.

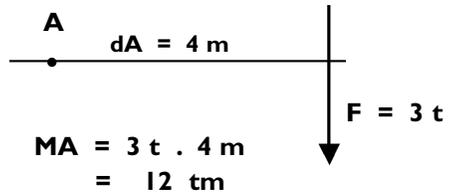
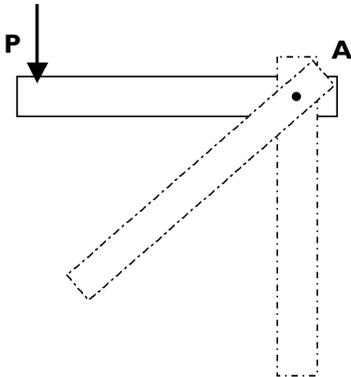
Al ser trasladado sobre el esquema polar, entre el rayo **I** y la auxiliar se determina **Fa** y entre la auxiliar y el rayo **II** está **Fb** y notamos que al trazarlas se determinan fuerzas de distinto sentido y siempre la que está más cerca de la fuerza dada será mayor y tendrá igual sentido, la más alejada tendrá menor intensidad y sentido contrario.



MOMENTO DE UNA FUERZA

Tomando una barra, si la sostenemos en un punto **A** y aplicamos en su extremo una carga **P**, la barra girará alrededor del punto de apoyo hasta encontrar su posición de equilibrio.

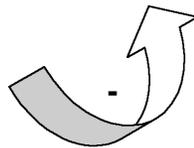
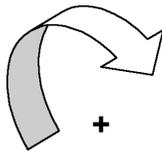
El giro es el efecto mecánico de la fuerza en función a su distancia al centro de giro.



Momento de una fuerza: es el producto de la intensidad de una fuerza por su menor distancia a un punto **A**, es decir, que dicha distancia será medida en forma perpendicular a la recta de acción de la fuerza.

$$MA = F \cdot dA$$

El efecto mecánico es el giro, y por convención se considera **positivo** si gira en sentido horario (como las agujas del reloj), y **negativo** si es anti-horario.



Unidades de momento:

Unidad de fuerza. Unidad de longitud

t . cm

t . m

Kg . cm

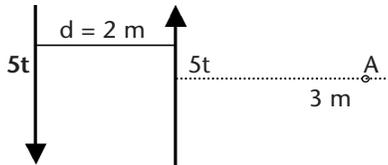
Kg . m

Par de fuerzas: definimos como *par de fuerzas* a un sistema de dos fuerzas paralelas de igual intensidad y sentido contrario cuya resultante es **nula**, es decir, es **cero**, sin embargo no está en equilibrio, ya que su efecto mecánico es un **giro**.

El momento de un par con respecto a un punto **A** es igual al momento interno del par:

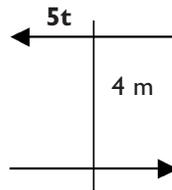
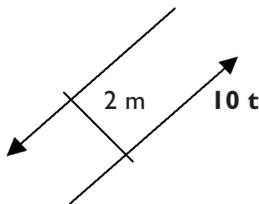
$$\text{Momento del par} = 5 \text{ t} \cdot 2 \text{ m} = \mathbf{10 \text{ tm}}$$

$$\begin{aligned} \text{Momento respecto a } \mathbf{A} &= 5 \text{ t} \cdot 5 \text{ m} - 5 \text{ t} \cdot 3 \text{ m} \\ &= 25 \text{ tm} - 15 \text{ tm} \\ &= \mathbf{10 \text{ tm}} \end{aligned}$$



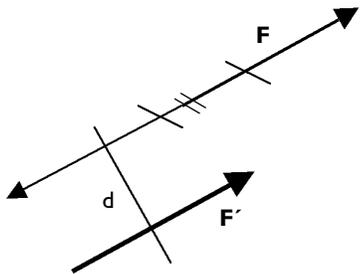
El par queda definido por el número, con su signo y la unidad, es decir, es una **magnitud escalar**, por lo tanto podemos expresar que tiene **infinitas imágenes**, lo que significa que para representarlo podemos elegir la intensidad de la fuerza siempre que el producto por la distancia que las separa respete la intensidad del par y el signo del giro.

Por ejemplo: **M = - 20 tm**



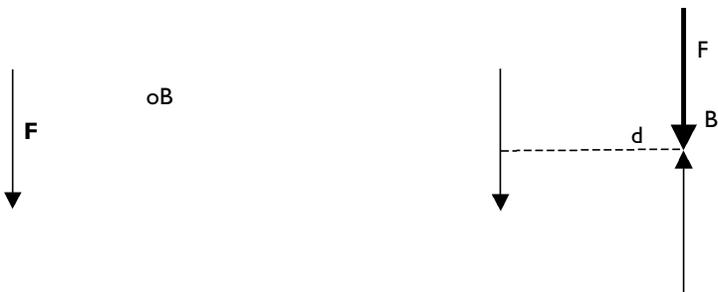
Composición de una fuerza con un par: la composición de una fuerza con un par da por resultado una “fuerza” de igual intensidad, dirección y sentido que la dada, pero trasladada paralelamente a sí misma a una distancia que surge de dividir el valor del par por el de la fuerza.

$$M = F \cdot d \quad \Rightarrow \quad d = \frac{M}{F}$$



Se le da al par como imagen la intensidad, dirección y sentido contrario al de la fuerza dada, de ese modo se origina una **bifuerza**, por lo que se anulará, quedando como resultado una de las fuerzas integrantes del par, que es igual a la fuerza inicial, pero trasladada una distancia **d**, hacia un lado u otro, dependiendo del signo o giro del par.

Para **trasladar una fuerza a un punto** determinado, debemos recurrir a una bifuerza que generará un par: colocamos en el punto B una **bifuerza** de igual dirección e intensidad que la **fuerza** dada. Queda como resultado entonces, la **fuerza trasladada** y el par resultante entre la fuerza y la distancia.



Capítulo IV

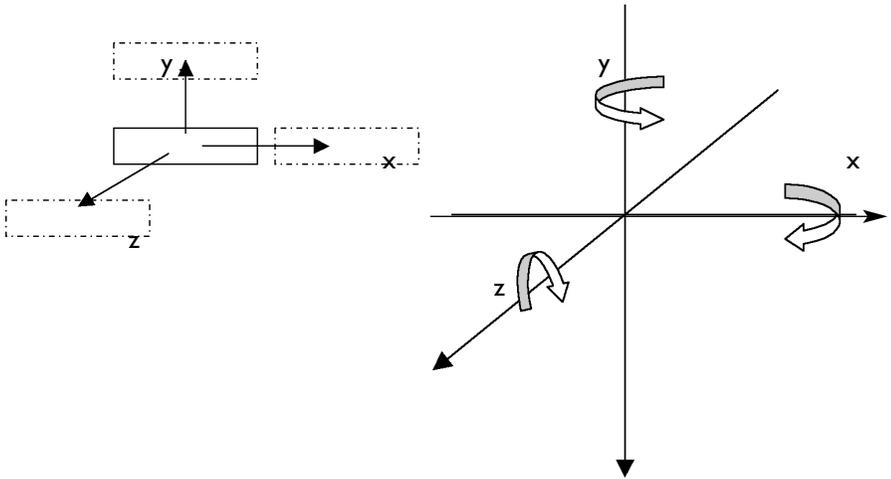
Vínculos - Apoyos

VÍNCULOS

Cuando una estructura está en **equilibrio**, se encuentra en “reposo”, no puede trasladarse ni girar.

Las fuerzas actuantes, llamadas **acciones** o fuerzas activas, originan en los apoyos de cada elemento estructural, fuerzas reactivas o **reacciones**.

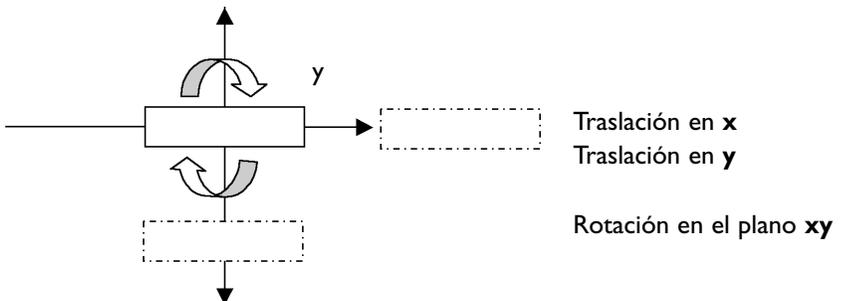
En el espacio (tridimensional) el cuerpo tiene seis posibilidades de movimiento o **grados de libertad**.



Traslación en x
Traslación en y
Traslación en z

Rotación en el plano xy
Rotación en el plano yz
Rotación en el plano zx

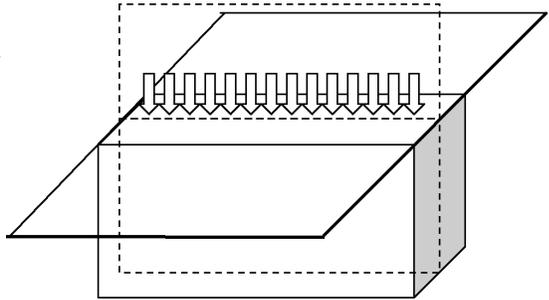
En el plano (bidimensional) un cuerpo tiene tres posibilidades de movimiento o **grados de libertad**.



Traslación en x
Traslación en y

Rotación en el plano xy

Numerosas estructuras presentan un plano de simetría donde actúan las fuerzas activas o sus resultantes, por lo que podemos simplificar el problema trabajando con un plano ideal denominado **chapa**.



Sintetizando, en la mayoría de los elementos estructurales el problema se reduce a lograr el equilibrio entre acciones y reacciones en el plano (*tres grados de libertad*).

Vínculo: es la condición impuesta a un elemento o punto de permanecer inmóvil o de describir determinada trayectoria.

Constituye una imposición de carácter geométrico (condición analítica).

La forma de realizar los vínculos en la práctica es mediante los **apoyos**.

Los apoyos constituyen la materialización física de los vínculos.

Se clasifican en:

Apoyos simples o de 1° especie ___suprimen 1 grado de libertad.

Apoyos dobles o de 2° especie ___suprimen 2 grados de libertad.

Apoyos triples o de 3° especie ___suprimen 3 grados de libertad.

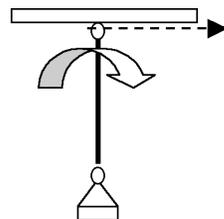
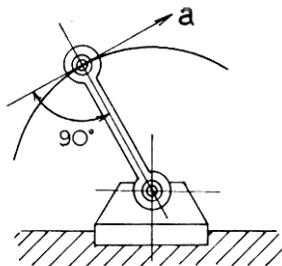
APOYOS SIMPLES

a) **Biela**

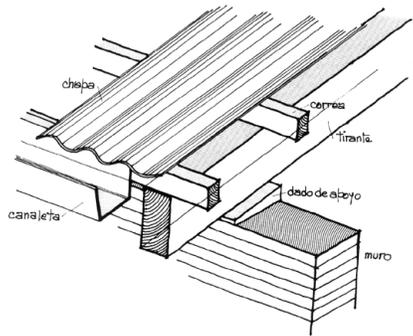
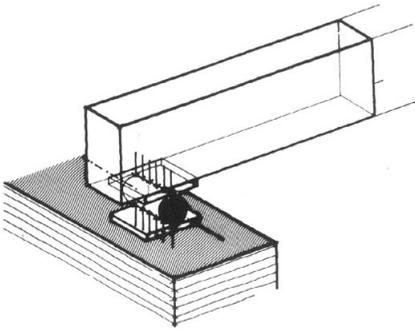
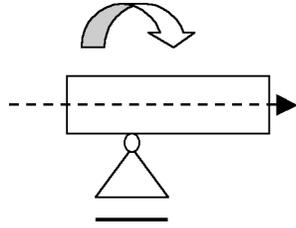
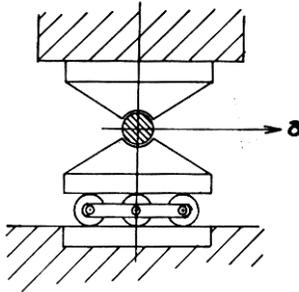
b) **Apoyo móvil**

Permiten: traslación en x, rotación o giro

a) **Biela**



b) Apoyo móvil

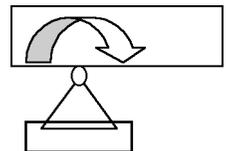
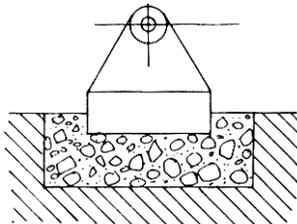


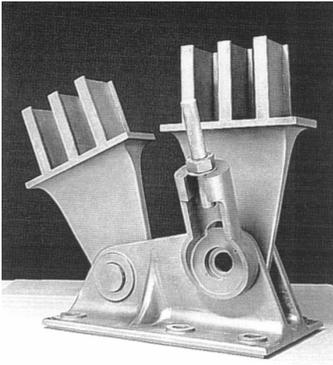
Tirante de cubierta apoyado sobre un muro de mampostería.

APOYOS DOBLES

Apoyo fijo o Articulación

Permiten: rotación o giro.

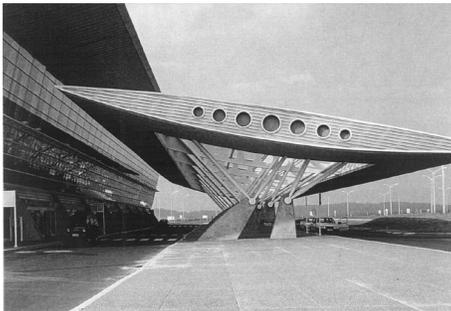




Elemento de anclaje de piezas de madera.



Anclaje de puntales de madera mediante apoyo fijo.



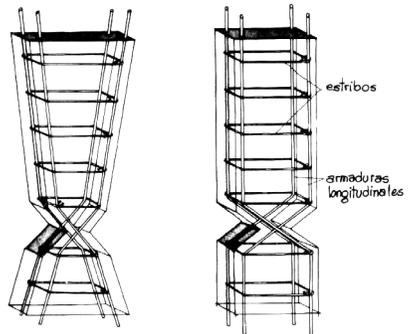
Aeropuerto de Punta del Este.



Detalle de apoyo.



Retiro, estación de ferrocarril.



Articulaciones en columnas de hormigón armado.

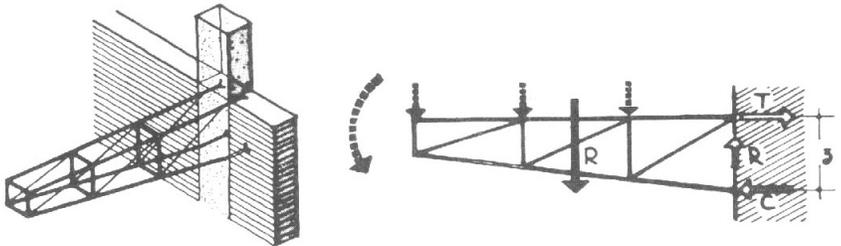
estribos

armaduras longitudinales

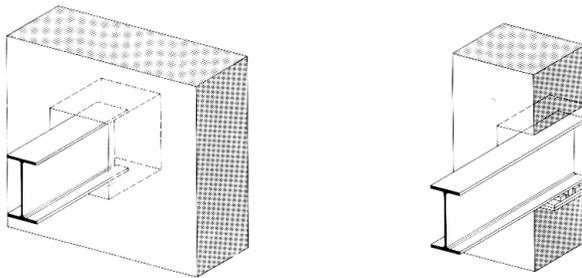
APOYOS TRIPLES

Empotramiento

No permite ningún movimiento.



Ménsula reticulada.



Empotramiento de un perfil mediante un dado de hormigón.

NUDOS

Son vínculos entre piezas de igual o parecida importancia.

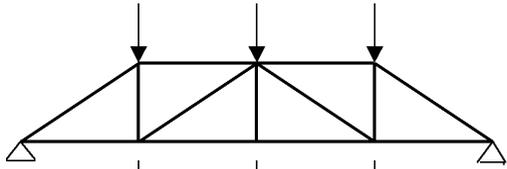
Pueden ser:

- Nudos articulados.
- Nudos rígidos.

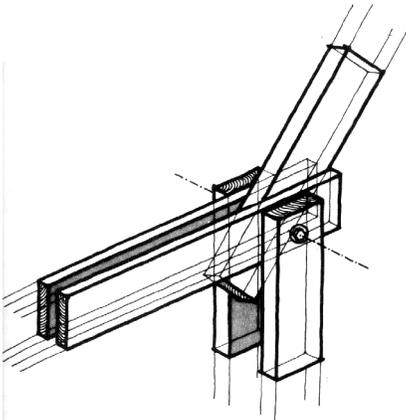
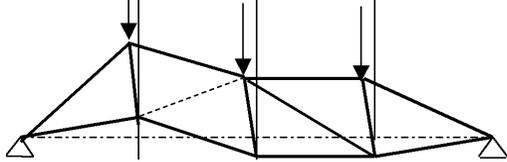
NUDOS ARTICULADOS

Actúan como apoyos articulados, posibilitan la rotación de las barras alrededor de su eje e impiden las traslaciones.

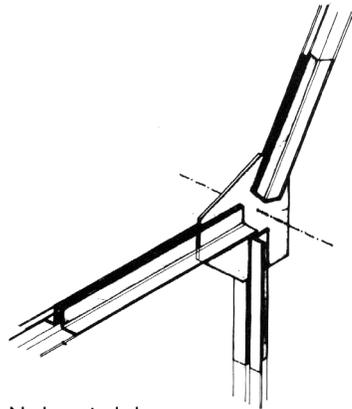
Las estructuras reticuladas están constituidas por barras articuladas entre sí, y para garantizar su indeformabilidad forman triángulos.



Si retiramos alguna barra desaparece el triángulo y la estructura se deforma.



Nudo articulado en madera.



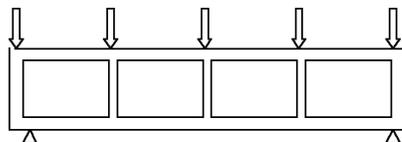
Nudo articulado en acero.

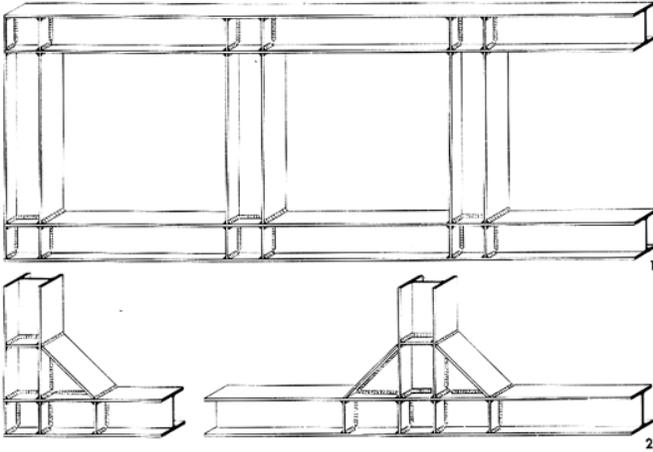
NUDOS RÍGIDOS

Tienen las mismas características que el empotramiento.

Viga Vierendeel

Son elementos reticulados pero sin diagonales, es decir *constituidas por cordones superior e inferior y elementos verticales*.





SISTEMA ISOSTÁTICO

En función a la cantidad de vínculos que tengan los elementos estructurales, podemos distinguir el tipo de sistema, y por consiguiente, identificar su comportamiento.

Esta distinción marca una clara diferencia en el cálculo de las reacciones del vínculo de cada elemento, ya que su comportamiento estructural es diferente en cada caso.

Cuando el elemento estructural analizado tiene la cantidad de vínculos necesarios para mantenerse sin movimientos, es decir, restringidos sus tres grados de libertad posibles, el sistema es **Isostático**.



SISTEMA HIPERESTÁTICO

Cuando el elemento estructural tiene mayor cantidad de vínculos que los que necesita para mantenerse sin movimientos, el sistema es **Hiperestático**.

Viga continua

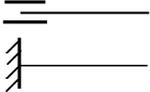
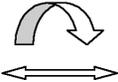
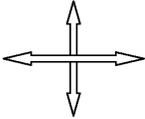
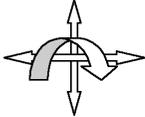
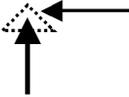
El grado de hiperestaticidad de una estructura queda determinado por la diferencia entre los vínculos existentes y los grados de libertad del elemento.

Ejemplo:

La viga continua graficada presenta dos apoyos fijos (dos restricciones) y uno móvil (una restricción), es decir, tiene en total cinco posibilidades de restricción y tres grados de libertad posibles, decimos entonces que es un hiperestático de 2° grado ($5 - 3 = 2$).

Sintetizando...

Llamamos **vínculo** a la condición de enlace de los distintos elementos estructurales entre sí y con el terreno. Al ser reemplazados por las **reacciones**, que restringen la posibilidad de movimiento, queda establecido el equilibrio de la estructura.

VÍNCULO	APOYO MÓVIL	APOYO FIJO	EMPOTRAMIENTO
SÍMBOLO		 	
Desplazamiento permitido			
Desplazamiento Impedido			
REACCIÓN DE VÍNCULO			

Capítulo V

**Resistencia de
Materiales**

Estados básicos de tensión

RESISTENCIA DE MATERIALES

¿Qué es la arquitectura?...

Se han dado diferentes y variadas respuestas, pero coinciden en que para que haya arquitectura debe haber una *obra*, tiene que estar *construida*.

Dentro de nuestras incumbencias profesionales se especifica:

I. Diseñar, proyectar, dirigir y ejecutar la construcción de edificios y espacios.

Construcción = materialización de la idea

MATERIALES

Definimos como **materiales de construcción** al conjunto de sustancias o **materias primas utilizadas** para construir con ellas edificios/estructuras.

CLASIFICACIÓN

Según su origen pueden ser:

Naturales: obtienen sus propiedades durante su formación en la naturaleza.

- Mineral (piedra).
- Vegetal (madera).
- Animal (cueros).

Artificiales: fabricados por el hombre.

El conocimiento de los materiales implica el estudio de sus propiedades y podemos distinguir entre ellas:

PROPIEDADES

- Acústicas.
- Eléctricas.
- Físicas.
- Mecánicas.
- Ópticas.
- Químicas.
- Tecnológicas.
- Térmicas.

El estudio de las propiedades de los materiales es imprescindible para fijar el criterio que habrá de referirse para su empleo en la obra, ya que las tres ecuaciones fundamentales a resolver son:

- ¿QUÉ material utilizar? Propiedades físicas, químicas, térmicas, acústicas.
- ¿CUÁNTO material utilizar? Propiedades mecánicas-resistencia.
- ¿CÓMO utilizar el material? Propiedades tecnológicas.

Propiedades que nos indican el criterio a seguir para fijar o definir **qué** material vamos a utilizar:

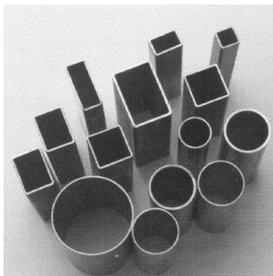
PROPIEDADES FÍSICAS

Forma y dimensiones:

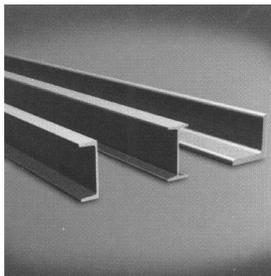
Esta propiedad abarca el estudio y conocimiento de las formas y dimensiones en que pueden obtenerse los materiales.

Largo comercial de barras de acero.
 Diámetros.
 Largos usuales de maderas.
 Diámetros de caños.
 Largo de perfiles.

MATERIAL	Pe	FORMA COMERCIAL
Acero	7,8	Perfiles laminados – Chapas – Barras – Cables
Hormigón	2,4	Moldeado in situ – Pre-elaborado – Pre-moldeado
Madera	0,8 / 1,2	Rollizos – Escuadría – Laminados – Aglomerados
Pétreos	1,6 / 1,8	Mampuestos macizos o huecos – Sillares



Tubos para uso estructural.



Perfiles laminados.



Barras de acero para Hormigón armado.

• **Peso específico:** entendemos por peso específico al peso de la unidad de volumen:

$$\delta = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Sus unidades de medidas son:

$$\begin{aligned} & \text{t/m}^3 \\ & \text{kg/m}^3 \\ & \text{kg/cm}^3 \end{aligned}$$

Porosidad - Compacidad: porosidad es el cociente entre el espacio ocupado por los poros y el volumen aparente del material, es decir, está referida a la cantidad de poros o huecos que hay dentro de la masa.

La porosidad queda expresada por un número absoluto.

Valdrá 0 (cero) cuando el material no tenga poros y tenderá a 1 (uno) como máximo.

$$P = \frac{E}{V_a}$$

P = Porosidad.

V_a = Volumen aparente.

E = Espacio ocupado por los poros.

La compacidad es la propiedad inversa a la porosidad:

$$C = \frac{1}{P}$$

$$C = \frac{V_a}{E}$$

Higroscopicidad: es la propiedad de algunos cuerpos o materiales de absorber el agua y variar su peso.

Dicho de otro modo es la propiedad de absorber o desprender humedad según el medio ambiente.

Se destaca a la madera como material altamente higroscópico, también lo son algunos tipos de suelo.

Permeabilidad - Impermeabilidad: la *permeabilidad* es una propiedad vinculada a la *porosidad*, pero no debe ser confundida con ella.

Debe entenderse por *permeabilidad* a la capacidad de ciertos materiales para dejarse atravesar por los líquidos.

La *impermeabilidad* es la propiedad opuesta, es no dejarse atravesar por los líquidos.

Homogeneidad - Heterogeneidad: si un cuerpo tiene en todos sus puntos

(en un mismo entorno) *igual estructura molecular o idénticas propiedades físicas* se lo denomina **homogéneo**.

Ellos son: los metales, los plásticos o el vidrio. Tienen igual composición en toda su masa.

Llamamos **material no homogéneos o heterogéneos** a aquellos que no tienen en todos sus puntos (referidos al entorno de estudio) igual estructura molecular o idénticas propiedades físicas.

Propiedades que nos indican **cuánto** material podemos utilizar:

PROPIEDADES MECÁNICAS

Resistencia a la deformación: se denomina **resistencia de un material** al mayor o menor grado de oposición que presenta a las fuerzas que tratan de deformarlo.

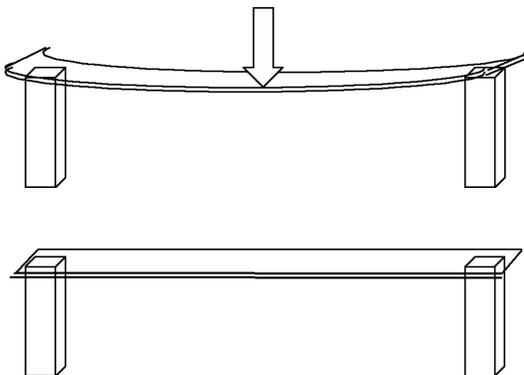
Resistir \Rightarrow Oponerse a los cambios \Rightarrow Oponerse a la acción de una fuerza.

El grado de resistencia se define para algunos tipos de sollicitaciones como el *cociente entre las fuerzas* que se ejercen sobre un cuerpo y la *superficie o sección transversal* del mismo.

$\text{Resistencia} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$	(Tensión)	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	$\frac{\text{t}}{\text{cm}^2}$
--	-----------	---------------------------------	--------------------------------

Elasticidad: definimos como **elasticidad** a la propiedad de los cuerpos deformados de recuperar su forma inicial, una vez desaparecida la fuerza deformante.

Es la capacidad de un cuerpo deformado de devolver el trabajo de deformación.



Una vez retirada la carga el material recupera su forma inicial, mostrando un **comportamiento elástico**.

Plasticidad: por oposición estableceremos que **plasticidad** es la propiedad contraria, o sea la de experimentar y mantener la deformación después de haber desaparecido la carga, sin detrimento apreciable de su cohesión.

Es la capacidad de admitir deformaciones, que permanecerán después de desaparecida la carga.

Isotropía: cuando la propiedad de elasticidad se manifiesta en igual medida, cualquiera sea la dirección en que se ha producido la deformación, o sea, que el material presenta iguales condiciones de elasticidad, cualquiera sea la dirección que la deforma, este material se denomina isótropo.

La isotropía es la característica de poseer iguales propiedades en cualquier dirección e igual resistencia en cualquier dirección.

Prácticamente los materiales fundidos se consideran isótropos, por ejemplo el acero.

Anisotropía: si las condiciones de elasticidad varían según la dirección en que se producen las deformaciones, los materiales se califican como anisótropos.

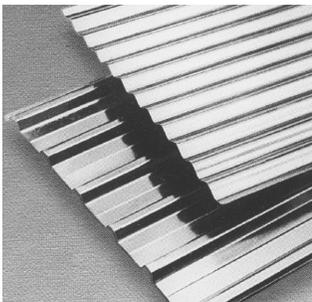
El caso típico de materiales anisótropos son las maderas que tienen diferencias marcadas según se consideren la dirección de las fibras u otra dirección no coincidente con ellas.



Rigidez: diremos que los materiales son tan rígidos cuanto mayores sean los esfuerzos necesarios para producir una deformación dada, o cuanto menores sean las deformaciones producidas por un esfuerzo dado.

Es la capacidad para resistir la deformación.

Dureza: es la resistencia de un sólido a dejarse penetrar por otro por acción de una fuerza.



Tenacidad: definimos como tenacidad a la propiedad de los materiales de admitir una deformación considerable antes de romperse.

Hierro	Acero (% carbonato hasta 1,7).
	Acero de construcción (0,15% a 0,25% de carbonato).

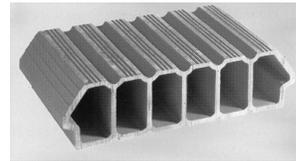
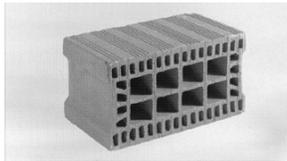
Doblado de chapas.

Fragilidad: definimos como **fragilidad** a la propiedad de los materiales de romperse con poca deformación.

También se puede definir como la característica de llegar a la rotura súbita sin anunciarse por deformaciones previas.

Fundición (1,7% de carbonatos).
Cerámicas.
Vidrios.

Ladrillos cerámicos.



Propiedades que nos indican **CÓMO** utilizar el material.

PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

Las operaciones tecnológicas fundamentales son tres:

- **Separación:** forma y dimensiones.
- **Agregación:** unión de materiales.
- **Transformación:** modificación de materiales.

El tratamiento tecnológico del material define morfológicamente la solución constructiva.

Material	Uniones entre sí	Uniones con otros	Trabajabilidad
Acero	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura. • Roblonado. • Abulonado. • Herrajes especiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inmersión en el hormigón. • Abulonado con la madera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte por sierra, soplete, cizalla. • Doblado en frío o caliente, según la sección y el destino. • Perforado por punzonadora o perforadora rotativa. • Fundición.
Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Por monolitismo en el moldeo. • En prefabricados: mediante herrajes y bulones o colado de juntas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante insertos de unión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variación de la resistencia mediante la dosificación y curado. • Toma la forma del molde. • Proyectado a presión.
Maderas	<ul style="list-style-type: none"> • Encastrado. • Encolado. • Claveteado. • Abulonado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante herrajes de unión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aserrado, perforado mediante herramientas manuales o máquinas.
Pétreos	<ul style="list-style-type: none"> • Por yuxtaposición. • Por juntas de mortero o colado de hormigón. 	<ul style="list-style-type: none"> • Por colado con el hormigón. • Mediante herrajes de unión con el acero y la madera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte y desbastado con herramientas de mano y máquinas.

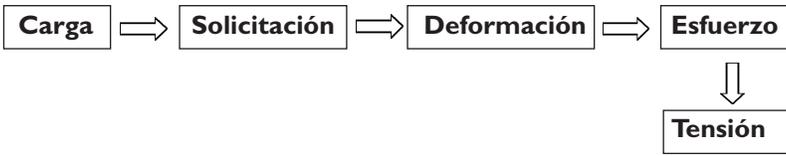
NOCIONES ELEMENTALES DE RESISTENCIA

Todo material estructural tiene como condición su resistencia a la deformación, esto no significa que sean indeformables, ya que tales materiales no existen.

La resistencia a la deformación dependerá de la cohesión molecular y de la estructura interna del material.

Como consecuencia de la acción de las cargas o fuerzas externas sobre la estructura, sus elementos componentes se ven solicitados de diferente manera según su forma, posición, etc.; de modo tal que la pieza, y por lo tanto, el material sufrirán una deformación que se verá controlada por el esfuerzo de éste para preservar las condiciones iniciales, siendo la **tensión** la medida de dicho esfuerzo.

El mecanismo es entonces:



Habíamos definido como *cargas* a cualquier acción o conjunto de acciones capaces de producir estados tensionales en una estructura.

Las cargas se manifiestan por medio de fuerzas o momentos.

En los elementos estructurales esta causa produce lo que hemos llamado **estado tensional**.

Fuerza es, en este caso, toda causa o agente que produce cambios en la forma de los cuerpos o sea deformaciones.

Podemos decir entonces que toda carga modifica las distancias intermoleculares de un cuerpo, y definimos como **deformación** a todo cambio en el estado de agregación molecular de un cuerpo motivado por la acción de una carga o fuerza externa capaz de modificar a las fuerzas de cohesión propias de un cuerpo.

Vemos pues, que la correspondencia es unívoca, es decir que siempre que exista uno de los términos, existirán todos los demás.

No es posible que exista deformación sin solicitudión, y ésta sin una carga externa que la produzca, como tampoco la generación de un esfuerzo podrá dejar de estar relacionado con la deformación a que el material está sometido por el estado de solicitudión.

Podemos, entonces, enunciar el postulado fundamental de la resistencia de materiales:

Las fuerzas exteriores (cargas) dan origen a fuerzas interiores (esfuerzos) dentro del material.

Como dijimos, las cargas o fuerzas que actúan sobre los cuerpos provocan en los mismos deformaciones. Sin embargo, en los sólidos las posiciones relativas de las moléculas entre sí, se mantienen en virtud de ciertas fuerzas interiores que se oponen a todo cambio de posiciones conservando de este modo la forma de los sólidos.

Estas fuerzas interiores que tienden a equilibrar las fuerzas exteriores las definiremos como **esfuerzos**.

Los esfuerzos varían con la modificación de las distancias intermoleculares, o sea, con la deformación y crecen a medida que éstas aumentan hasta equilibrar la fuerza exterior.

Si las fuerzas exteriores (*cargas de servicio*) exceden ciertos valores propios de cada material, las fuerzas interiores no podrán equilibrarlas y las distancias intermoleculares crecerán hasta que la cohesión desaparezca y el cuerpo se rompe.

Los valores de las fuerzas interiores (*esfuerzos*) son determinados en su magnitud según (*tipo de material*) la forma en que actúa la carga (*tipo de sollicitación*), la forma en que el cuerpo está apoyado, etc.

Para nuestras estructuras es de gran importancia determinar para cada material los valores máximos que pueden resistir sin romperse, o sea, determinar la resistencia de los materiales.

El conocimiento de la resistencia a la deformación de los materiales, de sus posibilidades frente a los distintos tipos de fuerzas que actúan sobre ellos, nos permiten dimensionar las estructuras, limitando sus deformaciones y evitando su ruina.

Conviene aquí introducir el concepto de **tensión** o **esfuerzo específico** y lo definimos como el esfuerzo referido a la unidad de superficie:

$$\text{Tensión o esfuerzo específico} = \frac{P \text{ (Fuerza)}}{F \text{ (Superficie)}}$$

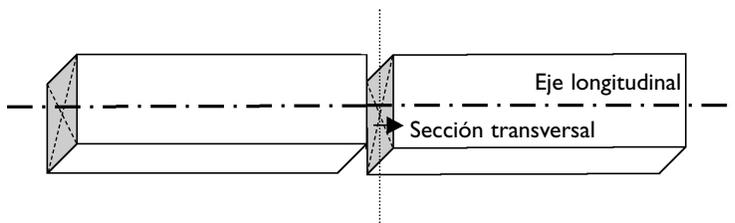
Sintetizando todo lo dicho anteriormente como consecuencia de la acción de las cargas o fuerzas externas sobre las estructuras, sus elementos compo-

mentos se verán solicitados de diferentes maneras (según la forma, posición, vínculos) de modo tal que la pieza y por lo tanto el material sufren una deformación que será controlada y contrarrestada por el esfuerzo (fuerzas internas) del material para preservar las condiciones iniciales, siendo la tensión la medida de dicho esfuerzo.

Según la forma de actuar de las cargas se producen diferentes casos de sollicitación.

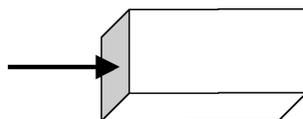
Las sollicitaciones son esfuerzos básicos que pueden resistir los materiales estructurales, según su forma, posición, vínculos y tipo de carga.

Normalmente los elementos estructurales responden a la forma denominada “sólido prismático” y podemos identificar entonces el eje longitudinal de la pieza y si seccionamos con un plano perpendicular a dicho eje obtendremos la llamada *sección transversal* que es en realidad lo que vamos a dimensionar ya que la longitud o luz del elemento es un dato de proyecto.

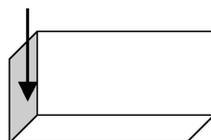


Podemos distinguir:

- **Sollicitaciones Normales** (σ): la fuerza o momento actúa en forma normal o perpendicular a la sección



- **Sollicitaciones Tangenciales** (τ): la fuerza o momento actúa en un plano tangente a la sección



ESTADOS DE SOLICITACIÓN SIMPLE

Producidos por fuerzas

Tracción.
Compresión.
Corte.

Producidos por pares

Flexión.
Torsión.

Combinando solicitaciones simples, resultan solicitaciones compuestas.

Podemos distinguir:

- **Flexión Plana** = Flexión – Corte.
- **Flexión Compuesta** = Flexión – Esfuerzo Normal (Tracción – Compresión).
- **Flexo – Torsión.**

TRACCIÓN

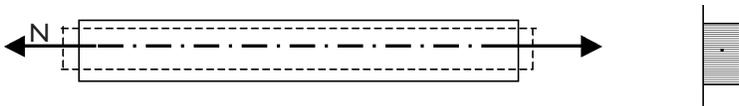
La carga actúa en forma normal a la sección y tiende a separar a dos secciones próximas.

Causa: dos fuerzas iguales y divergentes, actuando sobre un mismo eje.

Al ser fuerzas normales las llamamos “N” y en forma convencional al esfuerzo de tracción se le da **signo positivo (+)**.

Efecto: la deformación característica es el **alargamiento** en la dirección de la carga, disminuyendo su sección.

Tensión normal de tracción.
$$\sigma = \frac{N}{F} \quad \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \frac{\text{t}}{\text{cm}^2}$$



COMPRESIÓN

La carga actúa en forma normal a la sección y tiende a acercar dos secciones próximas, disminuye la distancia intermolecular.

Causa: dos fuerzas iguales convergentes actuando sobre el mismo eje.

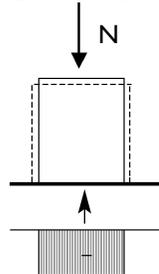
Al esfuerzo de compresión le damos **signo negativo (-)**.

Efecto: el cuerpo se acorta longitudinalmente, aumentando la sección transversal.

La deformación característica es el **acortamiento**.

Tensión normal de compresión:

$$\sigma = \frac{N}{F}$$



CORTE

Causa: fuerzas iguales y de sentido contrario contenidas en el plano transversal a la sección.

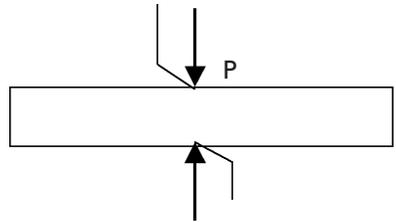
Este caso rara vez se produce aislado, pero sí combinado con otras sollicitaciones, en especial flexión o torsión.

Efecto: la deformación característica es el **deslizamiento relativo** de ambas secciones.

Las moléculas se deslizan entre sí, dicho de otro modo dos secciones próximas tienden a resbalar entre sí.

Tensión τ de corte:

$$\tau = \frac{P}{F}$$



TORSIÓN

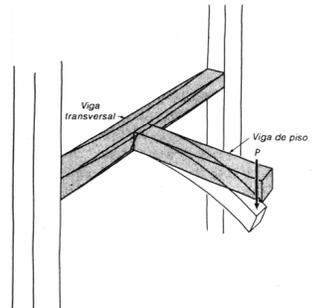
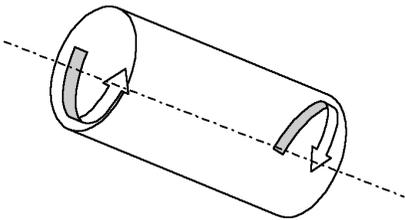
Causa: dos momentos iguales y de sentido contrario en torno al eje longitudinal. Esta sollicitación sola es también poco frecuente.

En este esfuerzo las moléculas también se deslizan entre sí resbalando una sección respecto a la otra.

Cuando un elemento resistente está sollicitado a torsión dos secciones próximas tienden a girar una con respecto a la otra alrededor de un eje común a las dos, manteniendo sus distancias relativas.

Efecto: giro de las secciones en torno a un eje central.

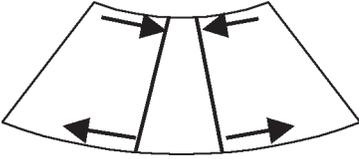
La deformación característica es el **giro relativo** de ambas secciones (respecto al eje de la pieza).



Viga transversal sometida a torsión.

FLEXIÓN

Causa: al aplicar las cargas en el plano perpendicular a la sección transversal, y no coincidir su recta de acción con los apoyos donde se producirá la reacción, la pieza se *curva*.



Cuando un elemento resistente está solicitado a flexión dos secciones próximas y paralelas, tienden a girar una con respecto a la otra de tal modo que sus distancias relativas se alteran acercándose en una zona y alejándose en otra, provocando estados de compresión y tracción simultáneos.

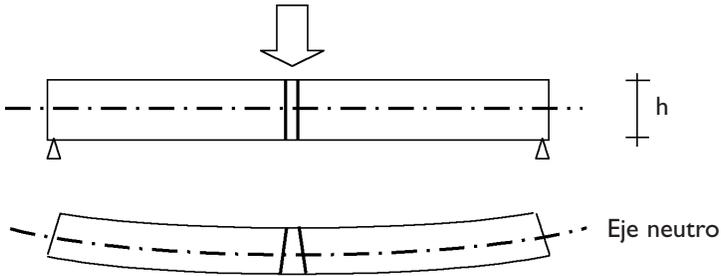
Las moléculas del material tienden en una misma sección unas a acercarse y otras a alejarse.

Efecto: acortamiento de la cara sobre la cual actúa la carga y alargamiento de la cara opuesta.

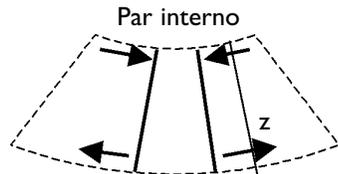
La deformación característica es la **curvatura** de la pieza.

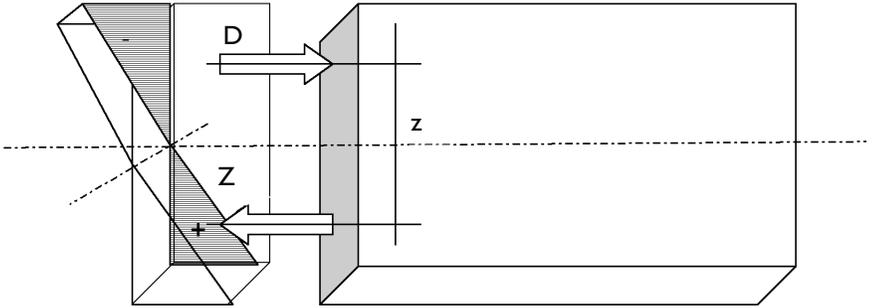
Las fibras que sufren las máximas tracciones o compresiones son las extremas.

A medida que las fibras se acercan al centro de la pieza las tensiones van disminuyendo hasta anularse en el que llamamos *plano neutro*.

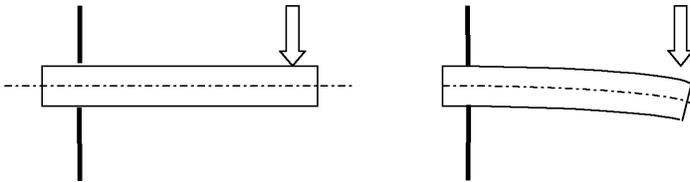


Las fuerzas internas que originan la tracción y compresión constituyen entre sí un par, que denominamos **par interno** y es el que equilibra el momento flector que origina la curvatura en la pieza, es por esta razón que al aumentar la altura "**h**" de la sección, aumenta el brazo elástico "**z**", con ello la magnitud del par interno y, por lo tanto, la resistencia.





La flexión puede producirse también en sentido inverso, es decir con la concavidad de la pieza hacia abajo, generando esfuerzos de tracción en las fibras superiores y compresión en las inferiores, tal es el caso de los voladizos.



HIPÓTESIS FUNDAMENTALES DE LA RESISTENCIA DE MATERIALES

Equilibrio estático: todo elemento estructural debe cumplir las condiciones de equilibrio, es decir acciones y reacciones deben anularse entre sí.

$$\sum P_x = 0$$

$$\sum P_y = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

Postulado fundamental: en todo cuerpo las fuerzas exteriores (cargas) dan origen a fuerzas interiores (esfuerzos), dentro del mismo.

Equilibrio molecular o equilibrio interno: las deformaciones que se producen como consecuencia de las acciones externas no deben alterar el equilibrio molecular del cuerpo, ya que esto significa su colapso o rotura.

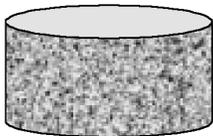
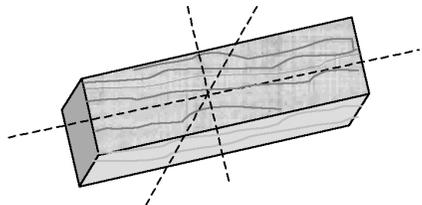
Elasticidad: el comportamiento real de los materiales es **elasto-plástico**, o sea, frente a la acción de cargas de determinada magnitud tienen un comporta-

miento elástico, es decir, que recuperan su forma inicial al dejar de actuar la carga y al aumentar éstas comenzará a comportarse como plástico.

Cuando diseñamos y calculamos una estructura trabajamos con materiales dentro de su período elástico, y aunque los mismos puedan conservar un mínimo de deformación, ésta es compatible con el uso.

Isotropía: los materiales tienen comportamientos diferentes según sea su constitución interna, de tal manera que en los aceros y metales en general su estructura molecular es cristalina y por ello tienen el mismo comportamiento o característica mecánica en todas direcciones, son materiales **isótropos**.

En las maderas, sus moléculas están organizadas como fibras, por tanto tienen comportamientos mecánicos diferentes según la dirección del esfuerzo con relación al material (no isótropo), presenta tres diferentes comportamientos mecánicos.

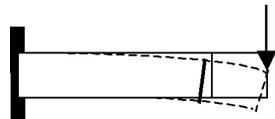


Los pétreos, como las piedras o el hormigón, dada su estructura granular solo resisten esfuerzos de compresión.

Homogeneidad: los materiales homogéneos tienen la misma composición física y química en todos los puntos del sólido.

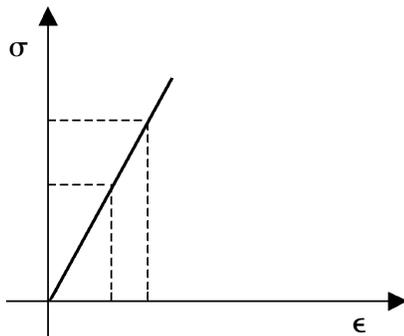
En función de esta propiedad se toman diferentes coeficientes de seguridad.

Ley de Bernoulli-Navier: *“Las secciones planas antes de la deformación permanecen planas después de la misma.”*



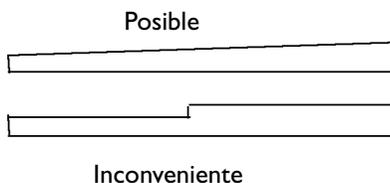
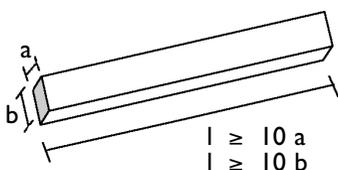
Ley de Hooke: “Dentro del período elástico las **tensiones** σ son proporcionales a las deformaciones ϵ ”.

El cumplimiento de esta Ley se verifica en los ensayos de diferentes materiales, en los que la gráfica es de variación lineal:

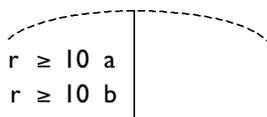


Sólido prismático: normalmente los elementos estructurales responden a esta volumetría, a la cual se le asignan determinadas características.

Es un sólido cuya longitud es mayor que diez veces cualquiera de las otras dos dimensiones, y tiene continuidad en su sección.

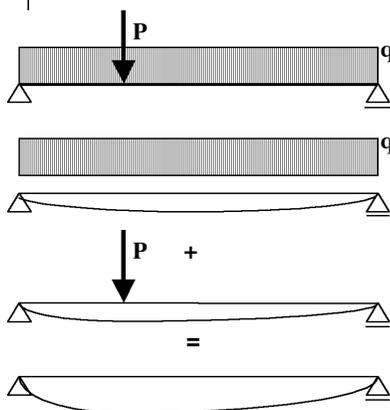


Además el eje debe ser recto o con cierta limitación en el radio.



Principio de superposición de efectos: cuando un cuerpo o elemento estructural está sometido a la acción simultánea de varias causas exteriores o interiores, el efecto total producido en forma simultánea es igual al efecto de dichas causas si actuaran independientemente.

En otras palabras, las causas de tensiones o deformaciones pueden ser analizadas por separado, siendo el efecto final la suma de los efectos parciales.



Principio de Saint - Venant: cuando las fuerzas están aplicadas cerca de los extremos de una pieza, la zona central de la misma no presentará perturbaciones.

ENSAYOS - TENSIONES

Para conocer la capacidad resistente de un material se lo somete a ensayos, es decir, se lo *solicita* de modo de poder estudiar su comportamiento bajo diferentes condiciones de trabajo.

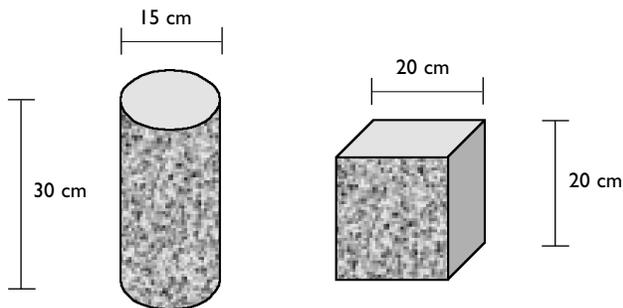
Para diferentes materiales existe en general una característica principal, así por ejemplo, es característico del acero su resistencia a la **tracción** (alargamiento) y en los elementos pétreos y hormigones su resistencia a la **compresión** (acortamiento).

La madera puede comportarse en forma similar tanto bajo compresión o tracción, siempre que la sollicitación sea en el sentido de las fibras.

Para ensayar un material es necesario acondicionarlo de modo de reproducir lo mejor posible el estado en que dicho material se encontrará cuando pertenezca a la estructura.

A los efectos de poder medir los resultados se utilizan probetas, que son trozos de distintos materiales, que reúnen determinadas características.

Estas probetas se ensayan en máquinas especiales capaces de reproducir el estado de sollicitación y conjuntamente con la producción del esfuerzo medir las deformaciones y tensiones generadas.



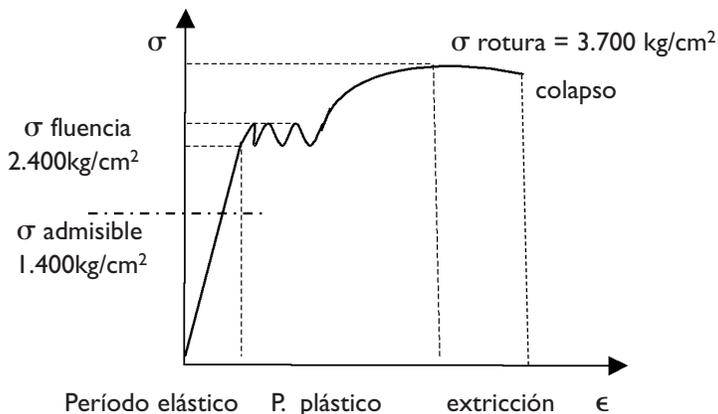
Probeta cilíndrica.

Probeta cúbica.

Hormigón

Los resultados del ensayo se vuelcan en diagramas como el siguiente:

Gráfico correspondiente al ensayo a la tracción de una barra de acero común "A 37".



En los diagramas de ensayo aparecen puntos notables que es necesario considerar para conocer el comportamiento que puede esperarse de un material una vez instalado en la obra.

Vemos, por ejemplo, que durante un período las deformaciones son proporcionales a las cargas que las producen, es decir, a las tensiones, se lo llama **período proporcional**, y obedece a la *Ley de Hooke*.

Si al retirar la carga desaparece también la deformación estamos dentro del **período elástico**.

En el límite superior del **período elástico** se encuentra el límite de fluencia y entramos en el **período plástico** en el cual las deformaciones no desaparecen al extinguirse la carga, y si sigue aumentando se llega a la **rotura**.

En los materiales pétreos y en la madera es muy difícil determinar a simple vista en qué momento se pasa del período elástico al plástico, dado que no existe un punto de fluencia bien marcado a causa de no poseer estos materiales una estructura cristalina, se produce un paso gradual, por lo que en la práctica se fija de acuerdo a criterios reglamentarios que establecen:

Carga límite de elasticidad: la carga que provoca un alargamiento permanente del 0,02%.

Carga límite de fluencia: la carga que provoca un alargamiento permanente del 0,2%.

Normalmente se trabaja, con materiales homogéneos dentro del período elástico, y bajo ningún concepto debe llegarse a tensiones de trabajo cercanas a las

de fluencia, puesto que de ser alcanzada ya no podríamos recuperar la forma original de la pieza y ésta quedaría inutilizada.

Es por esta razón que se adoptan Coeficientes de seguridad, es decir, se sobredimensionan las secciones para superar imprevistos, se afecta la tensión de falla mediante un coeficiente de seguridad que la reduce y se obtiene así la Tensión admisible, sensiblemente menor a la anterior.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{falla}}{\gamma}$$

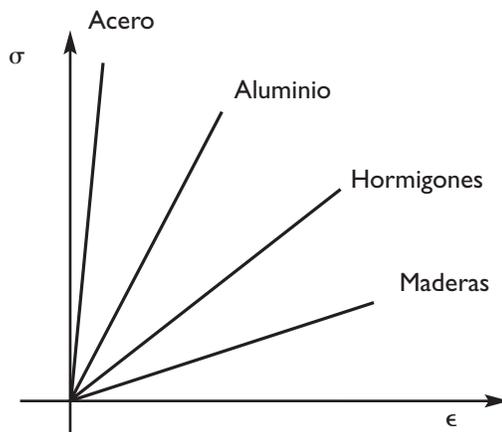
Según la ya enunciada Ley de Hooke, en el período de proporcionalidad o período elástico, las deformaciones son proporcionales a las tensiones, o sea, la relación entre la carga y la deformación se mantiene constante, y además las deformaciones se producen sin variación del volumen del material, es decir, que si varía la longitud las otras dos dimensiones también variarán (*Módulo de Poisson*).

La razón de proporcionalidad:

$$\text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\epsilon} = E$$

E se denomina al *Módulo de rigidez*, dado que expresa un valor que refleja la resistencia a la deformación del material.

Cuanto mayor sea **E** significa que las deformaciones son muy pequeñas con relación a las tensiones. Por ser un valor característico y constante del período elástico se lo llama también *Módulo de elasticidad* o *Módulo de Young*.



MÓDULOS DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) DE DIVERSOS MATERIALES

Mampostería de ladrillo, mortero de cal o cemento	30.000 - 50.000
Maderas blandas (en sentido paralelo a las fibras)	90.000 - 110.000
Maderas duras (en sentido paralelo a las fibras)	100.000 - 225.000
Hormigones	140.000 - 350.000
Vidrio	700.000
Aluminio	700.000
Hierro de fundición	1.000.000
Acero para construcción	2.100.000

TENSIONES ADMISIBLES DE TRABAJO DE LOS MATERIALES DE USO MÁS FRECUENTE

(kg / cm²)

Material	Compresión	Tracción	Flexión
Albañilerías			
Mampostería de ladrillo de primera con mortero de cal y cemento	10 - 12		
Mampostería de ladrillo prensado con mortero de cemento	15 - 17		
Mampostería de bloques de cemento con mortero de cemento	5 - 6,5		
Maderas			
Pinotea	20 - 50	60 - 100	75 - 100
Cedro	20 - 50	55 - 80	80
Lapacho	40 - 80	100	130
Algarrobo	50	50 - 100	100
Pino Brasil	60 - 80	90 - 100	100
Hormigones			
El cálculo actual es a la rotura, no se utiliza σ_{adm}			
Metales			
Acero común de construcción (perfiles y chapas)	1.400	1.400	1.400
Acero torsionado para hormigón	2.400	2.400	2.400
Aluminio	630 - 1570	630 - 1570	600 - 1200
Suelos			
Roca dura	20 - 50		
Roca blanda (caliza)	7 - 25		
Arcillas secas, con humedad moderada	2 - 5		
Arcillas húmedas	0,5 - 1,5		
Tierras vegetales, terrenos de relleno	0,4 - 1		

Capítulo VI

Geometría
Enfoque morfológico

GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La *Geometría* es una ciencia que forma parte de la Matemática, surge en la Antigüedad, utilizada y documentada desde la civilización de los caldeos.

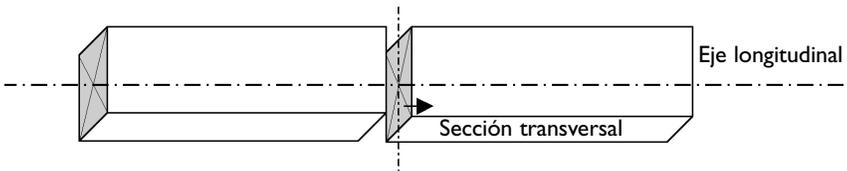
GEO - - - - - tierra

METRÍA - - - - - medir

Fue perfeccionada por los egipcios, pero los griegos fueron quienes la transformaron en ciencia racional y deductiva (Thales de Mileto, Pitágoras, Euclides).

Cuando diseñamos la estructura, del mismo modo que al diseñar la obra completa, debemos tener en cuenta el aspecto morfológico del todo y de cada una de las partes.

Al dimensionar los elementos estructurales, su capacidad resistente la consideramos en relación directa a una característica geométrica determinante de acuerdo con la sollicitación.



Es por eso que nos referimos siempre a la sección transversal, que en todos los casos es una *figura plana* y de estas características nos interesan:

1. Área o superficie

2. Momento de 1° Orden

- Momento estático

Baricentro

3. Momento de 2° Orden

- Momento de inercia
(Teorema de Steiner)

Módulo resistente
Radio de giro

- Momento centrífugo

Ejes conjugados
de inercia

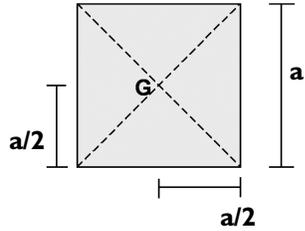
- Momento polar

ÁREA O SUPERFICIE

Cuadrado:

Superficie $A = a^2$

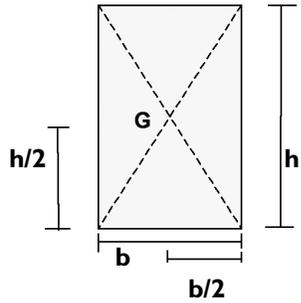
Baricentro $y = \frac{1}{2} a$



Rectángulo:

Superficie $A = b \cdot h$

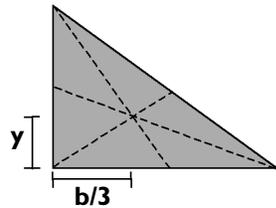
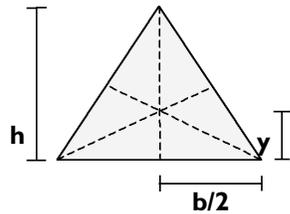
Baricentro $y = \frac{1}{2} \cdot h ; \frac{1}{2} \cdot b$



Triángulo:

Superficie $A = \frac{1}{2} b \cdot h$

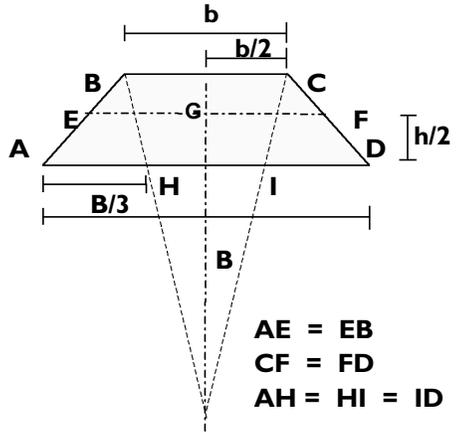
Baricentro $y = h / 3$



Trapezio:

Superficie $A = \left(\frac{B + b}{2}\right) \cdot h$

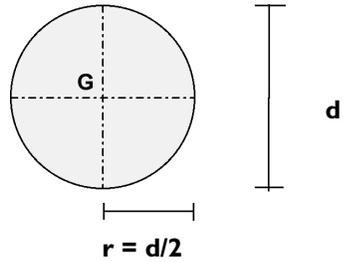
Baricentro $y = \frac{h}{3} \left(\frac{B + 2b}{B + b}\right)$



Círculo:

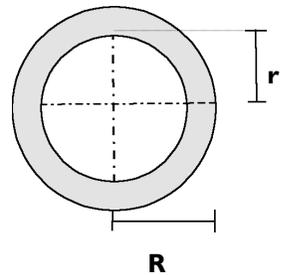
$A = \pi \cdot r^2$

$y = r$



Anillo circular:

$A = \pi \cdot (R^2 - r^2)$

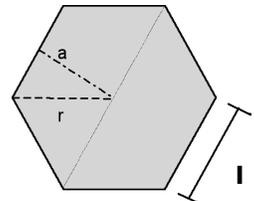


Polígonos regulares:

$A = \frac{n \cdot l \cdot a}{2}$

$y = \frac{d}{2}$

n: número de lados

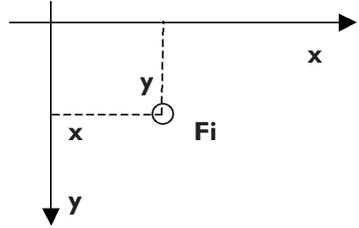


MOMENTO DE 1° ORDEN

Momento estático

Podemos definir el **momento estático** de una superficie respecto a un eje como el producto de dicha superficie por su distancia al mismo eje. Es el producto de una superficie por su distancia al eje considerado.

El **momento estático** se indica con la letra “**S**” mayúscula.



$$S_x = F_i \cdot y$$

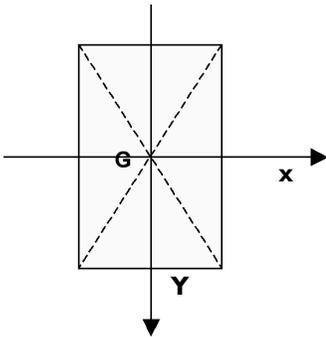
Momento estático respecto al eje x.

$$S_y = F_i \cdot x$$

Momento estático respecto al eje y.

La unidad resulta del producto de ambas unidades, es decir, $\text{cm}^2 \cdot \text{cm} = \text{cm}^3$, y el signo será el que le corresponda según el eje de coordenadas.

En el caso de figuras planas correspondientes a secciones normalizadas estos datos están tabulados.



Cuando el eje respecto del cual se está tomando momento contiene al *baricentro* de la sección considerada, éste se denomina **Eje baricéntrico**, y como las distancias a un lado y a otro tienen signos opuestos el momento estático resulta *nulo*.

$$S_x = 0$$

$$S_y = 0$$

La aplicación de las expresiones que corresponden a los momentos de 1° orden permiten la ubicación del *Baricentro*.

Baricentro

Baricentro: lo definimos como el punto teórico en el cual puede considerarse concentrada toda la superficie.

Para determinarlo se toma el momento estático respecto a ejes coordenados y se despeja la distancia.

$$S_x = \sum F_i \cdot y_i = F_t \cdot y_G \Rightarrow y_G = \frac{S_x}{F_t} \quad (\text{Se aplica el Teorema de Varignon}).$$

$$S_y = \sum F_i \cdot x_i = F_t \cdot x_G \Rightarrow x_G = \frac{S_y}{F_t}$$

Centro de gravedad: es el punto material en el cual se puede considerar *concentrado todo el peso de un cuerpo*.

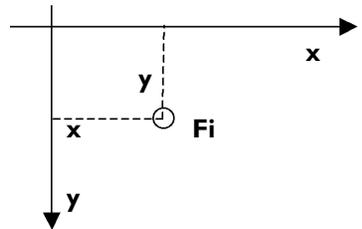
La estabilidad de un cuerpo respecto a su plano de apoyo queda determinada por la posición o ubicación del **centro de gravedad** del mismo.

MOMENTO DE 2º ORDEN

Momento de inercia

Definimos como momentos de inercia de una superficie respecto a un eje como el producto de dicha superficie por el cuadrado de su distancia al mismo eje.

El **momento de inercia** se indica con la letra “**J**” mayúscula.



$$J_x = F_i \cdot y^2 \quad \text{Momento de inercia respecto al eje x.}$$

$$J_y = F_i \cdot x^2 \quad \text{Momento de inercia respecto al eje y.}$$

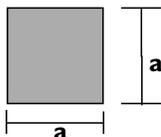
La unidad resulta del producto de ambas unidades, es decir, $\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^2 = \text{cm}^4$, y el signo siempre es positivo, ya que está elevado al cuadrado.

Si bien el cálculo o deducción de los momentos de inercia no serán tratados en este trabajo incluimos las expresiones más utilizadas, o sea, los “**Jx**” de las figuras o secciones más comunes.

Cuadrado:

$$J_x = J_y$$

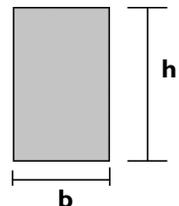
$$J_x = \frac{a^4}{12}$$



Rectángulo:

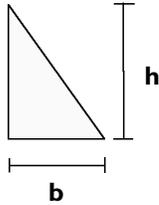
$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$J_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$$



Triángulo:

$$J_x = \frac{b \cdot h^3}{36}$$

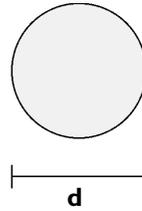


Círculo:

$$J_x = J_y$$

$$J_x = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

$$J_x = \frac{\pi \cdot r^4}{4}$$



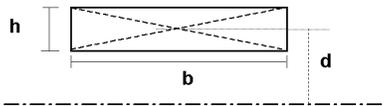
Al igual que el momento estático, en el caso de figuras planas correspondientes a secciones normalizadas estos datos están tabulados.

Cuando la sección es compuesta o irregular y el eje baricéntrico no coincide con el eje de las figuras componentes, debe aplicarse el *Teorema de Steiner* que permite calcular el *momento de inercia* de una figura plana respecto a cualquier eje, que sea paralelo a otro baricéntrico.

Teorema de Steiner

El **momento de inercia** de una superficie respecto a un eje no baricéntrico es igual al momento de inercia propio de la sección más el producto de la superficie por la distancia (desde el baricentro al eje considerado) al cuadrado.

$$J_x = J_{x_G} + F \cdot d^2$$



Derivadas del momento de inercia utilizamos también el **módulo resistente** y el **radio de giro**.

Módulo resistente: es la relación entre el momento de inercia respecto del eje baricéntrico y la distancia máxima, medida desde dicho eje al punto más alejado de la figura.

$$W = \frac{J_x}{y \text{ máx}}$$

Esta relación se aplica fundamentalmente en el dimensionamiento de piezas sometidas a flexión.

En el caso de una sección rectangular:

$$W = \frac{J_x}{h/2} = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot \frac{2}{h} \Rightarrow W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Radio de giro: es la raíz cuadrada de la relación entre el momento de inercia baricéntrico y la superficie de la sección.

$$i = \sqrt{\frac{J_x}{F}}$$

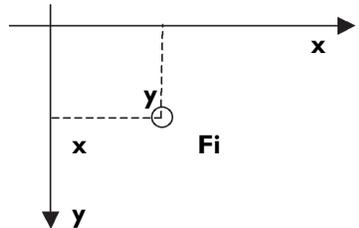
El **radio de giro** se utiliza para determinar la esbeltez al verificar las piezas al pandeo (esto se tratará en elementos sometidos a compresión).

Momento centrífugo

Definimos como **momento centrífugo** de una superficie respecto a un eje como el producto de dicha superficie por sus distancias a ambos ejes.

Se indica con la letra "**J_{xy}**" y su unidad, igual que el momento de inercia es **cm⁴**.

$$J_{xy} = F_i \cdot x \cdot y$$



Toda figura plana que tenga al menos un eje de simetría tendrá **momento centrífugo nulo** respecto a dichos ejes coordenados.

Ejes conjugados de inercia: son aquéllos para los cuales el momento centrífugo es nulo, si además ambos son ortogonales serán **ejes principales de inercia**.

Momento polar

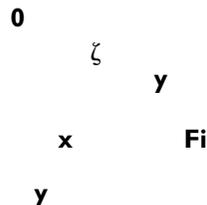
Momento centrífugo de una superficie respecto a un punto, se determina como el producto de la superficie por su distancia a dicho punto, al cuadrado.

Se indica con la letra "**J⁰_p**" y su unidad, igual que el momento de inercia es **cm⁴**.

$$J_p^0 = F_i \cdot \zeta^2$$

$$\zeta^2 = x^2 + y^2$$

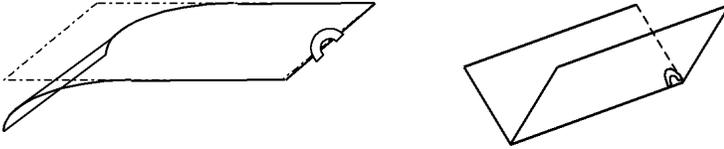
Si expresamos la distancia ζ en función de las coordenadas **x**, **y** puede obtenerse entonces el momento polar como la suma de los momentos de inercia respecto a dos ejes ortogonales que se corten en el mismo punto **0** (cero).



GEOMETRÍA DE LAS SUPERFICIES

Si intentamos sostener una hoja de papel sujetándola por uno de sus bordes y tratamos de colocarla en posición horizontal la hoja se dobla por su propio peso.

Si plegamos la hoja, logramos su rigidización.

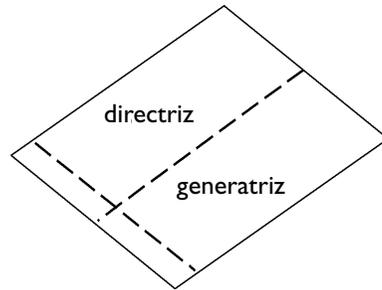


El ámbito físico y el apoyo siguen siendo los mismos así como el material y la superficie o sección resistente, solamente hemos dado *forma* y de ese modo puede soportar su propio peso, incluso alguna otra carga.

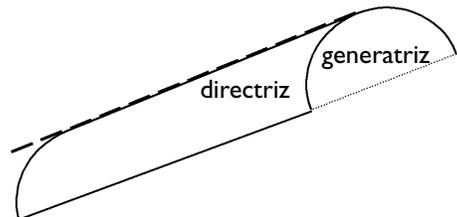
Según la *forma* que le demos a cada elemento estructural será la *respuesta interna* del material frente a las cargas externas, es por este motivo que debemos estudiarlas a partir de la Geometría.

Cuando hablamos de **superficie** nos referimos a la figura geométrica engendrada por el movimiento de una línea en el espacio.

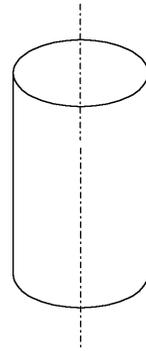
Si una línea recta (generatriz) se desliza o traslada sobre otra recta (directriz) la superficie obtenida será un plano.



Cuando la misma generatriz recta, se **traslada** sobre una directriz curva, o bien, cuando una generatriz curva se desplaza sobre una directriz recta, queda determinada una **superficie cilíndrica**.



Es posible obtener la misma superficie también si a partir de una recta, la hacemos rotar alrededor de un eje paralelo a la misma.



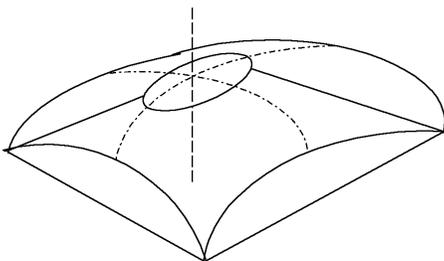
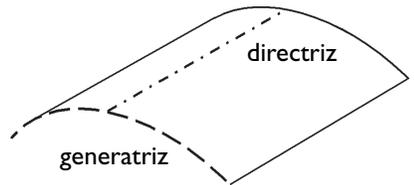
CLASIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES

- Por su generación.
 - | Traslación.
 - | Rotación.
- Desarrollable sobre el plano.
- Reglada (materializada por rectas).
- Por su curvatura.

Superficies generadas por traslación

Superficie cilíndrica: como ya fue expresado, puede generarse por *traslación* o por *rotación*.

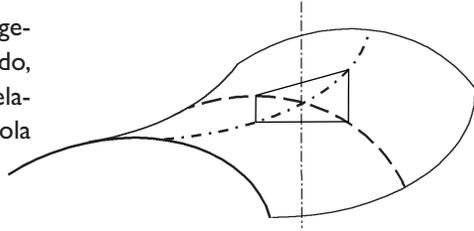
Es una superficie reglada y desarrollable sobre el plano.



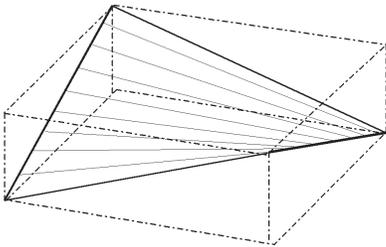
Paraboloides elíptico: se genera por una parábola generatriz que se traslada paralelamente a sí misma sobre otra parábola directriz, cuyo radio de curvatura está en el mismo semi-espacio.

Se designa de este modo porque está generado a partir de una parábola **-Paraboloides-** y si esta superficie se corta con un plano perpendicular a su eje, quedarán determinadas elipses: **elíptico**.

Paraboloide hiperbólico: se genera por una parábola de 2° grado, generatriz que se traslada paralelamente a sí misma sobre otra parábola directriz con curvatura inversa.



Del mismo modo recibe este nombre al ser generado por una parábola de 2° grado **-paraboloide-** y un plano perpendicular al eje determina en su intersección hipérbolas, por lo que completa su nombre: **hiperbólico**.



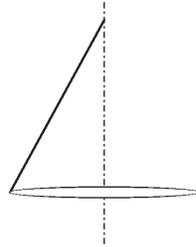
El paraboloide hiperbólico puede ser también generado por rectas, trasladando una recta generatriz sobre dos rectas paralelas a un plano, pero alabeadas entre sí.

Obtenemos de este modo un sector de paraboloide básico que describimos anteriormente.

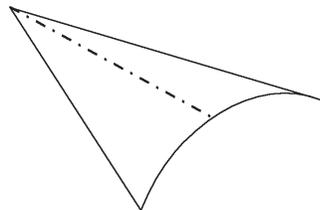
Superficies generadas por rotación

Superficie cilíndrica: como ya fue expresado, puede generarse por traslación o por rotación.

Superficie cónica: generada por rotación de una recta inclinada con respecto al eje de rotación.



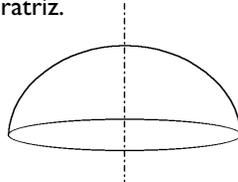
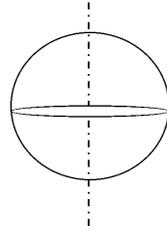
Es también una superficie reglada y desarrollable sobre el plano.



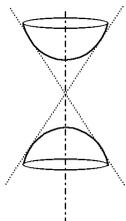
Superficie esférica: generada por la rotación de una curva (circunferencia) alrededor de un eje.

Es una superficie no desarrollable sobre el plano.

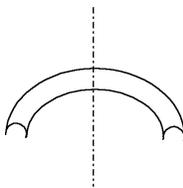
Por lo general trabajamos con sectores de estas superficies, es decir, casquetes que pueden ser esféricos o no de acuerdo a la generatriz.



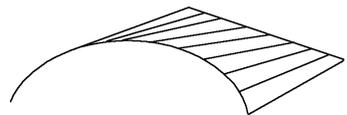
Otras superficies: pueden ser generadas diferentes superficies, tanto por rotación como por traslación.



Hiperboloide de dos hojas



Superficie tórica

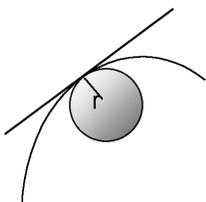


Conoide

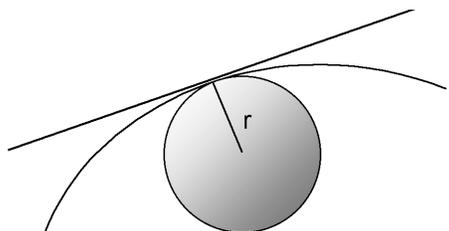
Clasificación de las superficies según su curvatura

Entendemos por **curvatura** de una curva en un punto a la inversa del **radio de curvatura**, dicho radio de curvatura corresponde al radio de su **circunferencia oscultriz**, tangente a la curva en el mismo punto que la recta.

$$C = \frac{1}{r}$$



A menor radio de curvatura, mayor curvatura.



A mayor radio de curvatura, menor curvatura.

Por cada punto hay solo dos curvas que tienen igual recta tangente (derivada 1°) e igual derivada 2°: la *función* o *curva considerada* y la *circunferencia osculatriz*, que determina el *radio de curvatura*.

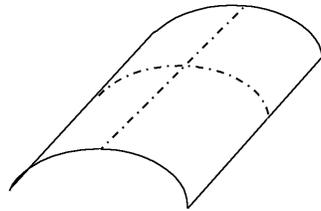
Cuando consideramos una superficie podemos determinar por cada punto dos curvas principales, que serán tangentes a un mismo plano.

$$C_t = C^1 \cdot C^2$$

La **curvatura total** de la superficie resultará del producto de la curvatura de ambas curvas principales.

Si consideramos la **superficie cilíndrica** encontraremos que en cada punto se cortan una curva **generatriz** y una recta **directriz**.

El radio de curvatura de la recta es infinito ∞ , por lo tanto, la curvatura es:



$$C = \frac{1}{\infty} = 0$$

La *curvatura total*, en este caso será:

$$C_t = C^1 \cdot 0 = 0$$

Se denominan por tanto: **superficies de simple curvatura o de curvatura total cero**.

Toda superficie divide al espacio en dos semi-espacios.

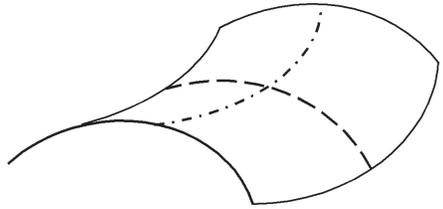
Si consideramos una superficie donde las dos curvas principales tienen su radio de curvatura en el mismo semi-espacio, como por ejemplo el **casquete de revolución** y le damos (arbitrariamente) signos distintos a cada uno de ellos la Curvatura total, resultado del producto de las curvaturas principales es:

$$C_t = (- C^1) \cdot (- C^2) = +$$

Superficie de doble curvatura total positiva

$$C_t = + C^1 \cdot + C^2 = +$$

Si en cambio tomamos una superficie como el **paraboloides hiperbólico**, los radios de curvatura de las curvas principales están en distintos semi-espacios, es decir, tendrían diferente signo, por lo que al hacer el producto de ambas, la curvatura total es negativa:



$$C_t = +C^1 \cdot (-C^2) = -$$

Superficie de doble curvatura total negativa

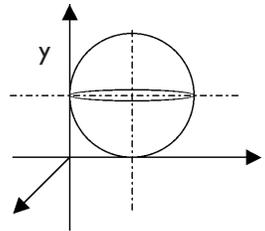
$$C_t = (-C^1) \cdot +C^2 = -$$

CUÁDRICAS

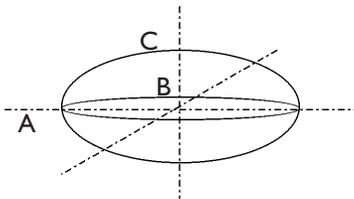
Expresiones matemáticas que definen a estas superficies.

Superficie esférica:

$$(X - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - \gamma)^2 = r^2$$



Elipsoide:



$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

Hiperboloide de una hoja:

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

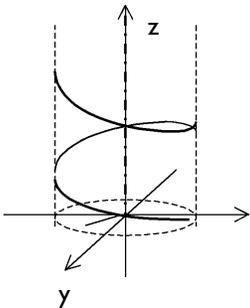
$$- \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

Hiperboloide de dos hojas:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{z^2}{c^2} = -1$$

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = -1$$

$$-\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = -1$$



Hélice circular recta: es la trayectoria de un punto que gira alrededor de un eje, con movimiento de rotación uniforme, y se desplaza paralelamente al eje con movimiento de traslación uniforme.

Ecuaciones paramétricas cartesianas

$$\begin{aligned} x &= r \cdot \cos \varphi \\ y &= r \cdot \text{sen } \varphi \\ z &= k \cdot \varphi \end{aligned}$$

r: Radio del cilindro base.

k: Diferencia de altura de paso.

$$k = \frac{v}{\varphi} \quad \begin{array}{l} \text{(Movimiento circular uniforme).} \\ \text{(Velocidad angular y tangencial).} \end{array}$$

Paso de la hélice: es la medida de dos pasos del punto móvil por la misma generatriz (cuando $\varphi = 2\pi$).

$$\begin{aligned} P &= Z_{p1} - Z_p = k(\varphi + 2\pi) \\ &= k\varphi + 2\pi k \end{aligned} \quad \boxed{= P = 2\pi k}$$

Espira: arco de hélice comprendido entre dos pasos consecutivos del punto móvil por la misma generatriz.

$$L_c = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{r^2 + k^2}$$

Ejemplo:

El borde exterior de una escalera caracol es una hélice circular cuyo sostén tiene un radio de 0,90 m y un paso de 2,60 m.

a) ¿Para qué valor de j un punto P tiene una altura de 2 m?

b) ¿Qué longitud de baranda se necesita para subir un piso?

$$a) z = k \cdot \varphi \quad \text{fi} \quad j = z \cdot z = 2 \text{ m}$$

$$k \quad k = 2 \cdot k \cdot \pi \quad 2,60 \text{ m} = 2 \cdot k \cdot \pi \quad \text{fi} \quad k = \frac{2,60 \text{ m}}{2 \cdot \pi} = 0,414$$

$$\varphi = \frac{2 \text{ m}}{0,414} = 4,83 \text{ rad} = 276^\circ 52'$$

$$\varphi = 276^\circ 52'$$

$$b) l_c = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{r^2 + k^2} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(0,90 \text{ m})^2 + (0,414)^2} = 6,21 \text{ m}$$

Lc = 6,21 m

Helicoide recto: superficie generada por las rectas que proyectan ortogonalmente los diferentes puntos de una hélice circular recta sobre un eje.

Generatriz: es la recta.

Directriz: es la hélice.

Capítulo VII

**Elementos lineales
simples**

TENSORIO PUNTAL

El esfuerzo de **tracción** es una sollicitación de tipo **normal**, ya que es producida por una fuerza **N** que actúa en forma perpendicular a la sección transversal de la pieza, cuya reacción es una fuerza **R**, colineal con la anterior, de igual intensidad y sentido contrario.

El esfuerzo de **compresión** es una sollicitación también de tipo **normal**, pero de efecto inverso a la tracción.

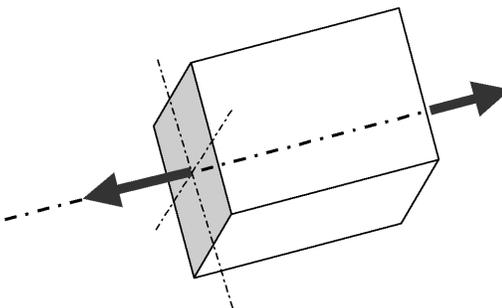
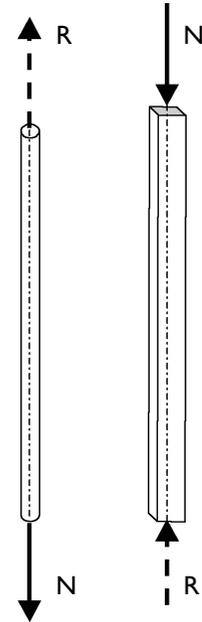
La deformación característica del esfuerzo de **tracción** es el **alargamiento**.

La deformación característica del esfuerzo de **compresión** es el **acortamiento**.

Ambas tensiones se designan con la letra griega " σ " (*sigma*), y se miden mediante la expresión:

$$\sigma = \frac{N \text{ (kg)}}{F \text{ (cm}^2\text{)}}$$

Esta tensión se distribuye en forma uniforme en toda la sección y consideramos aplicada su resultante en el baricentro de la misma, por lo que podemos decir que las tensiones de tracción producen un diagrama constante de tensiones en toda la sección.

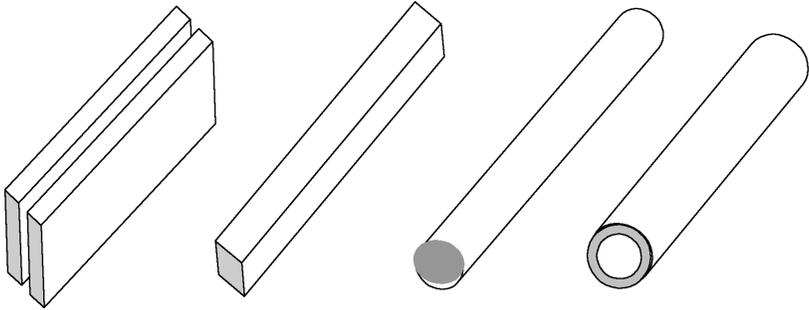


Sección sometida a esfuerzo de tracción.

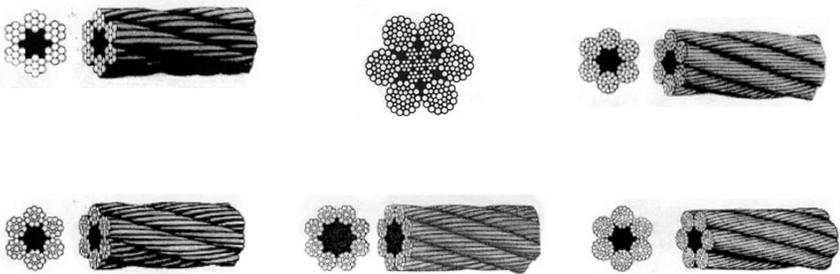
Se deduce de aquí que es posible determinar la sección "**F**" necesaria, a partir de la carga y habiendo determinado el material a utilizar, que nos permite conocer su *tensión admisible* (σ_{adm}).

$$F \text{ (cm)} = \frac{N \text{ (kg)}}{\sigma \text{ (kg/cm}^2\text{)}}$$

Una vez obtenida el área o superficie necesaria de la sección de un elemento solicitado a tracción **-tensor-** es posible darle a la misma *diversas formas* sin que por esto varíe su comportamiento estructural, es decir, la forma de la sección no importa cuando la sollicitación es de tracción.



Un tensor puede ser materializado con elementos rígidos de madera o metal, o con elementos flexibles, por ejemplo: cables de acero.

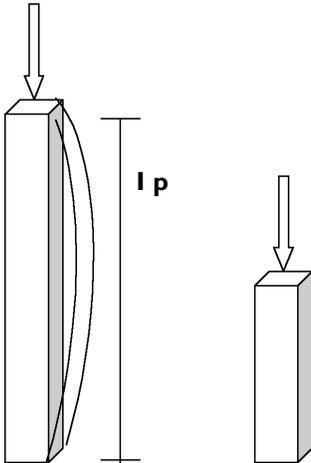
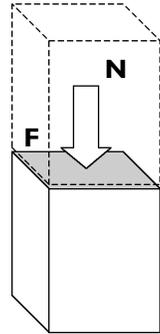


La deformación característica del esfuerzo de tracción es el alargamiento y debe verificarse mediante la expresión:

$$\Delta l = \frac{L \cdot N}{E \cdot F}$$

- Δl : Alargamiento.
- L o l_0 : Longitud inicial del elemento.
- N : Esfuerzo normal o carga actuante.
- E : Módulo de elasticidad o de rigidez del material.
- F : Área o superficie de la sección transversal.

En el caso de un elemento solicitado a compresión **-puntal-** la sección ya no puede adoptar cualquier forma, como en el caso de la tracción, porque en **todo** elemento que trabaje a la compresión puede aparecer el fenómeno de “**pandeo**”.



El **pandeo** es un fenómeno de flexión lateral que está en relación directa con la **esbeltez** de la pieza.

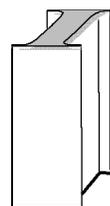
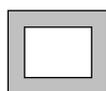
La **esbeltez** es la relación que existe entre la longitud o luz y el lado mínimo del elemento estructural considerado, y se indica con la letra griega λ (*lambda*).

$$\lambda = \frac{l_p}{i_{\min}}$$

i mín = Radio de giro.

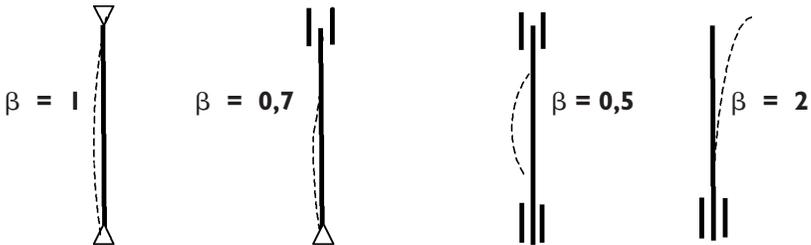
Es por este motivo que al adoptar la *forma* de la sección, se recurre en muchos casos a la utilización de secciones compuestas, ya que el valor de “**i mín**” depende de la inercia de la sección.

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}}$$



Vemos en la expresión que figura “ l_p ”, luz de pandeo, ya que la longitud real de la pieza se afecta por un coeficiente “ β ” que depende de las condiciones de vínculo de la misma.

$$l_p = l \cdot \beta$$



En función de la esbeltez podemos diferenciar **pilar** y **columna**, siendo el primero un elemento que por su importante sección transversal no tiene riesgo de pandeo.

COLUMNAS

Son los elementos más conocidos solicitados a compresión. La longitud y la sección transversal (lado mínimo en secciones rectangulares y diámetro en secciones redondas) deberán estar en relación tal que por su magnitud no supere los valores máximos permitidos por los reglamentos para los diferentes materiales y usos. A dicha relación entre longitud y sección transversal se la denomina **esbeltez**.

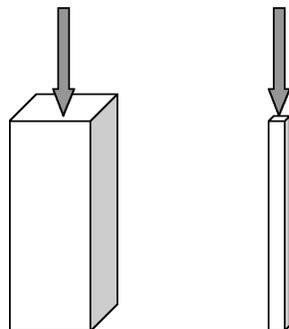
Se define **columna** a todo elemento longitudinal vertical tal que las cargas se descarguen axialmente por éste y cuya esbeltez sea menor de 2,5 es el elemento más propenso a sufrir deformaciones por pandeo.

PILARES

Son elementos solicitados a compresión, la longitud y la sección transversal (lado mínimo en secciones rectangulares y diámetro en secciones redondas) deberán estar en relación tal que por su magnitud no puedan ser considerados esbeltos.

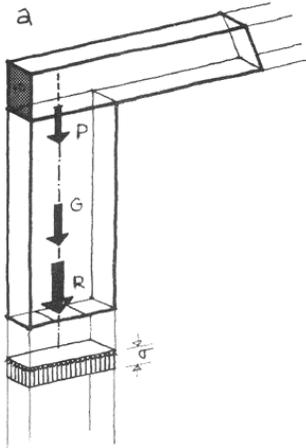
Se define **pilar** a todo elemento estructural longitudinal vertical tal que las cargas se descarguen axialmente por éste y cuya esbeltez sea mayor de 2,5.

Estos elementos por su gran sección transversal nunca sufren deformaciones por pandeo.



Pilar.

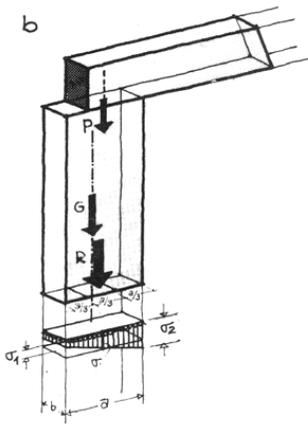
Columna.



Como ya fue expresado, los esfuerzos normales de compresión se consideran aplicados en el baricentro de la sección, generando tensiones uniformes en la misma.

Ejemplo:

a.



Cuando la acción se desplaza respecto al baricentro, comienza a variar el diagrama de tensiones consecuencia del esfuerzo de flexión generado por el producto de la fuerza o carga por su distancia al baricentro, llamada excentricidad.

Ejemplo:

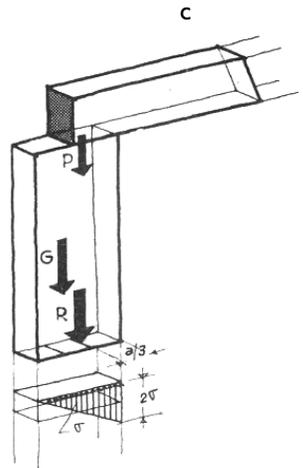
b.

Mientras dicha excentricidad no sea mayor que $1/6$ del lado de la sección, las tensiones internas serán del mismo signo, es decir, en este caso serán, aunque variables, todas de compresión.

Si la excentricidad es igual a $1/6$ del lado las tensiones serán nulas en un extremo y máximas en el otro, pero manteniendo el mismo signo.

Ejemplo:

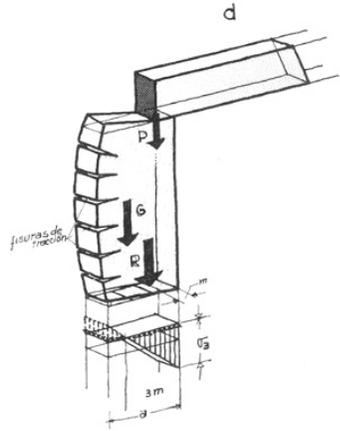
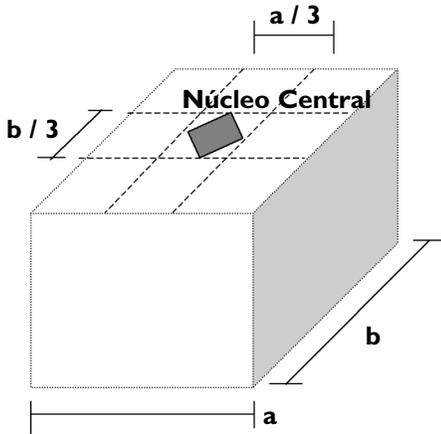
c.



Cuando la excentricidad excede $1/6$ del lado de la sección, decimos que la fuerza cae fuera del **núcleo central**, por lo que aparecerán tensiones de ambos signos opuestos, es decir, de compresión y tracción.

Ejemplo:

d.



Núcleo central: se define como el lugar geométrico que abarca el tercio del lado, y nos determina tensiones del mismo signo en toda la sección.

CABLES Y ARCOS

SISTEMA DE CABLES

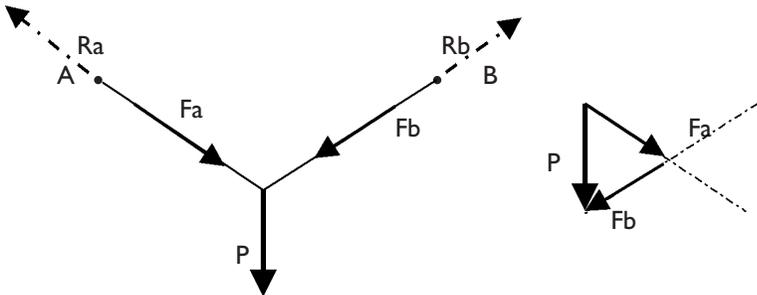
Cuando tratamos el esfuerzo de tracción y los elementos estructurales aptos para su resistencia debemos considerar el mecanismo de desviación de la carga, es decir, hacia dónde se dirige la misma (apoyos) y cuál es el “camino” que recorren hasta llegar a ellos.

Si contamos solo con un apoyo, la carga seguirá el camino del eje de la pieza hasta encontrar la reacción.



Si consideramos un cable (elemento flexible) de peso propio despreciable, suspendido entre dos puntos fijos, con una sola carga aplicada en la mitad de su longitud.

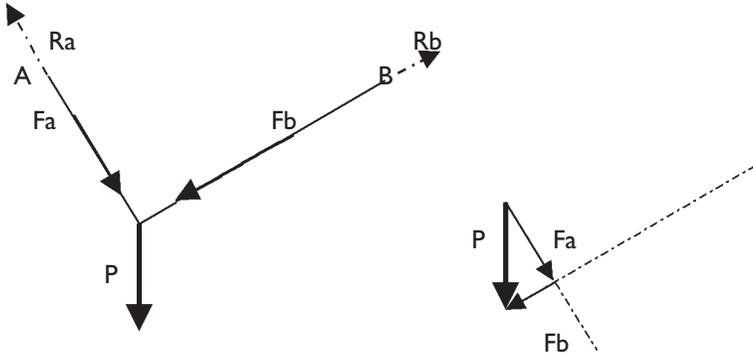
Bajo la acción de la carga, el cable adopta una forma que responde al **funicular de cargas**, o sea, que la fuerza **P** se descompone en las dos direcciones concurrentes **a** y **b**.



Las fuerzas **Fa** y **Fb**, en cada cable, son normales a la sección y actúan en el baricentro de la misma, por lo tanto la pieza está sometida a tracción pura o baricéntrica.

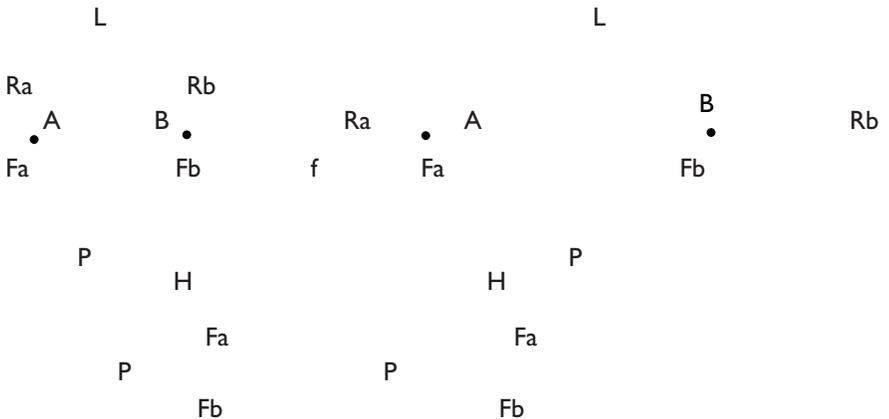
La reacción en el apoyo resultará de igual dirección e intensidad y de sentido contrario a cada una de las fuerzas actuantes.

Si modificamos el esquema de cargas, varía la forma que adopta el cable.

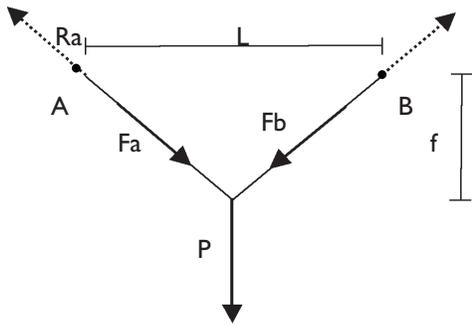


La dirección y magnitud de las reacciones y de los esfuerzos se obtienen de la descomposición de las fuerzas según la luz y la flecha mediante el **polígono funicular**.

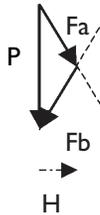
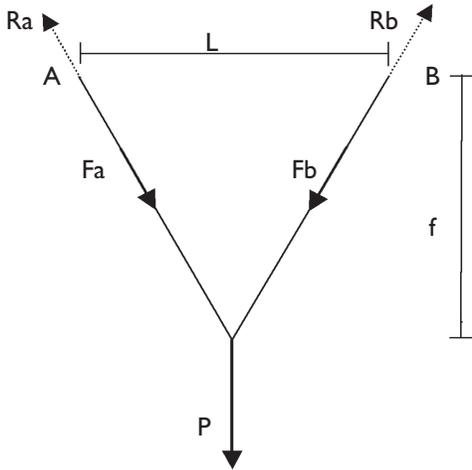
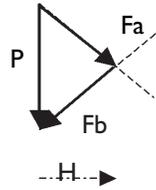
Si con la misma carga, aumentamos la luz, los esfuerzos en los cables aumentan igual que las reacciones en los apoyos.



Si en cambio se aumenta la flecha manteniendo constante la intensidad de la carga, los esfuerzos resultan inversamente proporcionales, esto quiere decir que si aumenta la flecha disminuyen los esfuerzos.

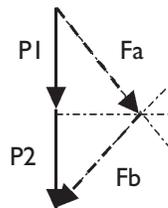
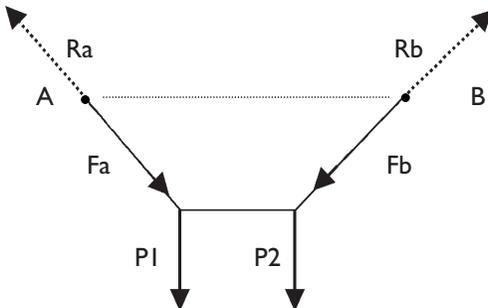


Rb

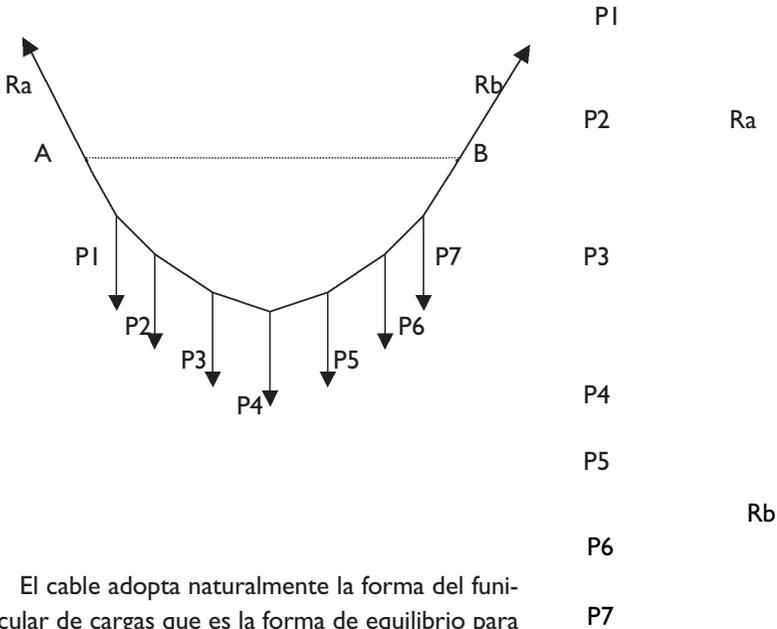


En todos los casos podemos verificar que la variación se da en la componente horizontal.

Aumentando la cantidad de cargas aumentan los lados del polígono funicular:



El polígono funicular en todos los casos representa la deformación del cable:



El cable adopta naturalmente la forma del funicular de cargas que es la forma de equilibrio para cualquier estado de cargas externas, por lo que estará sometido a tracción pura o **baricéntrica**, ya que el cable por sus características no puede absorber otro esfuerzo.

A medida que aumenta el número de cargas, el polígono funicular tendrá un número creciente de lados, cada vez más pequeños, aproximándose a una curva **funicular**.

Quando las cargas aplicadas están muy juntas se establece un símil con los eslabones de una cadena, por lo que la forma natural que adopta se denomina **catenaria**.

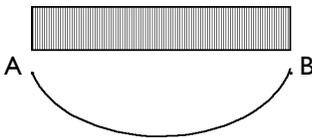
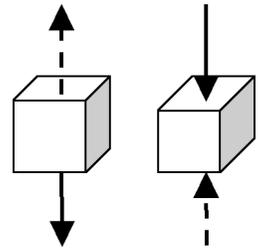
Si proyectamos la carga sobre la horizontal, resulta una carga distribuida no uniforme.

SISTEMA DE ARCOS

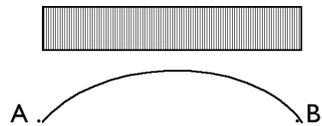
Así como la tracción es una sollicitación normal que tiende a separar dos secciones infinitamente próximas, la compresión es una sollicitación del mismo tipo que tiende a acercar dos secciones, o sea, a disminuir la distancia intermolecular.

Si para soportar una misma carga invertimos el elemento, cambiando el material y el tipo de apoyo, varía el tipo de sollicitación interna.

En el caso de un cable suspendido vimos que naturalmente adopta la forma del funicular de cargas; al invertir la forma, el arco debe presentar la forma del **antifunicular de cargas** y, de ese modo, la sección estará sollicitada a compresión baricéntrica.



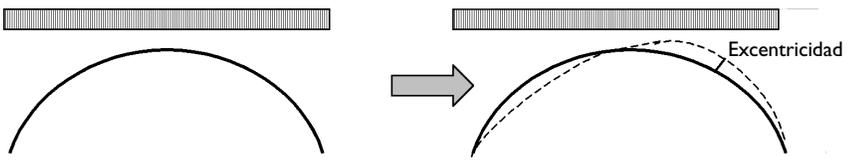
Tracción



Compresión

Para que un arco trabaje a **compresión dominante** su eje baricéntrico *debe* tener la forma del **antifunicular de cargas** permanente.

Ante la acción de cargas accidentales un cable variará su forma de acuerdo al nuevo funicular de cargas, en cambio, dadas las características de los materiales que trabajan a compresión, como piedras, hormigón, cerámicos (rígidos), y la importancia de la sección transversal debida al riesgo de pandeo, no puede cambiar su forma y, por lo tanto, no coincide su eje baricéntrico con el antifunicular de cargas.



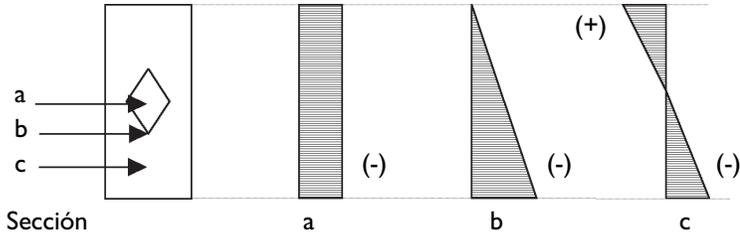
El desplazamiento de la nueva curva significa que las fuerzas ya no actúan en el baricentro de la sección y por efecto del mismo, la fuerza por esa distancia,

llamada **excentricidad**, produce un momento o estado de **flexión**.

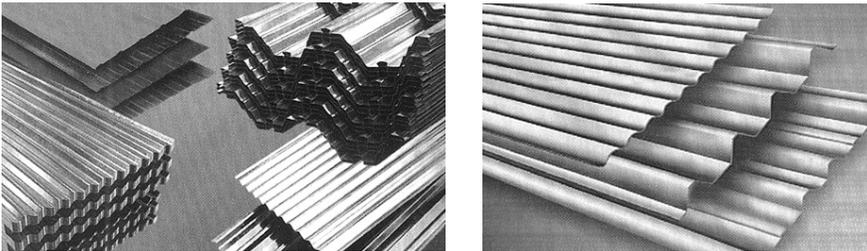
El arco estará solicitado a compresión por las cargas permanentes y a flexión debido a cargas accidentales, es decir **flexo-compresión**.

$$M = R \cdot e$$

Para que toda la sección esté comprimida la excentricidad máxima debe ser menor a 1/6 de la altura de la sección, la fuerza debe actuar dentro del núcleo central.



Una manera de incrementar la altura “**h**” de la sección sin modificar el área de la misma es modificar su forma, aumentando su **inercia “J”**, se aumenta el “**i mín**” y se evita de ese modo acrecentar el peso propio.



Chapas para cubiertas,
el doblado o plegado aumenta su inercia.

Como ya fue expresado al hablar de columnas, “Todo elemento estructural sometido a esfuerzos de **compresión** tiene riesgo de **pandeo**”, por lo que en los arcos debe verificarse.

La expresión utilizada en dicha verificación es la *fórmula de Euler*, que permite obtener la *carga crítica de pandeo “PK”*, que debe ser de 3 a 5 veces mayor que la carga actuante.

- E:** Módulo de elasticidad o de rigidez del material.
- J:** Momento de Inercia de la sección.
- Lp:** Luz de pandeo, depende de las condiciones de vínculo.
En el arco se mide la longitud sobre la curva del mismo.

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{L_p^2}$$

Capítulo VIII

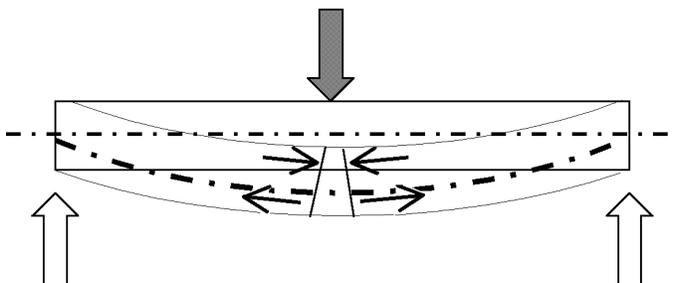
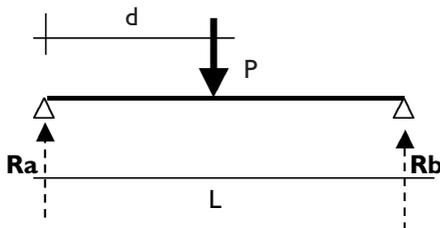
**Elementos lineales
solicitados a flexión**

VIGAS

Cuando en un elemento estructural, el apoyo no permite generar la reacción sobre la recta de acción de la carga, es decir, la acción de la carga no coincide con el eje del elemento estructural, como vimos en el caso de puntales y tensores, y no puede descomponerse como en los cables y arcos, la fuerza debe ser trasladada mediante un par, por lo que aparece un momento que denominamos **momento flector**.

$$M = P \cdot d$$

La deformación del elemento estructural se expresa en la **curvatura del eje** de la pieza.



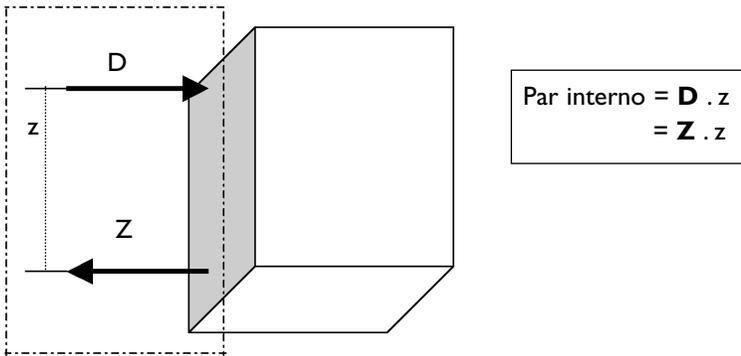
Al curvarse, dos secciones paralelas, infinitamente próximas entre sí han girado, de modo tal que, algunas de las fibras tienden a acortarse **–se comprimen–** y otras a alargarse **–se traccionan–** en este caso las fibras superiores están comprimidas y las inferiores traccionadas.

En el caso de un voladizo (balcón) la deformación es opuesta a la anterior, y por ende las fibras traccionadas son las superiores y las comprimidas las inferiores.



La combinación de los esfuerzos de compresión (**D**) y tracción (**Z**) en un mismo

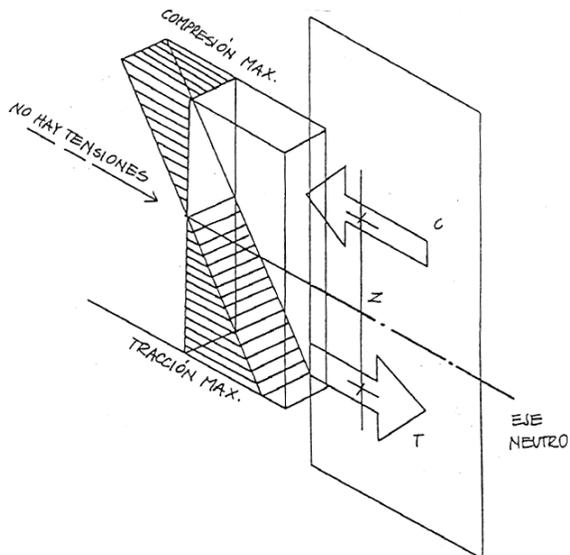
plano, perpendicular a la sección transversal dan origen al par interno que será quien se oponga a la acción generada en dicha sección por las cargas y las reacciones correspondientes a las mismas.



z: Brazo elástico o brazo de palanca.

El *par interno* es el encargado de equilibrar el efecto del momento flector originado por las fuerzas exteriores y las reacciones de vínculo.

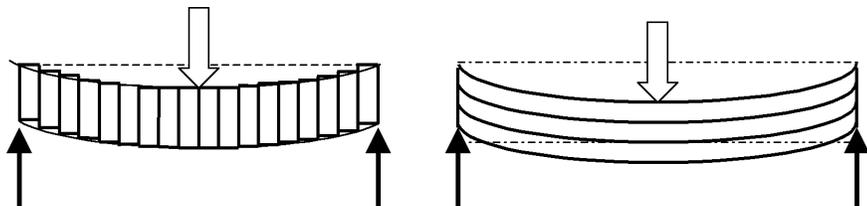
En función de la altura de la pieza (distancia entre las fibras sometidas a tracción y a compresión), el **brazo elástico "z"**, aumenta, crece el *momento de inercia* de la sección "**J**" (oposición ejercida por la forma de la pieza al deformarse) y, como consecuencia aumenta también su resistencia, representada por su **módulo resistente "W"**.



En el diagrama de tensiones correspondiente a una pieza sometida a flexión se puede observar claramente el brazo de palanca “z” y el punto en el que se produce el cambio de sollicitación, es decir, el lugar donde las tensiones son nulas, llamado **eje neutro**.

En los casos de flexión simple, este eje neutro coincide con el eje baricéntrico; en cambio en casos de flexión compuesta tenderá a desplazarse.

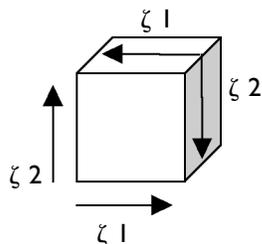
Además de producirse un giro en la sección analizada, también se produce un desplazamiento de la misma respecto de la sección inmediata, por efecto de la deformación o curvatura, por lo que se evidencia la existencia de **esfuerzos de corte**.



Las **solicitaciones de corte** se observan si suponemos a la pieza dividida en secciones normales y en secciones paralelas (fibras) a su eje baricéntrico. La magnitud de estos esfuerzos es variable a lo largo de la pieza.

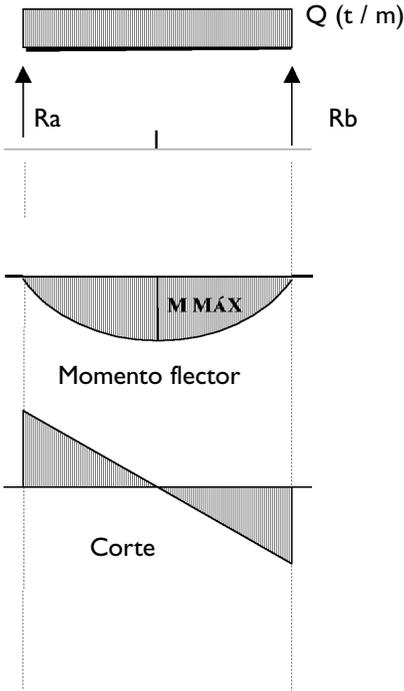
Si tomamos un cubo elemental de una pieza sometida a flexión podremos analizar el comportamiento de dichas tensiones, que según el *Teorema de Cauchy*, las tensiones tangenciales que actúan en la sección, convergen y divergen de la arista común.

De acuerdo con esto, las tensiones de corte y tangenciales son iguales.



En una viga simplemente apoyada, con carga distribuida a lo largo de la pieza, las tensiones de flexión son máximas en el centro del tramo considerado y mínima, en la zona de apoyos, y las tensiones de corte son máximas en los apoyos y nula en el centro del tramo.

Estos esfuerzos se grafican para cada punto de la pieza en forma de **diagramas de características**, que representan en una escala, a partir del eje de referencia la magnitud del esfuerzo considerado.



En el caso de una viga simplemente apoyada, con carga uniformemente distribuida el valor del momento máximo se obtiene:

$$M. \text{máx.} = \frac{q \cdot l^2}{8}$$

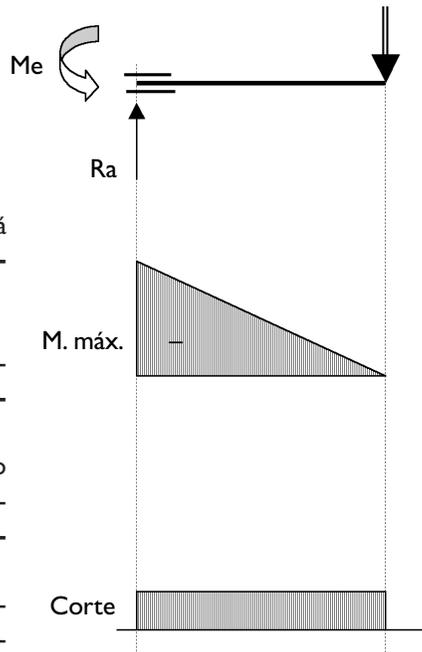
En el caso particular de un voladizo, el momento flector máximo se produce en el apoyo, por la existencia del par de empotramiento.

Cuando un elemento estructural está solicitado solo a flexión, es un caso de **flexión simple**.

Si encontramos esfuerzo de corte además del momento flector, lo llamamos **flexión plana**.

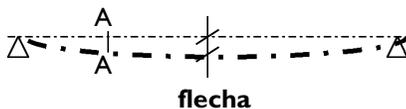
Si además del momento existiera otro esfuerzo de tipo normal (tracción o compresión), se produce una **flexión compuesta**.

Existen otros casos de flexión más complejos que no trataremos en este momento, ellos son la **flexión oblicua** y la **flexión general**.



La deformación característica de piezas solicitadas a flexión es la curvatura. Si consideramos un punto cualquiera "A" perteneciente al eje baricéntrico, notaremos que éste al deformarse sufre un descenso "A", esta distancia se denomina **elongación**, y la máxima elongación es lo que llamamos **flecha**.

Al analizar los elementos considerados en la expresión que nos permite la verificación de la deformación máxima debida a flexión, es decir, la flecha, notaremos la importancia de cada uno de ellos.



$$f = \alpha \cdot \frac{P \cdot l^3}{E \cdot J}$$

α : Coeficiente que depende del tipo de vínculo.

P: Carga, directamente proporcional.

l: Luz, elevada al cubo, es el factor de mayor incidencia.

E: Módulo de elasticidad o rigidez del material.

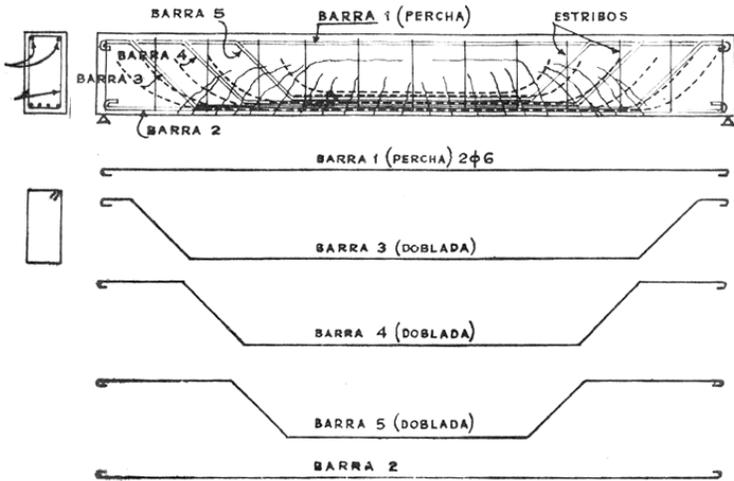
J: Momento de inercia de la sección.

Los elementos lineales característicos de esta sollicitación son las **vigas**, y los materiales aptos son todos aquéllos que sean capaces de soportar los esfuerzos internos detallados anteriormente, tracción, compresión y corte. Podemos entonces considerar la **madera**, los metales, especialmente el **acero** y el **hormigón armado**.

Este último material es el más utilizado en nuestro medio por sus propiedades resistentes, tecnológicas (moldeado in situ, premoldeado, y posibilidad de pretensado y postensado) y condiciones económicas de mercado.

El hormigón es un material apto para trabajar a la compresión ya que una vez fraguado y endurecido se transforma en un pétreo, y para tomar los esfuerzos de tracción se le incorpora la armadura, que son barras de acero generalmente conformado, que gracias a las propiedades de ambos materiales (adherencia y coeficiente de dilatación térmica) pueden trabajar juntos en la resistencia de sollicitaciones de flexión.

Como el acero será el encargado de soportar la tracción, estas barras se disponen en las zonas donde se presenta este esfuerzo, es por esto que vemos que la armadura principal en una viga, se coloca en la parte inferior en los tramos y se levanta en proximidad con los apoyos; en un voladizo en cambio, la armadura principal debe ser dispuesta en la parte superior del mismo, que será la zona traccionada.

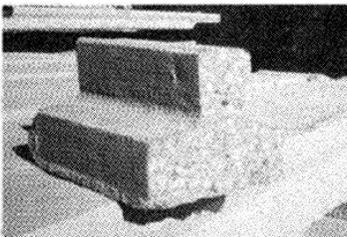


Como fue expresado en párrafos anteriores, la técnica moderna incorpora sollicitaciones previas en diferentes elementos estructurales y a distintos materiales, entre los que se encuentra el **hormigón**, creando así la posibilidad de **pretensado y postensado** del mismo.

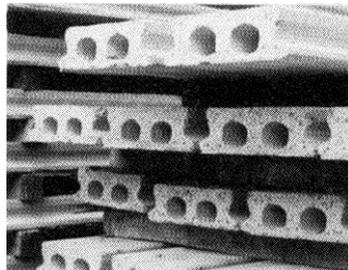
La técnica de **pretensado** consiste en tensar (estirar) la armadura, una vez colocada en el molde o encofrado, mediante gatos hidráulicos, hormigonar luego la pieza y una vez producido el fragüe, soltar las barras de acero, que al intentar volver a su posición original **precomprimen** el hormigón, es decir, le transmiten un esfuerzo contrario al que se verá sometido por acción de las cargas.

La armadura está simplemente sumergida en el hormigón, quedando anclada exclusivamente mediante fuerzas periféricas de adherencia, es decir sin anclajes finales.

Los elementos más conocidos y utilizados son las viguetas para entrepisos y las losas pretensadas.



Vigueta pretensada modelo T.

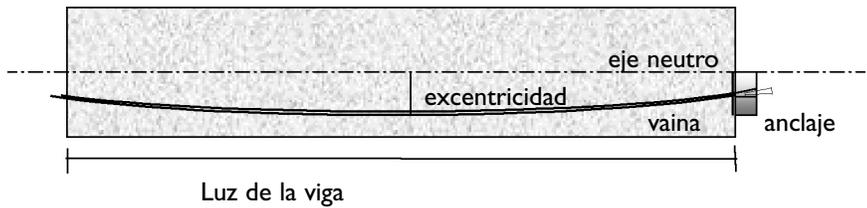


Losa hueca pretensada.

El **postensado** se basa en el mismo principio, pero la técnica es diferente.

Los cables de acero se hallan aislados del hormigón y son tensados una vez que el hormigón ha endurecido.

En el hormigón se incluye una vaina, cuya posición respecto del eje neutro puede ser calculada, dentro de la cual se alojará un cable de acero que una vez endurecido el hormigón, podrá ser tensado y anclado.

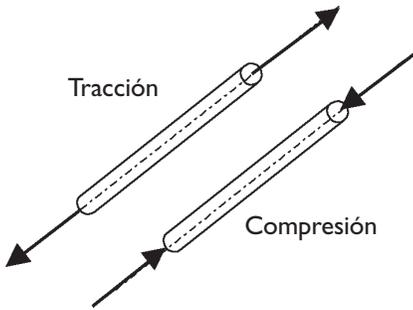


Capítulo IX

**Elementos planos
reticulados**

ESTRUCTURAS DE BARRAS

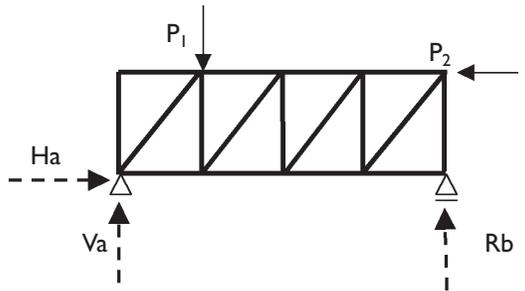
Se definen como **estructuras de barras** o **reticulares** a aquellas estructuras compuestas por medio de piezas rectas, sólidas y esbeltas; denominadas **barras**; convenientemente vinculadas entre sí por medio de **nudos**, de manera tal que cualquier forma posible resulte de la combinación de sistemas triangulados.



Las piezas lineales son aptas para transmitir básicamente esfuerzos axiales a la misma, es decir, esfuerzos normales de tracción y compresión, esfuerzos paralelos a su eje longitudinal.

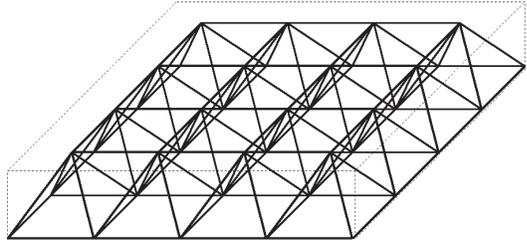
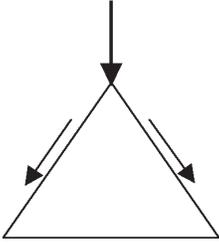
Estas barras ensambladas triangularmente forman una composición estable (ya que el triángulo es indeformable para cargas que actúan en su plano) y completa en sí misma que sustentada convenientemente, es capaz de recibir cargas y transmitir las a los apoyos.

Estas estructuras pueden ser materializadas en acero, aluminio o madera.



La principal ventaja de estas estructuras es la notable resistencia a la acción de distintas cargas de servicio en relación con su peso propio. Se las utiliza en luces pequeñas y medianas, pero, su aplicación se impone en los casos que se deban salvar grandes espacios entre apoyos, y al no necesitar encofrados resulta también económico.

Triangulación en el plano



Triangulación espacial.

Mecanismo de desviación de cargas

Se produce una descomposición vectorial de las cargas en cada nudo, por lo que cada barra será la materialización de un vector que lleva la carga al apoyo, conformando triángulos como solución para evitar la deformación del sistema general.

Las fuerzas deben aplicarse en los nudos, ya que su aplicación a lo largo de la barra puede producir flexión en la misma.

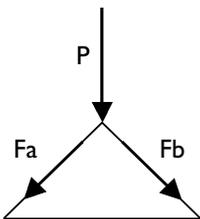
De ser necesario, aplicar fuerzas a lo largo de las barras se debe tener la precaución de agregar montantes o diagonales en el sistema a fin de acortar la luz de pandeo y recomponer el sistema de modo tal que el punto de aplicación se convierta en un nuevo nudo o articulación.

Las barras se consideran articuladas, ya que de esta manera solo es posible transmitir fuerzas, sin permitir el giro o momento flector dentro de dicho sistema.

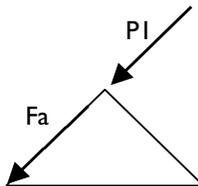
Generalmente se trabaja basándose en determinadas **hipótesis**:

- **Las cargas se consideran actuando exclusivamente en los nudos.**
- **Estos nudos se consideran articulados.**
- **Las barras están solicitadas solo a tracción y compresión.**

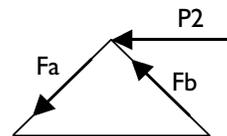
Las barras estarán solicitadas a esfuerzos de tracción o compresión según sea su posición y la dirección de la carga. Podemos ver en un ejemplo simple la diferencia:



P se descompone en **Fa** y **Fb** compresión



Fa toma todo el esfuerzo de compresión



Fa será de compresión
Fb de tracción

TIPOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN

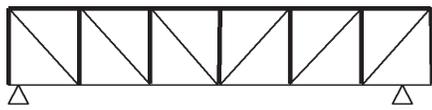
1. Reticulados de cordones paralelos.
2. Armaduras o cerchas.
3. Sistemas planos asimilables a formas aporticadas.
4. Sistemas planos asimilables a arcos.
5. Sistemas planos triangulados como estructuras verticales para edificios en altura.

1. Reticulados de cordones paralelos

En esta tipología, según su posición, las barras constitutivas reciben el nombre de **cordón superior**, **cordón inferior**, **diagonales** y **montantes** (verticales).

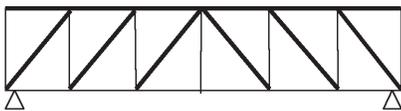
Viga Pratt: se utiliza generalmente para luces medianas y grandes (superior a los 100 m) con altura entre $1/5$ y $1/8$ de la luz.

Las diagonales, que son las barras de mayor longitud, trabajan a tracción y las montantes están comprimidas.



— Tracción
— Compresión

Viga Wowe: se utilizan especialmente en luces medianas y en ella las barras diagonales trabajan a compresión y las montantes a tracción.

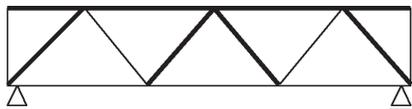


EASY - Córdoba - Argentina.

Viga Warren: presentan la ventaja que la *malla* es menos tupida.

Las barras montantes tienen la finalidad de reducir las luces en las barras comprimidas o reducir la flexión en las barras traccionadas (*cordón inferior*).

Cuando las vigas toman grandes



lucos conviene que el cordón superior no sea paralelo al inferior sino que se les de forma de arco de manera tal que los tramos internos aumentan su altura y con ello su momento de inercia, conforme aumenta el momento flector.

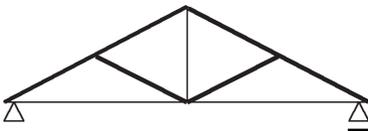
2. Armaduras, cerchas o cabriadas

Las cerchas o cabriadas son utilizadas para sostener cubiertas con pendiente.

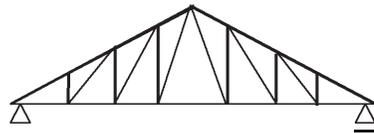
Constan básicamente de elementos superiores, que conforman el cordón superior y se denominan **pares**, elementos inferiores que se denominan **tensores** y elementos intermedios que según su ubicación en el espacio se clasifican en **montantes** si fueran **verticales** o **diagonales** si siguieran esa dirección.

A lo largo del tiempo se han desarrollado diversos tipos que se clasifican según la disposición internas de montantes y diagonales de la cuales se ilustran aquí las más conocidas:

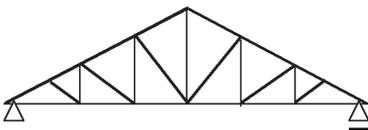
Armadura Alemana



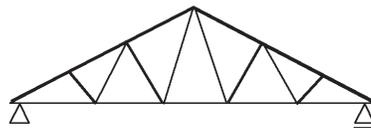
Armadura Inglesa



Armadura Norteamericana

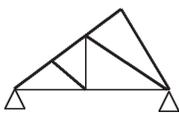


Armadura Belga



Armadura en Dientes de Sierra

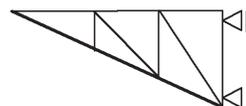
Se utiliza cuando es necesaria una buena iluminación cenital.

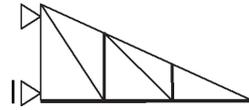


Simple

Armadura en Voladizo o Marquesina

En estos casos, el cordón superior está traccionado y el inferior comprimido.





3. Sistemas planos triangulados asimilables a pórticos

Como su nombre lo indica, podemos encontrar los mismos tipos de apoyos y articulaciones que en los *pórticos*, es decir de **bi-articulado** o **tri-articulado**, de eje inclinado u horizontal, con o sin voladizos.



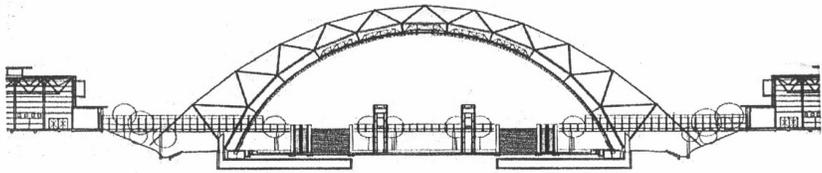
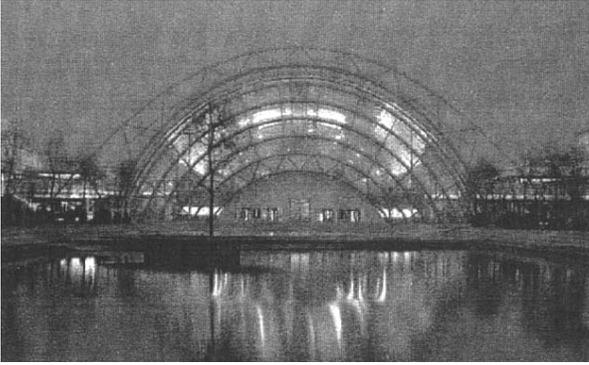
Sansbury Center. N. Foster.

4. Sistemas planos triangulados asimilables a arcos

Podemos utilizar esta tipología también para la materialización de arcos con dos o tres articulaciones.



Recinto Ferial de Leipzig.



5. Sistemas planos triangulados como estructuras verticales para edificios en altura

Los edificios en altura están sometidos a diversas cargas, teniendo importancia relevante las de tipo horizontal, como la acción del viento o la acción sísmica, variables de acuerdo a su lugar de implantación y a la altura del mismo, siendo mayor su incidencia con el aumento de su altura.

Una de las tipologías utilizadas para resolver esta problemática es la utilización de **reticulados** o **estructuras de barras**, por sus características de *liviandad* y *mecanismo de desviación de cargas*.



John Hancock Center (Chicago)
El reticulado en cruz que abarca varios niveles le da rigidez al conjunto y resiste las cargas horizontales de viento.

Torre Arts
Construida en Barcelona con vistas a
la celebración de los Juegos
Olímpicos del año 1992, con
estructura metálica reticulada que
determina el aspecto exterior
del edificio.



Capítulo X

**Estructuras de
tracción pura**

ESTRUCTURAS DE TRACCIÓN PURA

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE FORMA ACTIVA

Adoptamos para clasificar los **Sistemas estructurales** los criterios y parámetros enunciados por H. Engel.

Sistemas Estructurales de forma activa: son aquéllos que actúan por medio de su forma material que adopta la “**forma del camino de las cargas expresado en la materia**”.

Los estados de sollicitación interna de estos sistemas pueden ser:

- Tracción pura.
- Compresión dominante.

Definimos a las **Estructuras de tracción pura** como a aquellos sistemas estructurales que actúan por su forma y están sollicitados exclusivamente a esfuerzos internos de tracción.

Este tipo estructural a su vez está compuesto por dos diferentes familias que denominamos:

1. **Estructuras de tracción pura.**
2. **Estructuras neumáticas.**

1. Estructuras de tracción pura

Las estructuras sometidas exclusivamente a tensiones de tracción se denominan Sistemas estructurales de tracción pura y son aquéllas que actúan adaptando su forma según la distribución de las cargas a la que está sometida la estructura y desarrollando tensiones exclusivamente de tracción en todo el sistema.

MECANISMO DE DESVIACIÓN DE CARGAS

Vimos ya como un cable se deforma según las variaciones de la carga aplicada a lo largo del mismo, de forma tal que, con la aparición de nuevas cargas la forma varía.

Podemos inferir de allí que, para un cable con carga uniformemente distribuida a lo largo del mismo la forma que éste adoptará será una curva.

Por medio del análisis de las cargas y la aplicación de un polígono de fuerzas podemos verificar que forma tiende a tomar un cable para un estado de carga específico.

Decimos entonces que una estructura sometida a sollicitación de **tracción pura**, adquiere la forma del **funicular** para el estado de cargas a la cual se halla sollicitado al sistema.

Si tomamos un cable, sostenido en sus extremos, sometido a la acción de un sistema de cargas externas, hay una sola forma en que se resuelve el equilibrio general, y va a ser, de los infinitos polígonos funiculares posibles, aquél que tenga la misma longitud que el cable.

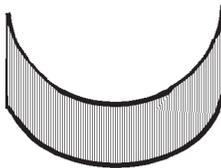
La *libertad de forma* entonces es muy restringida, existe una relación estrecha entre la forma y las cargas externas.

Para un cable uniforme cargado (*carga uniformemente repartida a lo largo del cable*) el polígono funicular es una curva denominada **catenaria**.

Para un cable, *cuya proyección horizontal de carga es uniforme*, la forma que adopta el funicular es de una curva denominada **parábola**.



Diagrama de cargas



Catenaria



Diagrama de cargas



Parábola de 2º grado

a. Cable con carga distribuida uniformemente a lo largo de la curva (cada porción de cable recibe el mismo esfuerzo). La curva funicular para este estado de carga se denomina **catenaria**.

b. Cable con carga no uniformemente distribuida (cada porción de cable absorbe diferentes esfuerzos). La distribución de carga es uniforme en el plano de proyección horizontal de las cargas. La curva funicular es una **parábola**.

A efectos del cálculo, y como ambas curvas, en relación flecha/luz del 10% son muy similares, se utiliza normalmente la **parábola de 2º grado**.

MATERIALES

A partir de lo antes analizado y tomando en cuenta que una estructura sometida a tracción pura se deforma según su estado de cargas podemos, sin duda, de-

finir que en función de la necesidad de “adaptabilidad” de forma de estas estructuras (debido a su necesidad de cambiar de forma para cada estado de carga) los materiales aptos para su materialización deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Deben ser muy resistentes a la tracción.
- Deben ser flexibles.
- Deben ser poco extensibles.

Los materiales aptos para utilizar en este tipo de estructuras son clasificados según el siguiente esquema:

Elementos Lineales (Hilos)	Metálicos	Cables Cadenas Cordones	Acero, aluminio. Según su composición en cantidad de filamentos, eslabones, etc.	
	No metálicos	Sogas naturales Sogas sintéticas	Fibras vegetales Fibras sintéticas (<i>nylon / perlon</i>)	Cáñamo, etc.
Elementos Superficiales (Membranas)	Lonas	Membranas sintéticas (con o sin cobertura de PVC o teflón)		Algodón, polipropileno, poliéster Fibra de vidrio
	Mallas Tejidos			
	Películas	Films de PVC y de PTFE (politetrafluoretileno)		

ESTABILIZACIÓN DE LA CUBIERTA

Como hemos definido los elementos resistentes de la estructura sometida a tracción pura son cables, materiales lineales, flexibles y poco extensibles; deducimos que su sistema portante tiene como característica la de necesitar un sistema de cubierta apto para la función proyectada.

Estos sistemas de cubierta se realizan con diversos materiales que pueden ser elementos modulares livianos (chapas) o elementos premoldeados, según la característica de la superficie a cubrir y las necesidades formales del espacio interior.

En general, estas estructuras son de poco peso, aproximadamente 40/50 kg/m² es decir, livianas, el sistema portante materializado por elementos cables, que son elementos flexibles, pueden sufrir deformaciones que pongan en riesgo la estabilidad del conjunto.

Estas deformaciones son causadas, en general, por efecto del viento que puede invertir la forma de la cubierta.

Para evitar estas deformaciones existen dos posibilidades:

a. Aumentar el peso propio de la estructura de 3 a 5 el valor de succión del viento (especificado en tablas o calculado según el CIRSOC 102).

Con lo que se pierde una de las ventajas del sistema que es la *livianidad* y aumenta el *costo*, la denominamos **cubierta pesada**.

b. Pretensar el sistema para traccionarlo todo a fin de poder “**destraccionarlo**” en caso de ser necesario.

Los sistemas estructurales sometidos a tracción pura soportan solo esfuerzos de tracción y no soportan compresión, entonces si el sistema se **pretracciona**, al ser solicitado por tensiones de compresión, éstas eliminan a la tracción excesiva aplicada previamente, y dejan al sistema trabajando con tensiones de tracción de poca magnitud o sin solicitaciones, pero nunca llega por estar solicitado a tensiones de compresión.

TENSIÓN PREVIA

Consiste en introducir en la estructura un estado de sollicitación interna de **tracción, anterior** a la acción de las cargas de servicio, de magnitud tal que supere los valores estimados de sollicitaciones de compresión, inadmisibles en una estructura de tracción pura.

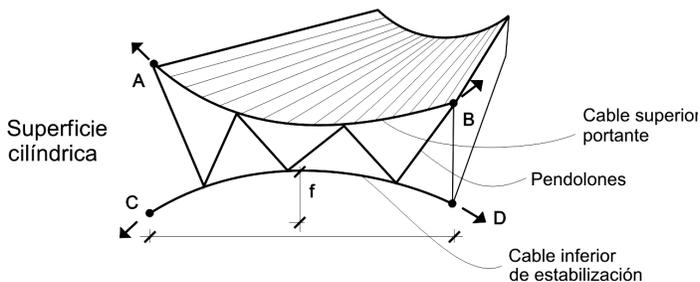
Para aplicar esta tensión previa, sin modificar el aspecto formal, debemos contar con doble curvatura total negativa, o dos familias de cables de curvatura opuesta.



Cubierta del Estadio Olímpico de Munich, Ing. Frei Otto.

El primero es generando la superficie por medio de una trama de cables perpendiculares entre sí, pretensados, que al trabajar en forma solidaria impiden las deformaciones del conjunto.

La segunda forma de lograr rigidez en el sistema es por medio de una estructura plana de tracción, denominada Cercha Jawerth, que consiste en colocar una familia de cables denominados portantes, y otra, de curvatura inversa, llamados de estabilización, vinculados entre sí por medio de cables denominados pendolones de modo tal que al aplicarse la tensión previa entra en tensión todo el sistema y la forma queda estabilizada.



Cercha Jawerth

Cable portante por encima del cable de estabilización.

Cable portante por debajo del cable de estabilización.
Puntales en lugar de pendolones.

Cables portantes y de estabilización cruzados, parte con pendolones y parte con puntales.



Estadio Olímpico de México.
Cercha Jawerth con la cubierta ubicada sobre los cables de estabilización.

POSIBILIDADES FORMALES

Las posibilidades formales que pueden adoptar las estructuras sometidas a tracción pura son aquéllas que hemos estudiado como *geometría de las superficies* y que podemos clasificar en:

Simple curvatura

Superficies de revolución

Superficies cilíndricas

Superficies de traslación

Superficies cónicas

Positiva

Paraboloide elíptico

Casquete esférico

Superficie de revolución con generatriz curva

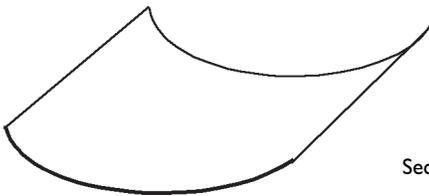
Doble curvatura total

Negativa

Paraboloide hiperbólico

Hiperboloide de revolución

Conoide



Sector de superficie cilíndrica.

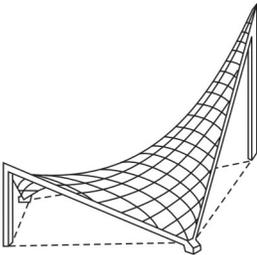
Aeropuerto Dulles,
Washington,
Arq. Eero Saarinen.



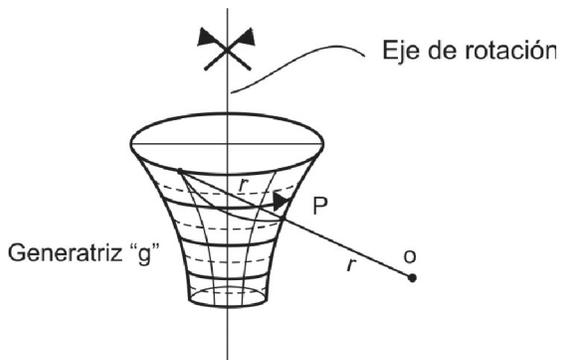
Superficie de doble curvatura total positiva.



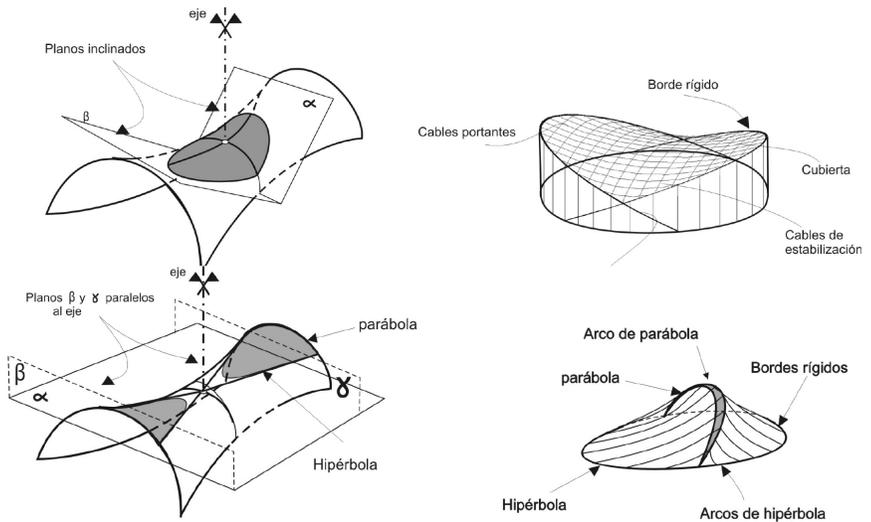
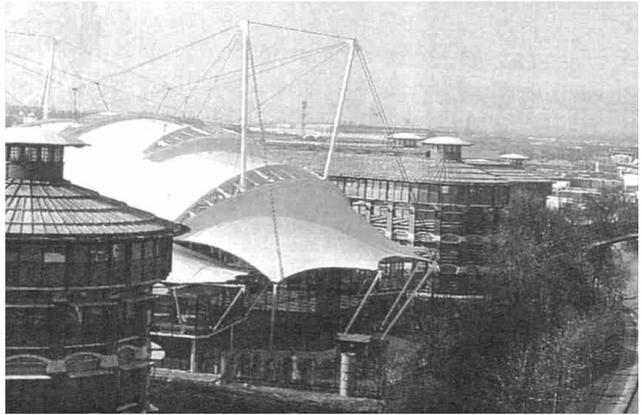
Domo del Milenio,
Londres,
Arq. Richard Rogers.



Superficie de doble curvatura total negativa.



Sede Central de
Hacienda, Nottingham.



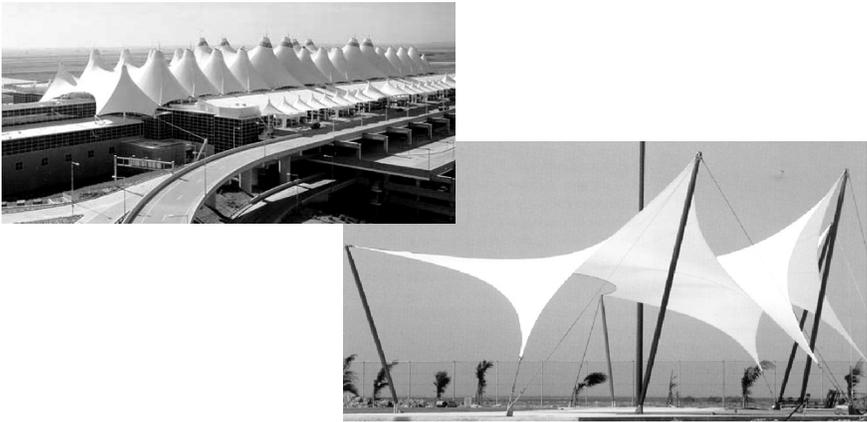
VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA

Las ventajas más importantes del sistema son:

- Grandes luces libres (del orden de 150 m sin apoyos intermedios).
- Adaptabilidad de forma para diversos programas de necesidades.
- Posibilidad de utilizar los sistemas industrializados de construcción.
- Versatilidad de posibilidades formales.
- Livianidad, lo que implica economía de materiales.
- Gran estabilidad.

- Seguridad en caso de incendio.
- Buen comportamiento frente a asentamientos desiguales en los apoyos.
- Facilidad de adaptación y modificación de la estructura según necesidades programáticas.
- Rapidez de ejecución y montaje con la consiguiente reducción de costos.

La adopción de este sistema estructural no resulta conveniente para sistemas de luces reducidas debido al costo del acero y a la mano de obra calificada necesaria para su ejecución.

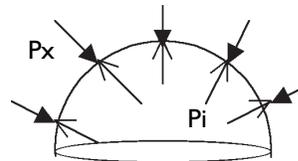


2. Estructuras Neumáticas

Llamamos **estructuras neumáticas** a aquellas cuya forma y estabilidad están determinadas únicamente o, en gran manera, por una diferencia de presión de gases, generalmente aire, que produce en el caso de las membranas, esfuerzos de tracción.

La membrana tensada por presión de aire interior es capaz de resistir fuerzas exteriores, constituyendo así una estructura portante neumática, que puede estar formada tanto por una membrana simple o doble.

Es decisivo para la construcción y diseño de estas estructuras el conocimiento exacto de los distintos estados de cargas, aunque su cálculo no se realiza para los valores máximos, ya que se puede ir adaptando a los diferentes estados de cargas, aumentando o reduciendo la presión interior.



El peso propio de los materiales de la estructura es tan insignificante, comparado con las otras cargas que puede ser despreciado, si existieran cargas concentradas deberán ser absorbidas por elementos de refuerzos como cables o redes, pero en cualquier caso no deberán generar tensiones de compresión en la membrana.

Debe cuidarse especialmente el diseño y construcción de los accesos, que serán lo más herméticos posible, evitándose las filtraciones de aire.

MATERIALES

Los materiales aptos para estas estructuras deben satisfacer requerimientos en cuanto a resistencia a la tracción, flexibilidad y durabilidad, siendo los más apropiados y, por tanto más utilizados, las membranas hechas de fibras sintéticas o fibras de vidrio, revestidas por películas de PVC, poliéster o poliuretano.

Las películas sintéticas son de fácil fabricación, pero, menor durabilidad.

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

- Membrana estructural.
- Medios para soportar la membrana.
- Medios de anclaje al suelo.
- Medios de entrada y salida.



GEOMETRÍA DE LA MEMBRANA



La forma de la membrana ideal la constituye la **película de jabón**, por lo que se intenta hacer una analogía con la misma, que será caracterizada por la continuidad en la curvatura para evitar la formación de arrugas.

Las esquinas serán siempre redondeadas para que toda la membrana esté trabajando a la tracción pura y no aparezcan otras solicitaciones.

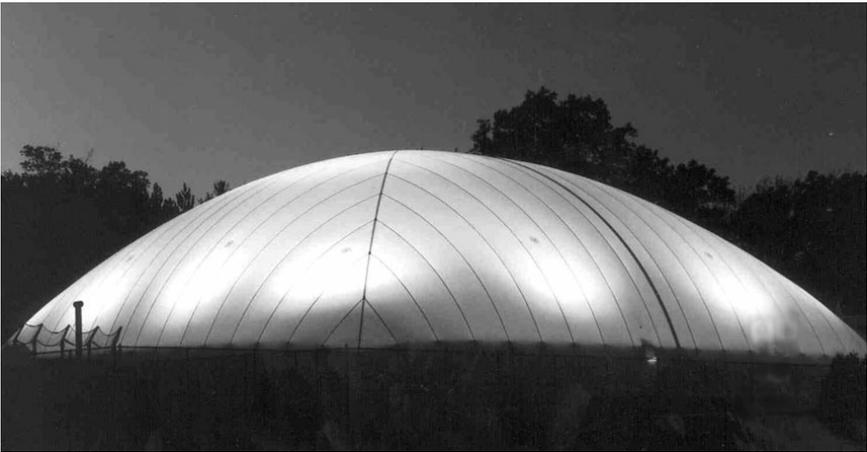
PRESIÓN INTERNA

Las estructuras soportadas por aire mantienen su forma mediante presión interna. El volumen de la misma depende de la geometría de la membrana, las cargas y las deformaciones admisibles.

La membrana no debe arrugarse ni vibrar, y para lograrlo se requiere una presión interna mínima del 50 al 100% de la presión del viento, según sea la geometría.

Esta presión interna puede ser determinada a partir de la restricción de los movimientos y de un margen de seguridad contra el replgado.

La máxima presión posible es la llamada **presión de estallido**, que depende de la geometría y la resistencia del material.





Pabellón FUJI, Feria Internacional de Osaka, Japón.

Capítulo XI

**Estructuras de
compresión
dominante**

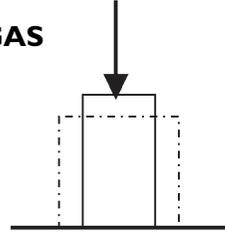
ESTRUCTURAS DE COMPRESIÓN DOMINANTE

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE FORMA ACTIVA

Se denominan **estructuras de compresión dominante** a aquéllas que durante el transcurso de su vida útil, cualquier sección de los elementos resistentes que la componen, están solicitados exclusivamente a esfuerzos de compresión. La única limitación impuesta es que bajo cualquier estado de cargas de servicios no aparezcan tensiones de tracción en ninguna sección de la estructura.

MECANISMO DE DESVIACIÓN DE CARGAS

Las deformaciones provocadas por la compresión son de sentido contrario a las producidas por tracción, hay un acortamiento en la dirección de la aplicación de la carga y un ensanchamiento debido a que la masa del cuerpo no varía.



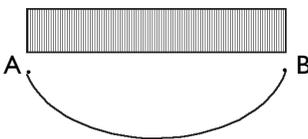
Vimos que en estas estructuras así como en las de tracción pura, la forma de la misma coincide con el “camino” de las cargas hacia los apoyos.

De allí que, obtenido por diseño, la luz de la estructura (distancia libre entre apoyos) y la flecha de la misma (altura mayor), hay un solo arco o cable colgante que corresponde a esa luz y esa flecha dada, a partir de aquí comenzaremos el estudio para hallar dicha forma.

Sabemos que la forma estructural que debemos hallar es la **catenaria** (que corresponde a una carga distribuida a lo largo de la curva); la misma no difiere mucho de la **parábola de 2º grado** que responde, a diferencia de la catenaria a una carga distribuida a lo largo de la cuerda.

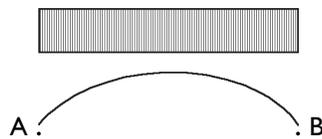
Ambas curvas se pueden asimilar siempre y cuando la relación de la flecha varíe en el orden del 15% al 25% de la luz libre.

Relación con las estructuras de tracción:



TRACCIÓN

$$K \cdot P = F$$



COMPRESIÓN

$$(-K) \cdot P = -F$$

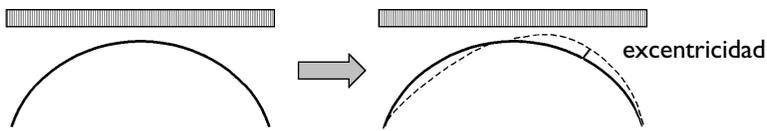
Si para una carga **P** y una forma **K** la estructura resulta solicitada a tracción pura, la **inversión** de la forma producirá una estructura de compresión.

La **forma dual** del **cable colgado** es el **arco**.

Comportamiento estructural: debido a la falta total de rigidez transversal en estructuras de tracción, la forma coincide constantemente con el polígono funicular de las cargas externas, de ahí su nombre **estructura de tracción pura**.

En estructuras que trabajan a compresión, debido al peligro de **pandeo**, debe existir una cierta rigidez transversal, por lo tanto, la forma no se puede adaptar a los cambios de carga, es decir que frente a la acción de cargas accidentales la forma deja de ser coincidente con el antifunicular por lo que nos encontraremos con otro estado de sollicitación interna: **flexocompresión**.

La estructura se *diseña de compresión pura* para un estado de cargas considerado principal (el peso propio).



Otros estados de carga accidentales, por ejemplo: viento, nieve, etc., considerados secundarios en relación al peso propio, dan como resultado una *falta de coincidencia* entre la línea de presiones y el eje baricéntrico de la estructura. Para determinadas secciones la resultante izquierda estará desplazada, una **excentricidad “e”** y, en consecuencia, habrá una sollicitación de **flexocompresión**. La rigidez de la estructura ha impedido su adaptabilidad formal bajo el nuevo estado de cargas.

Límites máximos de la excentricidad “e” en función de las características de la sección transversal: la resultante izquierda estará ubicada siempre dentro del **núcleo central** tal como se vió ya al tratar el tema de arcos.

La aparición de la excentricidad traerá como consecuencia inmediata la desuniformidad de las tensiones de compresión en la sección transversal, produciéndose un incremento de éstas en el borde más próximo a la curva de presiones, pudiendo aparecer en el borde opuesto tensiones de tracción.

Para evitar la aparición de tensiones de tracción la excentricidad no debe ser superior, en ningún caso deberá superar el $1/6$ de la altura total de la sección, ya que superando este límite comenzarán a aparecer dichos esfuerzos de tracción incompatibles con el sistema estructural y con los materiales aptos para el trabajo de compresión.

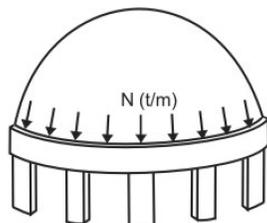
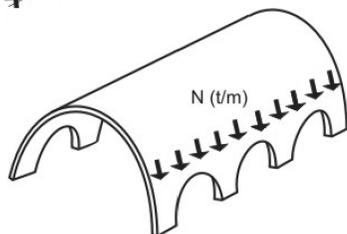
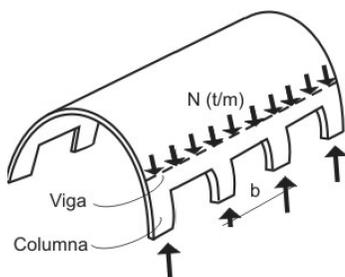
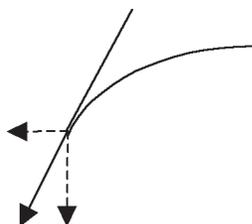
Para controlar este valor es necesario que la aparición de las cargas accidentales no modifique sensiblemente el sistema de cargas, para lo cual se utilizan dos recursos:

a. Aumento de las cargas permanentes del sistema, mediante el incremento de peso propio o por medio del postensado de armaduras especiales.

b. Aumento de la inercia de la sección, de modo tal de conseguir un valor h que permita mantener la excentricidad dentro del $1/6$ de h total sin incrementos importantes en la cantidad de material a emplear.

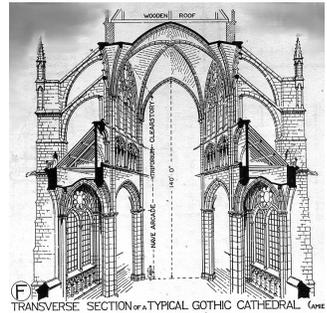
Apoyo de las estructuras de compresión dominante

La forma de apoyo de este tipo de estructuras debe ser continuo y diseñado para tomar los empujes horizontales que se originan, a raíz de la dirección con la que llegan los esfuerzos a los mismos, es decir, tangente a la curva funicular en el último punto.





Catedral de Notre Dame, Paris.



Corte Catedral gótica

Es debido a estos esfuerzos que se utilizan elementos estructurales tales como *tensores* o *contrafuertes* y *arbotantes*, característicos de la arquitectura gótica.

MATERIALES

Los materiales aptos para construir este tipo estructural a diferencia de los que son aptos para construir los sistemas solicitados a tracción pura deberán ser rígidos y garantizar la permanencia de la forma durante todo el tiempo de vida útil del sistema.

- Mampostería de ladrillo sin armar o débilmente armada.
- Piedra.
- Elementos premoldeados de hormigón simple o armado.
- Madera, etc.

POSIBILIDADES FORMALES

Formas geométricas

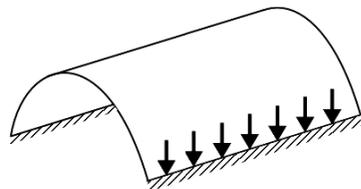
Las más utilizadas son generalmente dos:

- **La bóveda.**
- **La cúpula.**

BÓVEDA

Es una estructura de simple curvatura, con forma de **superficie cilíndrica**, cuya generatriz “g” es el **antifunicular de las cargas del peso propio** (estado principal).

También es conocida como **bóveda de cañón corrido**, constituye la inversa de una estructura de tracción pura según una superficie cilíndrica resuelta con cubierta pesada.

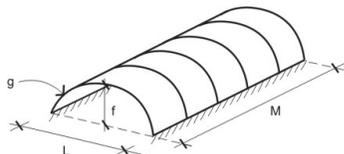


Apoyos

Están dispuestos a lo largo de la directriz recta.

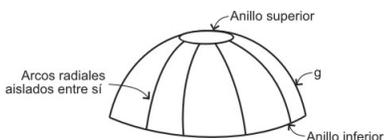
Comportamiento estructural: la bóveda puede considerarse como una sucesión de arcos apoyados en los estribos, con luz **L** y flecha **f**.

La longitud **M** no tiene mayor importancia, ya que solamente interviene en lo referente a la rigidez general del conjunto.



CÚPULA

Es una estructura con forma de **superficie de revolución de doble curvatura total positiva** cuya generatriz "g" es el **antifunicular de las cargas del peso propio** (estado principal). Constituyen arcos radiales aislados entre sí.

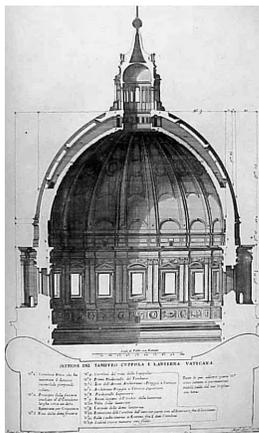


Apoyos

Los semiarcos se apoyan en un anillo superior (comprimido) y uno inferior (traccionado).

El *anillo superior* resulta imprescindible, pues de lo contrario los semiarcos terminarían en un punto originándose entonces tensiones infinitas en la clave.

El *anillo inferior* está traccionado, producto de la componente horizontal de los empujes de los semiarcos en el estribo y podría suprimirse si cada uno de ellos es apoyado según la dirección de la tangente extrema.



Cúpula de la Basílica de San Pedro, Vaticano.

Comportamiento estructural: los arcos radiales se comportan aisladamente entre sí, resultando cada uno independiente del resto.

PANDEO

El **pandeo** es un comportamiento típico de los elementos estructurales esbeltos sometidos a esfuerzos de compresión.

Cuando la carga de compresión aumenta progresivamente llega a un valor en el cual el elemento esbelto, en lugar de acortar la altura, curva su eje, una vez que esto ocurre, aunque no se incremente el valor de la carga, si ésta permanece el elemento continua curvándose hasta el colapso definitivo.

El valor de la carga por el cual un elemento puede pandear puede ser sensiblemente inferior a la carga que resiste el material dado.

La *Fórmula de Euler* nos da el valor de la carga crítica de pandeo **P_k** (ver arcos).

Se hace notar que **P_k** es el máximo valor de carga que puede soportar el elemento en cuestión sin que aparezca pandeo, por lo tanto, el valor de la carga de trabajo deberá ser tres veces menor al valor **P_k**.

E: Módulo de elasticidad o de rigidez del material.

J: Momento de Inercia de la sección.

l_p: Luz de pandeo, depende de las condiciones de vínculo.

En el arco se mide la longitud sobre la curva del mismo.

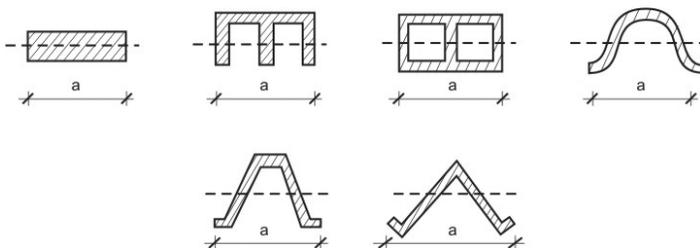
$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l_p^2}$$

Conclusiones acerca de la fórmula de EULER

1. La carga crítica será mayor cuanto más grande sea el *Módulo de elasticidad del material*, o sea, el **P_k** es directamente proporcional a **E** (Módulo de elasticidad del material). Una columna de acero tendrá tres veces más resistencia a pandeo que una de aluminio.

2. Es inversamente proporcional a la luz de pandeo (altura de la columna incrementada o disminuida por sus condiciones de apoyo), de esto se deduce que a menor altura, menos probabilidades de pandeo existen.

3. Para ser resistentes a pandear, los elementos estructurales no deben ser delgados, lo cual va en detrimento de la utilización racional de los materiales, por ello concluimos que un diseño inteligente nos lleva a resolver elementos resistentes al pandeo, alejando el material del baricentro de la sección, éste es el concepto de otorgarle *inercia (J_x)*, con el diseño correcto de la sección transversal.



Secciones cuyo momento de inercia resulta significativo en comparación a la simple sección rectangular.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA

Ventajas:

1. Economía en el uso de materiales debido a que trabajan solamente a esfuerzos normales, aprovechando la totalidad de la sección.
2. Tienen capacidad para cubrir grandes luces.
3. Pueden construirse con gran variedad de materiales y técnicas.
4. Poseen un claro lenguaje formal.

Inconvenientes:

1. Necesitan altura para desarrollarse.
2. Los grandes empujes horizontales obligan a materializar importantes apoyos.
3. Las cargas accidentales introducen perturbaciones que disminuyen su eficacia.
4. La forma está fuertemente condicionada por el sistema estructural y gobierna al diseño del edificio.

Capítulo XII

Estructuras laminares
Cáscaras

ESTRUCTURAS LAMINARES - CÁSCARAS

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE SUPERFICIE ACTIVA

Los sistemas estructurales de **superficie activa** son aquéllos que actúan por continuidad superficial.

Están compuestos por **dos grandes grupos: las cáscaras y los plegados.**

Las **láminas** son **elementos superficiales de poco espesor**. Es decir, que son elementos en donde dos de sus dimensiones priman sobre la tercera.

Hablamos de espesores promedio de 6 cm para cubrir luces de más de 40 m sin apoyos intermedios.

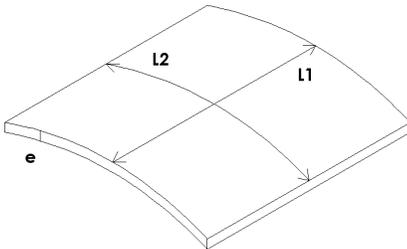
- | | | |
|------------------|--|----------|
| • Láminas planas | | Plegados |
| • Láminas curvas | | Cáscaras |

CÁSCARAS

Las **cáscaras** son láminas curvas que logran el equilibrio de las cargas externas por medio de la combinación de esfuerzos de tracción y compresión **normales a la sección estudiada y tangenciales a su curvatura.**

MECANISMO DE DESVIACIÓN DE CARGAS

Siendo una lámina un elemento estructural de poco espesor resiste por la descomposición de las cargas, generando esfuerzos de tracción y compresión combinados en cada centímetro cuadrado de la estructura, “*es el resultado de la combinación de los esfuerzos repartidos en toda la superficie del elemento*”.



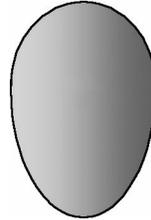
Las cáscaras resisten por su **continuidad superficial** y no por la cantidad de material. Podemos elegir y diseñar la forma, logrando esta resistencia a partir de la **inercia**.

Definimos el concepto de **momento de inercia**, como la **capacidad de un elemento estructural a resistir por su forma**, es su capacidad de oponerse a las deformaciones.

A través de un diseño intencionado y con la ayuda dada por el conocimiento del momento de inercia se logra una estructura óptima.

Sabemos que el **momento de inercia** en estructuras de sección rectangular depende de la altura de la sección transversal, en las estructuras superficiales **curvas dependerá de la curvatura** de la pieza.

Menor curvatura, menor resistencia

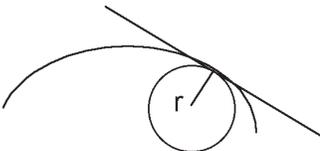


Si analizamos la cáscara más común, la de un huevo podemos ver que el extremo donde la curvatura es mayor es más resistente que el otro cuya curvatura es menor.

Mayor curvatura, mayor resistencia

De aquí deducimos que a **menor curvatura**, cuanto más abierta es la curva **menor resistencia**, inversamente a **mayor curvatura** (una curva más cerrada) **mayor resistencia**.

Para encontrar la **curvatura** en un punto cualquiera de una curva se traza una recta tangente a la curva en el punto elegido y en función de ésta se determina la **circunferencia oscultriz** (aquella que tiene en común el punto a estudiar en nuestra curva; existe entonces un punto con triple tangencia). La curvatura de la curva a estudiar en ese punto determinado es **inversamente proporcional al radio de la oscultriz** (Cap.VI).



$$C = \frac{1}{r}$$

La **rigidez, inercia y resistencia**, dependen de la curvatura.

r: Radio de curvatura en un punto.

La **curvatura total** de una curva es la que surge del estudio de los radios oscultrices máximos y mínimos y está definido como el producto de las inversas de los radios mínimos y máximos oscultrices.

$$\text{Curvatura total} = C_t = \frac{1}{r_{\text{max}}} \cdot \frac{1}{r_{\text{mín}}}$$

En función a la curvatura de la cáscara podemos decir que el **espesor** de ella queda definido como el cociente de la relación:

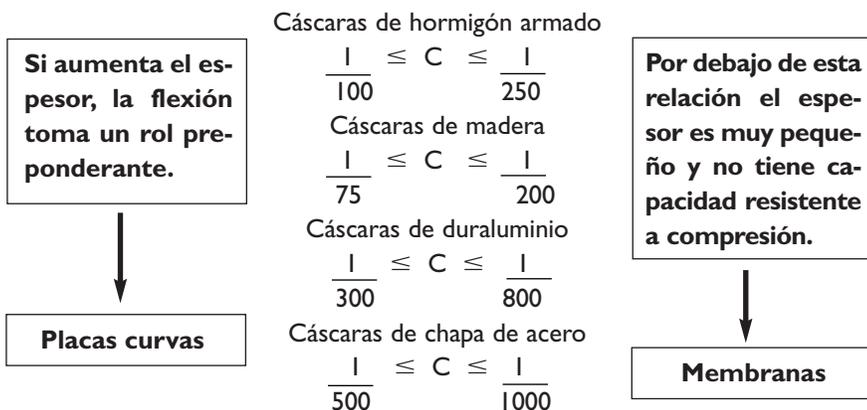
$$C = e / r$$

e: Espesor.

r: Radio de curvatura.

Lo cual determina en **función del material cuando una estructura laminar es cáscara** o cuando pasa por su mínimo espesor al campo de las membranas, o por exceso del mismo al campo de las placas curvas.

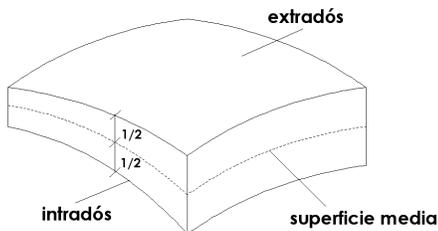
RELACIÓN DE LOS MATERIALES



Cada material tiene su propia relación “C”.

Para analizar una cáscara siempre nos referiremos por simplicidad de cálculo a su **superficie media**, que es la que está a igual distancia del exterior (extrados) y de la interior (intrados), por lo tanto, se desprecia su espesor y podemos **compararlas análogamente a una membrana** (solo absorbe tensiones normales de tracción, mientras que las cáscaras absorben tensiones normales de tracción, compresión y tangenciales).

Para que la **analogía del estado membranar** en función del cálculo pueda llevarse a cabo, debemos contar con una serie de requerimientos que detallaremos a continuación:



1. Cargas repartidas y sin discontinuidad.
2. Continuidad superficial sin cambios bruscos de curvatura.
3. Apoyos continuos, lineales, no impedir deformaciones.

La aparición de **tensiones de flexión, corte o torsión** en las zonas cercanas a los bordes se denominan **perturbaciones** que en general son absorbidas y se pierden en la superficie de la cáscara.

Estas **perturbaciones de borde** tienen diversas **causas**, como por ejemplo:

- a. Falta de continuidad superficial o de forma.
- b. Carga no uniformemente distribuida o concentrada en los apoyos.
- c. En los bordes siempre aparecen otras tensiones que no podemos asimilar al estado membranal.

Para evitar las perturbaciones originadas por cargas térmicas (cuando la estructura no puede dilatarse o contraerse libremente) es imprescindible contar con apoyos continuos.

MATERIALES

Los materiales aptos para utilizar dentro de esta tipología estructural son los que tienen *características de maleabilidad*, es decir, aquéllos que puedan adoptar las formas proyectadas manteniendo su capacidad resistente.

Los materiales más utilizados son:

- **Hormigón armado:** es el más utilizado en nuestro país por el desarrollo tecnológico para realizar los encofrados.
- **Aluminio.**
- **Duraluminio.**
- **Madera - maderas laminadas.**
- **Cerámicos armados.**

POSIBILIDADES FORMALES

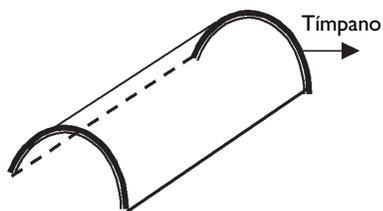
Se utilizan dentro de esta tipología todas las superficies geométricas conocidas y dada la posibilidad de libertad en cuanto a la forma, es posible diseñar libremente, aunque no respondan exactamente a ninguna de ellas, en estos casos, lo que se torna más complejo es el cálculo de esfuerzos por lo que debe recurrirse a modelos y *software* específicos.

Superficies geométricas

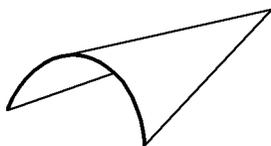
Superficie de simple curvatura: la generatriz no tiene una forma definida (como en estructuras de compresión) y los bordes deben tener apoyos continuos.

Los bordes curvos apoyan sobre los **tímpanos**, elementos característicos de estas estructuras.

Es una superficie reglada, desarrollable sobre el plano.

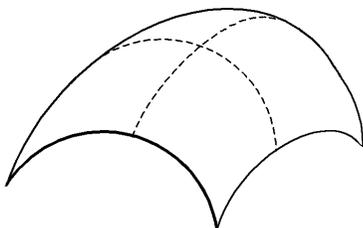


Sector de superficie cilíndrica.

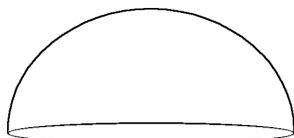


Dentro de la misma clasificación encontramos los sectores de **superficie cónica**:

Superficies de doble curvatura total positiva:



Paraboloides elíptico.



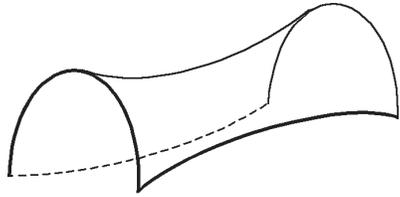
Casquete: para comportarse como estructura laminar, además de su pequeño espesor debe cumplir los requisitos de continuidad superficial y de apoyos, aunque su generatriz tiene forma libre.



Kresge Auditorium,
Cambridge,
Massachusetts,
Arq. Eero Saarinen.

Superficie de doble curvatura total negativa:
Superficies alabeadas.

Paraboloide hiperbólico: llamado genéricamente **silla de montar**, es una de las formas más utilizadas para esta tipología, por ser una superficie reglada, es decir, puede ser generada por rectas.



Iglesia de la Medalla de la Virgen Milagrosa,
México, Arq. Félix Candela.

Vista exterior.



Vista interior.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA

Ventajas:

- Libertad de forma al diseñar, ya que puede ser materializada.
- Uso de superficies regladas, lo que redonda en economía de mano de obra y recursos tecnológicos (encofrados simples).
- Uso de estructuras neumáticas como encofrado recuperable.
- Prefabricación de la totalidad o sectores.

Inconvenientes:

- Impermeabilización más compleja.
- Aislación acústica y térmica debido a su reducido espesor.
- Condensación de humedad.
- Costo de mano de obra y recursos tecnológicos especiales.
- Limitación en las luces debido a deformaciones por dilatación (cargas térmicas).

PLEGADOS

Los **plegados** son **láminas planas o curvas, unidas por sus bordes y aristas y apoyadas en sus extremos** para evitar deformaciones.

Pueden comportarse como losas o como láminas, aunque en general todas las estructuras pueden ser plegadas para **aumentar su inercia**.



Bóveda plegada



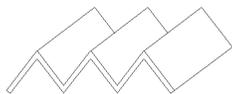
Cúpula plegada

Pueden plegarse las secciones de una bóveda o cúpula de compresión.

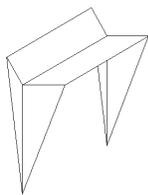
Es posible también en estructuras solicitadas a flexión, losas, pórticos.

Incluso puede utilizarse el plegado para el diseño de plantas de edificios en altura, para resistir la acción de cargas horizontales.

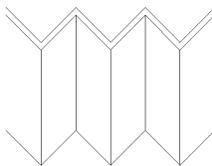




Losa plegada



Pórtico plegado



Tabique plegado

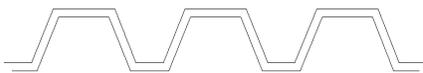
Al igual que en las cáscaras **no** se debe permitir las **cargas concentradas**.

POSIBILIDADES FORMALES

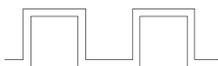
Piramidal, trapezoidal, prismáticas, cónicas, alabeadas.



Sección triangular



Sección trapezoidal o trapezoidal



Sección en greca



Sección combinada en greca y trapezoidal



Sección trapezoidal compuesta

Puede estar constituido por dos o más láminas concurrentes a una arista.



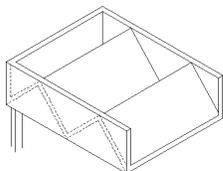
Plegado de cubierta en hormigón armado.

Apoyos

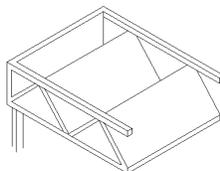
Los plegados en una dirección se apoyan en sus extremos como si fueran vigas, en tímpanos que son elementos estructurales rígidos en su plano, capaces de

recibir los esfuerzos tangenciales que les transmite el plegado y evitan la deformación longitudinal “efecto de acordeón”, creando un apoyo intermedio para descargar en columnas.

Pueden ser llenos, ciegos o con aberturas. El **tímpano lleno** se comporta como una viga de gran altura, en cambio el **tímpano calado** puede considerarse como reticulado plano.



Ejemplo de tímpano lleno



Ejemplo de tímpano calado

Cada lámina se apoya sobre las aristas y los tímpanos, ya que como se ha visto debe apoyar en todos sus bordes, las láminas de los extremos necesitarán vigas para resolver este problema.

Luces y espesores

Las luces habituales en casos más comunes (unidireccionales, con plegaduras simples) son:

MATERIAL	LUCES	ESPESOR
Acero	Hasta 60 m	4 mm
Aluminio	Hasta 35 m	8 mm
Madera	Hasta 25 m	25 mm
Plástico reforzado con fibra de vidrio	Hasta 20 m	4 mm
Fibro cemento	Hasta 9 m	10 mm
Hormigón armado in situ	Hasta 35 m	10 cm
Hormigón armado premoldeado	Hasta 20 m	10 cm

Capítulo XIII

**Estructuras de flexión
dominante**

ESTRUCTURA DE FLEXIÓN DOMINANTE

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE MASA ACTIVA

Son aquellos sistemas que actúan por continuidad de masa. Tienen por objeto solucionar el conflicto direccional entre la horizontal del desplazamiento humano y la vertical de gravedad terrestre, ocupando en lo posible la menor dimensión en planta y, por consiguiente, optimizando el espacio para su uso.

El espacio de uso se encuentra solo interrumpido por los elementos verticales de apoyo (columnas, pilares, etc.).

Son aquéllas que frente a las cargas de servicio, los elementos que componen el sistema están solicitados a *flexión simple*, *plana* o *compuesta*.

MECANISMO DE DESVIACIÓN DE CARGAS

La continuidad de masa, es decir, la cantidad de material en cada sección permite la acción combinada de tracción y compresión (*flexión simple*), en unión con esfuerzos de corte en el interior de la sección.

Esta cantidad de material en la sección transversal constituye su más grande inconveniente, ya que origina una significativa carga de peso propio y obliga a realizar un exhaustivo análisis de cargas, para poder determinar la posición óptima de los apoyos en función de la reducción al máximo de las dimensiones de los elementos estructurales.

La acción de las cargas no coincide con el eje del elemento estructural lo cual genera una curvatura producida por la rotación relativa de las secciones paralelas infinitamente cercanas.

Por acción de la carga y en función de la distancia entre la misma y los apoyos se genera un momento que expresa la carga total que deberá absorber dicho apoyo.

Para equilibrar el *momento flector*, se produce un **par interno**, formado por las fuerzas de compresión y tracción, multiplicado por el brazo de palanca (distancia entre las fibras consideradas actuando a la compresión y la tracción).

En función de la altura de la pieza (distancia de las fibras sometidas a tracción y a compresión) crece el *momento de inercia* de la sección (al que entendemos como la oposición ejercida por la forma de la pieza a deformarse), es decir, **augmenta su resistencia**.

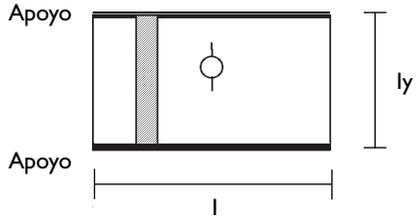
ELEMENTOS SOLICITADOS A FLEXIÓN

LOSAS

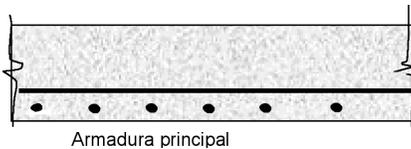
Son elementos superficiales horizontales solicitados a flexión.

Se pueden materializar con hormigón armado o por medio de elementos prefabricados que unidos trabajen en forma solidaria.

Losas armadas en una dirección: según la disposición de la armadura principal las losas se clasifican en losas armadas en una dirección cuando el cociente entre la luz mayor y la menor sea mayor de dos, la losa se arma en la dirección de luz menor. Se calcula para una faja de 1 m de ancho y se predimensiona en función de la luz.

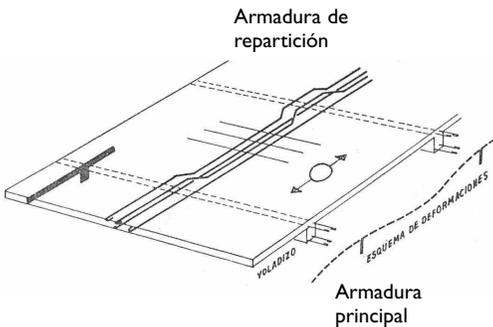


$$\frac{l_x \geq 2}{l_y}$$



Armadura de reparto

$$h = \frac{l \text{ menor}}{35}$$



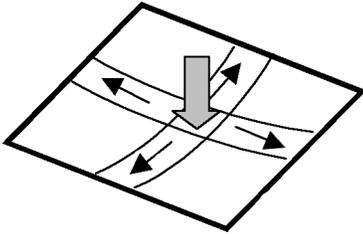
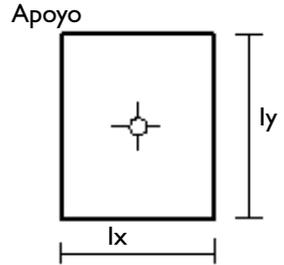
A la altura **h** debe sumarse el recubrimiento para determinar el espesor total de la losa "**d**".

Este tipo de losa cuenta con otra **armadura** llamada **de reparto** o **secundaria**, dispuesta ortogonalmente a la principal, cuya función es fijar las barras de ésta en ubicación y posición, y proporcionar cohesión.

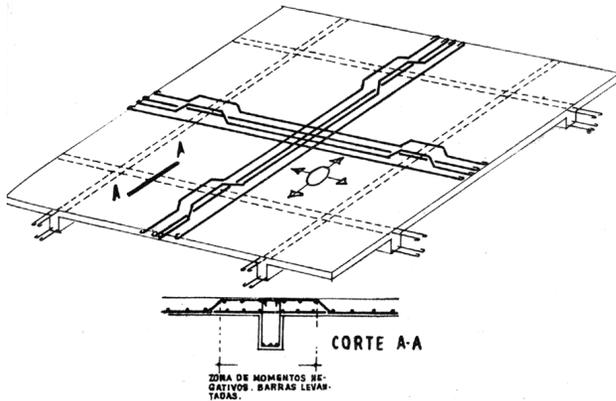
Losas armadas en dos direcciones:

cuando el cociente entre los dos lados es menor de dos, la losa se arma en ambos sentidos.

Debe tener apoyo en los cuatro bordes, ya que se arma en las dos direcciones, es decir, tiene armadura cruzada.



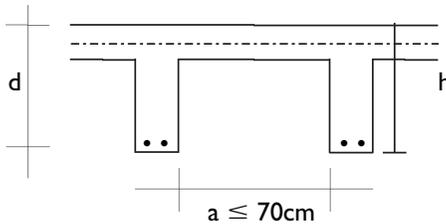
La losa trabaja en mejores condiciones por una mejor distribución de esfuerzos, por lo que la deformación será menor y podrá entonces tener menos espesor, pero requiere más armadura.



Losa nervurada: puede ser considerada similar a la losa maciza armada en una sola dirección, y se la utiliza para cubrir luces más grandes.

La altura "h" se predimensiona del mismo modo, es decir: lo que resulta un aumento considerable del peso propio.

$$h = \frac{l \text{ menor}}{35}$$



Considerando que en el hormigón armado, por debajo del eje neutro, quien toma los esfuerzos de tracción es la armadura, es posible agrupar las barras de acero en nervios, retirando o reemplazando el hormigón por otro material más liviano.

De este modo se da solución a ambos problemas.

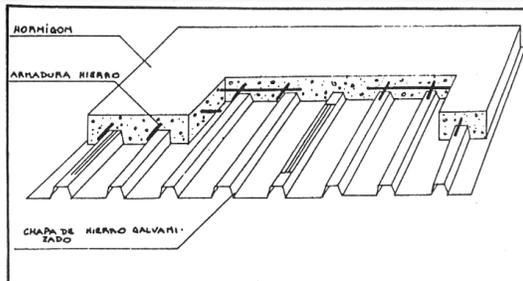
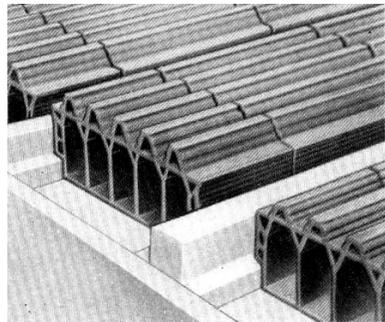
Podemos cubrir luces de 7 m ó 10 m sin que el peso propio sufra un incremento importante.

Los espacios entre nervios pueden quedar huecos o con encofrado perdido (ladrillos cerámicos, telgopor, etc.), que sirven además como aislantes térmicos.

Losas premoldeadas de viguetas y bloques: es un sistema muy utilizado en nuestro medio, ya que agiliza la construcción simplificando la tarea de montaje y armado.

Constituida por viguetas pretensadas (hormigón precomprimido) y bloques cerámicos huecos, permiten la construcción de entrepisos con menor peso, simplicidad y comodidad.

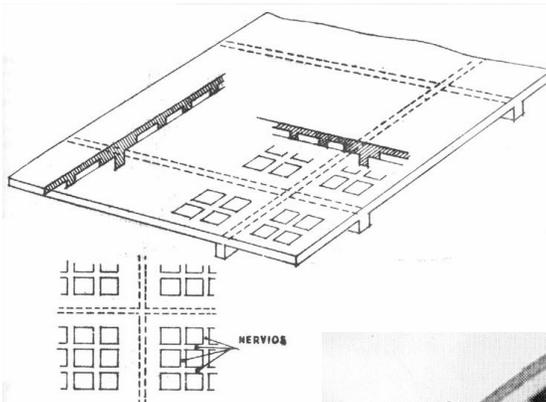
La zona de compresión se completa en obra, mediante el llenado de intersticios y recubrimiento de 5 cm desde la cara superior del bloque.



Losas o placas con sistema "Steel-deck": frecuentemente utilizado a nivel mundial, está constituido por un "tablero metálico" (Steel-deck) de chapa galvanizada de aproximadamente 1 mm de espesor, acanalado que es a la vez armadura y encofrado de la losa de hormigón armado.

Casetonado: son losas nervuradas cruzadas por lo cual son válidas las consideraciones hechas para las losas cruzadas macizas y las losas nervuradas. Los nervios son en ambas direcciones, por lo que al cruzarse determinan paralelepípedos que al ser retirados dan forma a los **casetones**.

Este sistema permite cubrir luces aproximadas entre los 7 m y 12 m.



Losa cruzada alivianada con encofrado perdido.

EMPARRILLADO DE VIGAS

Visualmente es un sistema muy parecido al *casetonado* y, por tanto, da lugar a confusión, aunque estructuralmente se comporta en forma muy diferente.

En el **casetonado**, visto en el punto anterior, se trata de una losa alivianada, que se predimensiona y trabaja como tal; en el **emparrillado** en cambio, el esfuerzo principal es resistido por las vigas entrecruzadas, y las losas son independientes, se apoyan y descargan sobre las vigas.

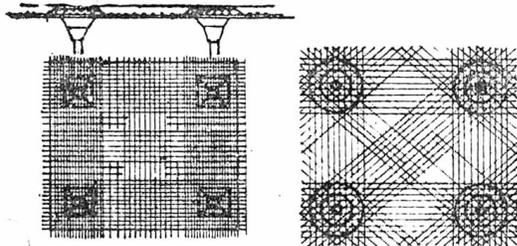
Con este sistema se pueden cubrir luces aún mayores y resistir grandes cargas.

L1	L2	L3	L4	L5
L6	L7	L8	L9	L10
L11	L12	L13	L14	L15

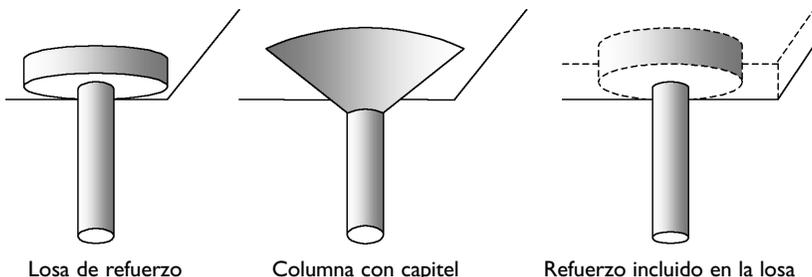
Losa sin vigas: son losas de armaduras cruzadas, pero no tiene viga de borde (aparentemente), ya que en realidad se refuerzan las mismas con acero, constituyendo una viga incluida en la masa de la losa.

Los apoyos no pueden estar muy distanciados, es decir, no cubren grandes luces y se aconseja disponer un voladizo perimetral.

En la actualidad se materializan frecuentemente con losas premoldeadas **postesadas**, que se tensan una vez colocadas en obra, logrando así aumentar las luces libres y, por lo tanto, optimizar el sistema.



Para evitar el punzonamiento o corte en los apoyos es necesario aumentar la superficie de contacto entre la columna y la losa, disponiendo capiteles en las columnas, losas de refuerzo exterior a la losa o incluyendo un refuerzo interior en la misma.



Losa de refuerzo

Columna con capitel

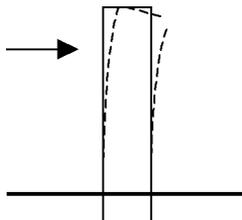
Refuerzo incluido en la losa

TABIQUES

Son elementos estructurales en los que predomina su superficie en relación con su espesor y frente a cargas horizontales (viento o carga sísmica) se comportan como ménsulas empotradas en la base.

Se construyen en hormigón armado y se utilizan en edificios en altura.

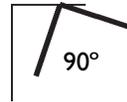
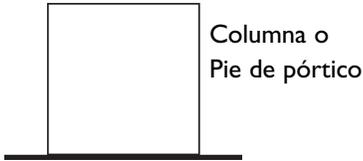
Como toma también cargas gravitacionales (verticales), es decir, su peso propio y la carga de los elementos que apoyan sobre él, está solicitado a **flexo compresión**.



PÓRTICOS

Son estructuras formadas por barras horizontales y verticales unidas rígidamente en los nudos. En el pórtico frente a la deformación producida por cualquier tipo de cargas el nudo gira, pero, manteniendo la posición relativa de sus ejes.

Viga o travesaño

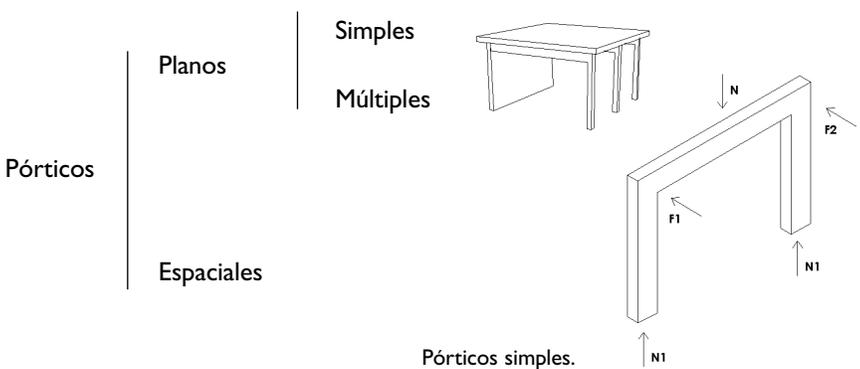


Los momentos se transmiten del travesaño a los pies del pórtico, es decir, actúan en forma solidaria, esto permite salvar luces importantes y resistir grandes esfuerzos.

Pueden materializarse principalmente en hormigón armado o en acero.

Deformación frente a cargas verticales

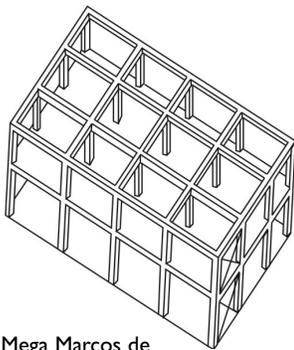
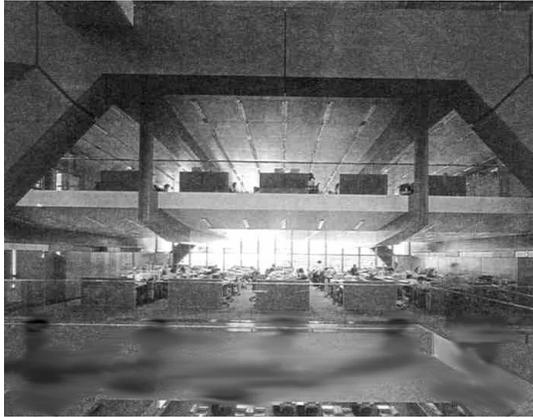
Deformación frente a cargas horizontales



Pórticos múltiples en edificios en altura.

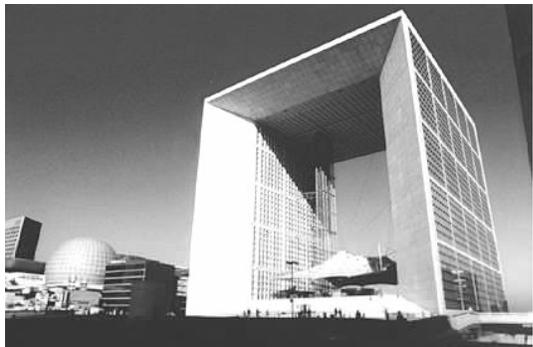


Century Tower, Tokio.



Mega Marcos de hormigón postesados.

Grand Arch-La Defense, París,
Arq. Johan Otto Von Spreckelsen.



Capítulo XIV

Estructuras reticuladas

ESTRUCTURAS RETICULADAS

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE VECTOR ACTIVO

Se definen como **estructuras de vector activo** o **reticulares** a aquellas estructuras compuestas por elementos rectos, sólidos y esbeltos, denominadas **barras**; convenientemente vinculadas entre sí por medio de nudos, de manera tal que cualquier forma posible resulte de la combinación de sistemas triangulados.

Las piezas lineales son aptas para transmitir básicamente esfuerzos axiales a la misma, es decir, esfuerzos paralelos a su eje longitudinal.

Dijimos anteriormente que las piezas deben conformar triángulos por ser ésta la única figura indeformable en su plano que existe dentro de la geometría euclidiana.

En este sistema estructural, es importante la resistencia a las cargas de servicios en relación con su peso propio, por lo cual permite salvar grandes luces sin apoyos intermedios.

MECANISMO DE DESVIACIÓN DE CARGAS

Dentro de la familia de las estructuras de vector activo, tenemos dos grandes grupos de clasificación, los **sistemas planos articulados** a los que ya nos hemos referido y las **estéreo-estructuras** o **sistemas espaciales**.

Ambos grupos comparten los mismos principios teóricos básicos de **sustentación y desviación de cargas hacia los apoyos**.

SISTEMAS CURVOS TRIANGULADOS

Los **sistemas curvos triangulados**, espaciales, con nudos articulados son denominados **mallas**, que se generan por la repetición de un elemento geométrico, que desarrolladas en una o dos capas permiten cubrir espacios con variedad de formas.

Los sistemas curvos triangulados permiten materializar formas de cubiertas de simple curvatura total positiva y/o negativa, superficies cilíndricas, combinación de sectores de paraboloides hiperbólicos además de superficies esféricas, generando de esta manera casquetes esféricos, geodas, bóvedas de cañón y cúpulas.

Cuando se utilizan para cubrir grandes luces se disponen dos capas unidas entre sí por barras diagonales, conformando tetraedros y pirámides de base cuadrada ensambladas, a partir de las cuales puede lograrse una variedad formal infinita, proporcionando total libertad de diseño y la posibilidad constructiva de yuxtaponer unidades prefabricadas.



Bóvedas de cañón trianguladas: son indicadas para grandes luces por su *ligereza, resistencia y ausencia de encofrados* para su construcción, que representan algunos de los inconvenientes de las mismas al ser materializadas en hormigón, además de sus posibilidades de adaptación y su condición de autosustentantes evitando tensores y contrafuertes.

Galerías Pacífico, Buenos Aires.



Facultad de Derecho, Universidad de Cambridge, Arq. Norman Foster.



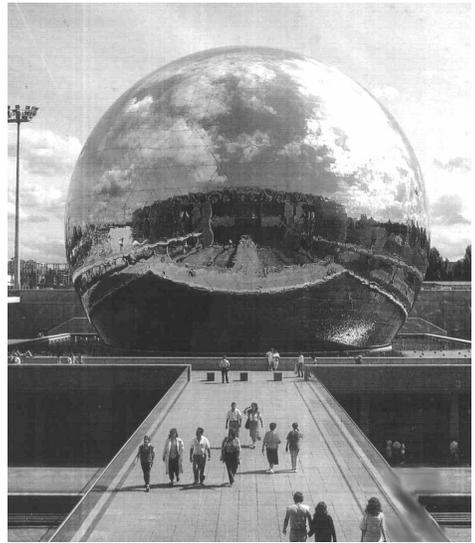
Cúpulas trianguladas: las estructuras reticuladas se pueden materializar con elementos metálicos de acero o aluminio, pudiéndose cerrar los espacios entre barras para conformar la cubierta con materiales diversos, maleables a fin de adaptarlos a formas tales como: plásticos, vidrios de alta tecnología, lonas, chapas de acero o aluminio, etc.

Superior Dome, Estados Unidos.

Este tipo de estructura tiene una ventaja muy importante, una facilidad de montaje que permite una longitud estándar de barras y la posibilidad de prearmar partes importantes de la estructura en el obrador y luego poder montarlas en su sitio definitivo.

Un tema particular en este tipo de estructuras son los nudos, que son en realidad las piezas más importantes del sistema, ya que permiten según sus características constructivas, la variedad de formas y de diseño.

La esfera encierra el máximo volumen con el mínimo de superficie y es la forma más resistente contra presiones externas y radiales, por lo que su empleo permite cubrir un espacio circular de 3 km de diámetro.



Le Geode de la Villete,
Science Museum, París.

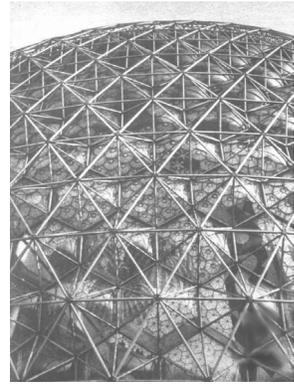
Entre las superficies de doble curvatura total positiva materializadas con sistemas curvos triangulados encontramos las **cúpulas geodésicas**, basadas en la adaptación de un icosaedro.

Un **icosaedro esférico** es una figura inscrita en una esfera, formada por veinte triángulos equiláteros iguales y a partir de éste la subdivisión del mismo en triángulos más pequeños.

De acuerdo a su característica constructiva podemos distinguir:

- **Cúpulas de entramado de una sola capa:** los nudos del entramado se encuentran sobre la superficie de revolución.
- **Cúpulas de entramado de dos capas:** para cubrir grandes luces, los nudos del entramado se encuentran sobre dos superficies de revolución concéntricas.
- **Cúpulas de entramado de superficie sustentante.**
- **Cúpulas plegadas:** el sistema resistente de la cúpula está formado por “nervios” o placas delgadas unidas por sus bordes.

Bukminster Fuller utiliza para sus cúpulas geodésicas entramados espaciales que combinan el tetraedro y la esfera, superando las dificultades de la cúpula conformada por cinco sectores de triángulos esféricos, que no poseen borde recto o anillo de apoyo.



Pabellón Mundial de los Estados Unidos en la Exposición Mundial de Montreal, 1967.

ESTÉREOESTRUCTURAS

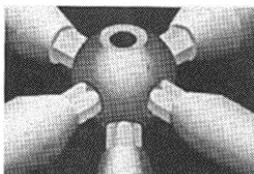
Se denomina **estéreoestructura** a una estructura metálica plana, una estructura de barras espacial destinada a soportar cargas normales a su plano, que trabaja como una losa desmaterializada, o sea es una placa a la que se quita material y se dejan los elementos estructurales esenciales, es decir, las **barras**.

Está constituido por módulos, que pueden ser:

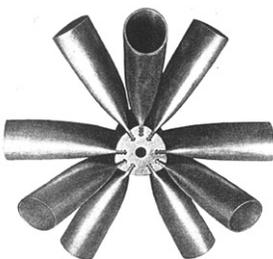
Tetraedros: configura tramas en tres direcciones.

Pirámides de base cuadrada: configura tramas en dos direcciones.

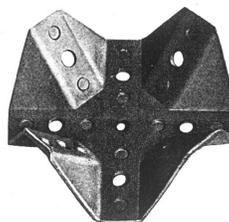
Los módulos están constituidos por barras, vinculados por nudos que son los elementos que realmente le dan la característica al sistema e identifican la marca o patente del mismo.



Nudo del Sistema MERO



Nudo TRIODETIC



Nudo UNISTRUT

Pueden además utilizarse otras células que constituyan tramas espaciales, el lado de la misma varía entre 1 m y 3 m, y la altura depende de la luz a cubrir.



Estación Terminal de Ómnibus, Córdoba.

$$h = \frac{l}{20} a \frac{l}{30}$$

h

Las luces habituales oscilan entre 20 m y 60 m, aunque se han construido es-
téreoestructuras de 80 m y 100 m, y aún mayores (Exposición de Tokio, Arq.
Kenzo Tange) y es posible construir voladizos que tengan 1/5 de la luz, es decir,
para luces de 60 m aceptan voladizos de 12 m.



Salón de Exhibiciones, Roma, Italia.

Cuando la estereoestructura es plana, su comportamiento es análogo al de una losa:

- Cruzada si tiene vigas perimetrales.
- Losa sin vigas si apoya directamente sobre las columnas.

El esfuerzo predominante será la flexión tomando la placa como unidad, pero analizando las barras del **cordón superior** estarán **comprimidas** y las del **cordón inferior, traccionadas** y las diagonales dependerán de su posición.

Estas estructuras pueden recibir cargas concentradas.

Para poder soportar los grandes momentos flectores producidos por la gran distancia entre apoyos es necesario que la placa posea un momento de inercia adecuado, que se resuelve construyendo más de una napa, o sea, superponer estas mallas.

La cubierta puede ser resuelta con chapa de aluminio, hierro galvanizado, plásticos o cualquier otro material similar de bajo peso.

Es una estructura que puede ser **desmontable** o **fija**, se la puede armar en el piso y luego ser levantada por grúa o pluma, con lo que se facilita mucho el montaje, que es muy rápido levantándose alrededor de 150 a 200 m²/día y su velocidad de fabricación oscila en los 1.500 a 2.000 m²/día.

Las principales **desventajas** son el mantenimiento de las barras de acero contra la oxidación, para lo cual existen en la actualidad diferentes sistemas de protección mediante pinturas y tratamientos especiales, al igual que la protección ignífuga (fuego).

Capítulo XV

**Sistemas estructurales
para fundaciones:
El suelo**

FUNDACIONES

Se denomina **cimiento** o **fundación** a la parte del sistema estructural en contacto con la tierra, destinada a transmitir a ésta la totalidad de cargas, entre ellas el peso del edificio y el efecto dinámico de las cargas móviles que actúan sobre el mismo y distribuirlas de modo tal que el terreno sea capaz de soportarlas.

La carga hace que el suelo se deforme, se hunda, efecto que se denomina asiento.

Dichos asentamientos, en las distintas partes de la fundación deben ser compatibles con la resistencia general de la construcción, no deben ceder ni desplazarse, ni alterarse frente a cambios debidos a aguas subterráneas o superficiales.

Existen dos aspectos importantes a tener en cuenta:

- Los tipos de suelos.
- La tipología de fundación.

SUELOS

El **suelo** es un material de construcción que cumple la tarea de soportar todos los tipos de cargas, contando con una de las tensiones admisibles más reducidas ($\sigma_{adm} = 1.400 \text{ kg/cm}^2$ para acero, 210 kg/cm^2 para hormigón armado, 80 kg/cm^2 para maderas), y alrededor de 2 kg/cm^2 para suelos.

Al iniciar cualquier proyecto se debe haber efectuado un ensayo de suelos y de esta manera adaptar el sistema de fundaciones que se utilizará al tipo de suelo que se encuentre en el terreno.

Afortunadamente, la ciencia de mecánica de suelos y geología ha avanzado bastante y hoy en día no se proyecta un sistema de cimentaciones sin haber hecho este estudio. Uno de los problemas más serios es la heterogeneidad de los suelos con pocos metros de diferencia, ya que los mismos tienen orígenes naturales y, por lo tanto, su conformación es irregular tanto en espesores como en composición, lo cual produce desagradables sorpresas, aún luego de los estudios.

Este problema hace que se deban extremar precauciones en el manejo de las fundaciones y el suelo.

Un 30% de las patologías graves están originadas en el comportamiento anormal de los suelos o los cimientos.

DISTINTOS TIPOS DE SUELOS

El comportamiento del suelo depende tanto de la naturaleza de sus componentes como del proceso de formación que suma millones de años, movimientos y presiones tectónicas, y la acción de los agentes naturales como el viento, la lluvia, la nieve, el sol, etc.

Los materiales que constituyen la corteza terrestre son clasificados, según el Ing. Karl Terzaghi, en **suelo** y **roca**, definiendo como:

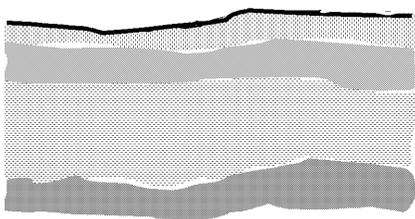
- **Suelo:** todo agregado natural de partículas minerales separables por medios mecánicos de poca intensidad (ejemplo: agitación en agua).
- **Roca:** agregado de minerales unidos por fuerzas cohesivas poderosas y permanentes.

Formación de suelos:

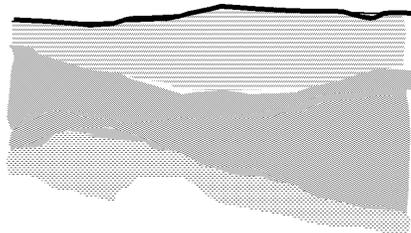
- Disgregación de macizos rocosos por acciones internas y externas.
- Transporte de partículas por agua y/o viento.
- Acomodamiento en capas sucesivas.
- Ligazón de variada intensidad entre partículas minerales.

Este fenómeno otorga características variadas a cada tipo de suelo. Esta ligazón, denominada cementación, puede ser graduada como nula hasta muy firme, pasando por una variada gama que incluye reacciones de **cementación** soluble en agua o agentes que aumentan de tamaño cuando se embeben, lo que genera junto con la forma propia de cada gránulo, el comportamiento de los suelos a las solicitaciones o cargas que sufrirán cuando se implante el edificio.

Se denomina **perfil del suelo** a una sección vertical del terreno que muestra espesores y el orden de sucesión de los estratos. Según como sean los límites entre los estratos, podemos hablar de **perfil simple o regular**, si son más o menos paralelos, de lo contrario se los denomina **errático**.



Regular



Errático

Hasta una profundidad de 2 m se denomina “**Horizonte A**” y las propiedades físicas estarán influenciadas por los cambios de humedad y temperatura y por agentes biológicos (raíces, gusanos, bacterias, etc.).

La parte inmediatamente inferior se denomina “**Horizonte B**” y es donde se precipitan las sustancias lavadas del “**Horizonte A**”.

Desde el punto de vista de las fundaciones interesan los suelos por debajo del “**Horizonte B**”, cuyas características están determinadas por la materia prima de la cual derivan, por la forma como se depositó y por el proceso geológico posterior.

Tomando en cuenta el origen de los elementos que constituyen los suelos, éstos se clasifican en dos grandes grupos:

- El primero se origina fundamentalmente como resultado de la descomposición física y química de las rocas.
- El segundo, el de los suelos originados por sustancias orgánicas.

A su vez, los del primer grupo se subdividen en dos, de acuerdo a si éstos han quedado en su lugar de origen –**suelos residuales**– o si han sido transportados –suelos transportados– por agua (transporte aluvional) o por medio del viento (transporte eólico).

Respecto al segundo grupo de la clasificación inicial, es decir, los suelos orgánicos, se han formado generalmente en el sitio de origen a consecuencia de la descomposición de organismos vivientes. Por lo común estos suelos no están solo formados por los antes mencionados, sino también por suelos transportados que incluyen productos de la descomposición de las rocas.

CLASIFICACIÓN UNIFICADA DE LOS SUELOS (Casagrande)

Los suelos están formados por partículas sólidas de diferentes tamaños que componen el agregado o parte inerte que constituye entre el 80% y el 90% del total de su peso seco, y la parte activa el resto.

Las características particulares de un suelo compuesto están casi enteramente determinadas por las propiedades de la fracción más fina, es decir, partículas cuyo tamaño oscila entre 0,06 mm y 2 micrones.

Para facilitar la interpretación de los resultados de los ensayos de suelos se dividen en dos grandes grupos:

Suelos de granos gruesos

Gravas

Arenas

Suelos de grano fino

Limos arcillosos con límite.

Líquido $L_W < 50$

Limos y arcillas con límite.

Líquido $L_W > 50$

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SU COMPORTAMIENTO

SUELOS ROCOSOS

Suelos firmes cuando se presentan como macizos consolidados.

Hay que tener precauciones sobre la existencia de vacíos, depósitos de arcillas húmedas, material suelto en pendiente (que puedan deslizarse), grietas por congelamiento, vertientes, etc.

Estos fenómenos pueden generar reacciones tardías y poner al edificio en situaciones comprometidas con años de retardo.

El problema de este suelo es la dificultad de anclaje del edificio al terreno, sobre todo en zonas de sismos o vientos. Este anclaje es en general muy complicado, técnicamente dificultoso y muy oneroso.

SUELOS CEMENTADOS

Son suelos firmes y normales que varían según el tipo de ligante que la naturaleza haya combinado, que les otorga mayor o menor resistencia.

Hay tres variables a tener en cuenta: forma de la partícula, naturaleza del mineral, y naturaleza del ligante.

El problema surge cuando están cementados muy enérgicamente, para hacer la excavación se debe recurrir a medios mecánicos, lo cual puede producir lesiones en los edificios linderos, cuando se producen vibraciones en caso de trepanaciones o perforaciones por impacto.

SUELOS COLAPSIBLES

Son de fácil colapso ante cargas menores. Son en general suelos de formación eólica, de estructura macroporosa (de grandes poros de aspecto esponjoso y cementados con sales solubles en agua potable o ácida). Están producidos por sucesivos depósitos de partículas finas, acumulados por acción del viento a través del tiempo.

Este depósito se denomina comúnmente **loess** que significa **suelto**.

Este tipo de suelo tiene bajo contenido de humedad natural, y en esta condición es firme y resistente, aunque al saturarse puede llegar a perder su estructura y comprimirse ante pequeñas cargas, perdiendo hasta un 30% de su volumen original, lo cual trae aparejado lesiones por hundimiento en la cimentación de los edificios.

SUELOS REACTIVOS

En algunas regiones existen las llamadas **arcillas reactivas**, fenómeno que consiste en un enérgico hinchamiento del suelo al entrar en contacto con agua, y retracción al perder contenido de humedad, lo que puede ocasionar daños de igual importancia que la compactación de los suelos colapsibles.

SUELOS ALUVIONALES DE ARENA GRAVA

Proviene de deposiciones sucesivas por crecientes de ríos o aluviones de deshielo y grandes lluvias, de arenas y cantos rodados de variado tamaño.

Se comportan como buenos suelos de fundación, excepto cuando los aluviones que les dieron origen, depositaron cuencas de limo en hoyos y depresiones, los que al ser cubiertos por nuevos aluviones han formado las llamadas **lentes de barro**.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FUNDACIONES

Es posible agrupar los sistemas de fundaciones en cinco categorías:

1. Fundaciones superficiales o directas.
2. Fundaciones profundas o por pozos.
3. Fundaciones indirectas o por pilotes.
4. Fundaciones por consolidación.
5. Sub-fundaciones o recalces.

1. Cuando el plano de asiento de los cimientos se encuentra a poca profundidad, alrededor de 0,80 m a 1,50 m con excavación corriente de bajo costo y poca dificultad se utilizan **fundaciones directas o superficiales**.

2. Cuando el plano de asiento de los cimientos se encuentra tan profundo, que solo puede ser alcanzado mediante trabajos especiales de mucha dificultad

y costo, se denomina **fundación profunda o por pozos**.

3. Cuando no hay plano de asiento se utilizan elementos estructurales de gran longitud que trabajan de punta o por fricción y se denomina **pilotaje o fundación indirecta**.

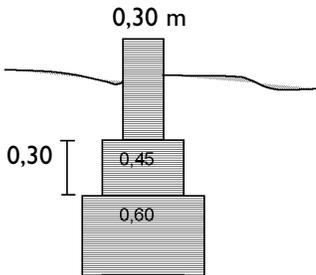
4. Es posible mejorar la capacidad resistente del suelo mediante tratamientos especiales, la consolidación no es en sí misma una fundación, sino la hace posible.

5. Cuando es necesario llevar el plano de asiento de un cimiento a un plano más bajo, se denomina un **proceso de subfundación o recalce**.

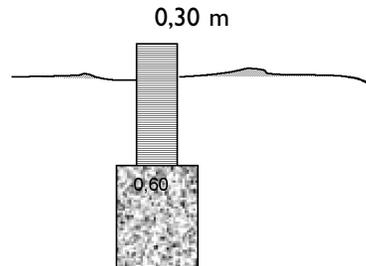
FUNDACIONES SUPERFICIALES O DIRECTAS

Se utilizan cuando el estrato superficial es suficientemente compacto, homogéneo y resistente o cuando las cargas son poco importantes, resultando las fundaciones con poca incidencia sobre el costo total de la estructura. Se usa también cuando el proyecto incluye la construcción de sótanos.

A todo cimiento natural de pared siempre se le da un ensanche o pie en relación con la parte superior de la misma, llamado **zarpa** y suele hacerse simétrico. La zarpa mínima en terreno bueno es de 5 cm en zapatas de hormigón y de 7,5 cm en la de ladrillos comunes.



Zapata en mampostería para muro de 0,30 m.



Cimiento en hormigón para terrenos poco resistentes.

En general la **zapata** mide 1,5 a 2 veces el ancho del muro, dependiendo del tipo de suelo, en terrenos no muy buenos y por razones de economía se hace por escalones o zarpas sucesivas, quedando constituida una zapata por varios rellanos. Éstos no pueden tener dimensiones arbitrarias, ya que su vuelo o zarpa tiene que estar en proporción con su espesor.

La altura del rellano debe ser cuatro veces la longitud de la saliente; un muro de 0,30 m tendrá cimientos 0,45 ó 0,60 m.

En terrenos resistentes los cimientos se construyen directamente sobre ellos

aplicándoles una capa de cal para poder nivelar la primera hilada de ladrillos.

En terrenos de poca resistencia el cemento será de hormigón u hormigón armado.

FUNDACIONES DE COLUMNAS Y PILARES

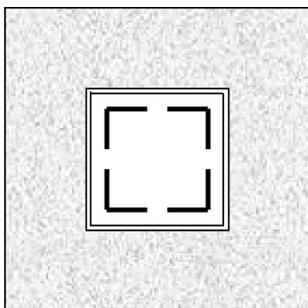
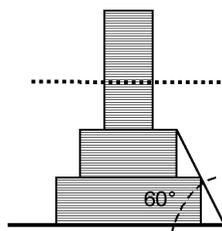
En la práctica se presentan diversos tipos de fundaciones para columnas y pilares de mampostería de ladrillo, columnas de hierro y columnas de hormigón armado, en estas fundaciones se debe tener especial cuidado porque se limitan a una superficie reducida y aislada y soportan, por lo general, cargas considerables. Tienen planta cuadrada o rectangular y forma tronco-piramidal.

El área de la placa de apoyo se fija de acuerdo con la capacidad portante del terreno, de forma tal que la presión sobre el mismo no sobrepase el valor admisible.

La cara superior o plataforma de la zapata debe tener dimensiones algo mayores que la sección de la columna, a fin de proporcionar convenientemente apoyo al encofrado de la misma, que se levantará sobre la base previamente hormigonada.

Para que las presiones sobre el terreno sean uniformes es necesario que el eje de la columna coincida con el centro de gravedad de la base.

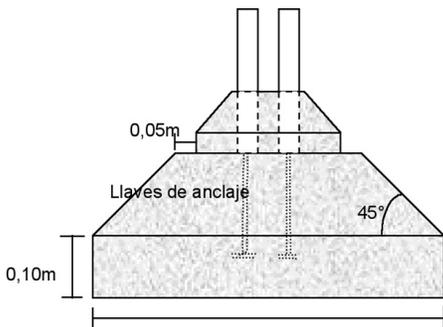
En **cimientos de pilares**, las zarpas se obtendrán por ensanches sucesivos de $1/2$ ladrillo, escalonados de cuatro, en cuatro hiladas para el ladrillo ordinario y de tres para el de máquina, estas zarpas deben estar contenidas dentro de 60° sobre la horizontal.



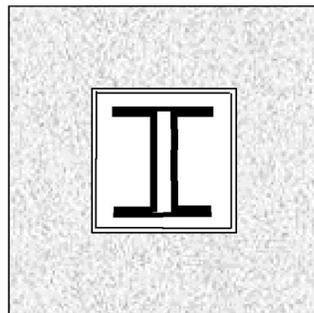
Columna de perfiles L.

Columna de hierro con base de hormigón

Las **fundaciones para columnas de hierro** pueden hacerse de hormigón o también de sobantes de perfiles de hierro envueltos en hormigón, el lado superior de la base debe sobresalir como mínimo 5 cm del lado de la columna, con una inclinación en el tronco de la pirámide de 45° , y un talón mínimo de 10 cm.



Ancho determinado por la superficie de apoyo. Base metálica de acero, revestida en hormigón para columna metálica.

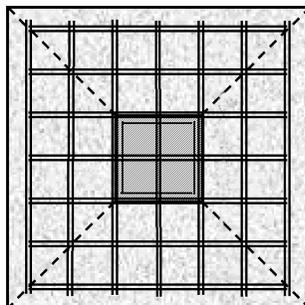
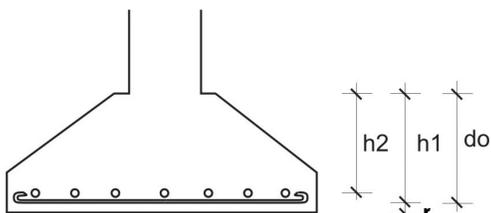
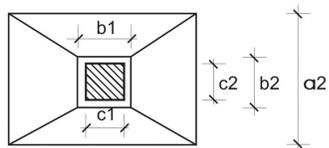
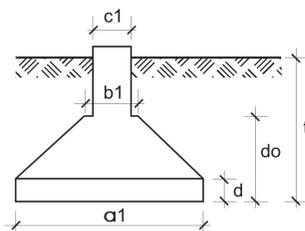


Columna de perfiles U.

ZAPATAS DE HORMIGÓN ARMADO

Base para columna centrada: base tronco-cónica armada para terrenos de consistencia normal, según el informe del estudio de suelos. La altura hasta el nivel de solado más bajo debe ser la mínima necesaria.

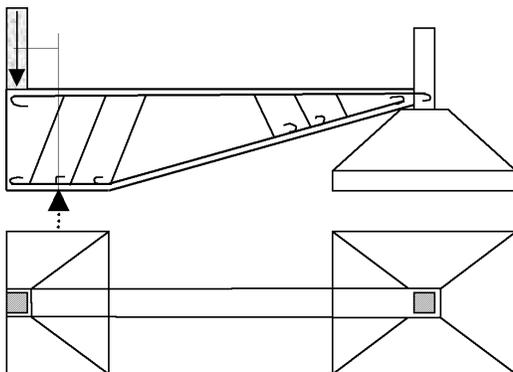
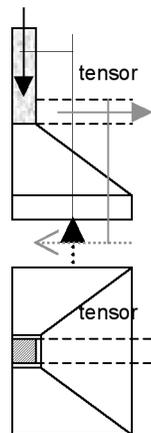
El recubrimiento mínimo de la parrilla es de 5 cm y la armadura se coloca en ambos sentidos.



Base de columna excéntrica: se utiliza cuando es imposible centrar la base, por ejemplo en el caso de columnas sobre la medianera, ya que legalmente no se puede invadir el terreno vecino.

Al no coincidir la recta de acción de la carga con la resultante de tensiones del terreno, se origina un momento que deberá ser contrarrestado con un par igual y contrario materializado por la fuerza de rozamiento y la colocación de un tensor.

El uso de tensores permite centrar la carga en las bases excéntricas, liberando a la columna de flexión.



Base cantilever de hormigón armado: la flexión producida por la excentricidad será absorbida por una viga que una la base de la medianera con otra central no excéntrica.

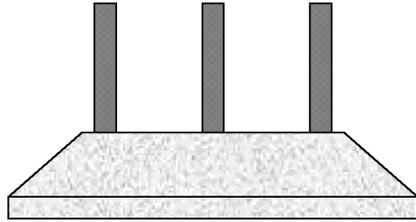
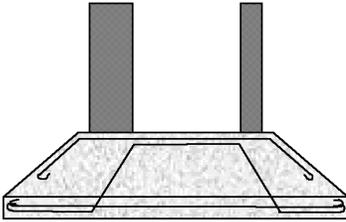
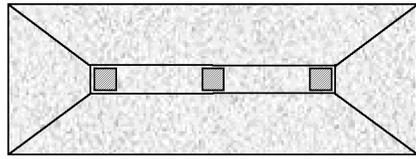
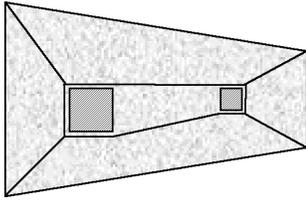
Ambas bases y sus fustes quedan armados como si la excentricidad no existiera, es decir, constituye otra solución posible.

Base compuesta para dos o más columnas: la carga se transmite al terreno formando un bulbo de presiones.

Puede ocurrir que de acuerdo con la magnitud de las cargas la superficie de la placa de apoyo resulte tan grande que se superponga con la contigua.

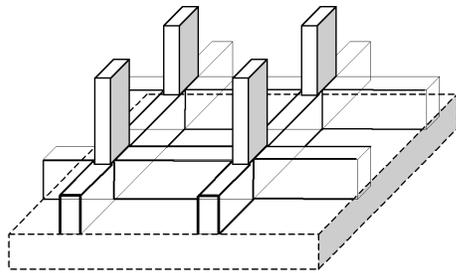
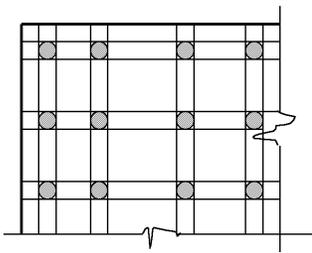
Es por esta razón que se adoptan bases unificadas para dos o más columnas e incluso vinculando muros y tabiques, en estos casos el ancho es variable en correspondencia con la mayor o menor carga de las columnas, el ancho menor corresponde a la columna de menor carga.

En algunos casos, cuando se utiliza una zapata continua para asiento de una hilera de columnas, se coloca una viga invertida que las vincula. Como el comportamiento de los suelos es indefinido, es prudente que la armadura sea doble, para prevenir momentos de flexión en cualquier sentido.



PLATEAS DE FUNDACIÓN

Otra manera de soportar cargas en el terreno cuando éste es húmedo y tiene filtraciones de agua, es mediante plateas que abarcan toda la superficie de la planta del edificio.



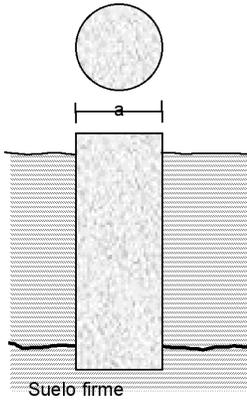
El procedimiento es análogo al de las losas de hormigón, y la presión unitaria sobre el terreno es mínima.

En suelos arenosos, la construcción aparece como flotando sobre esta platea de hormigón, sobre la que se fijan las bases de las columnas.

Es condición primordial que los asientos de las mismas sean uniformes.

FUNDACIÓN POR POZOS

Ésta es una técnica antigua, siempre presente cuando la profundidad no es demasiado grande o cuando siéndolo las cargas no son muy importantes, en el primer caso se las puede ejecutar en condiciones económicas hasta 8 m de profundidad.



En su forma más sencilla, el pozo de pequeño diámetro es vaciado a mano hasta encontrar fondo resistente, se lo rellena luego con hormigón, formándose una columna que apoya en firme y eventualmente trabajará a fricción contra el suelo.

El pozo hecho en forma manual requiere un diámetro de 1,20 m o una sección de 1 m x 1,20 m si es rectangular.

Luego de excavado se rellena de hormigón, uniéndose el coronamiento con el de los otros mediante vigas de hormigón armado o arcos de mampostería, sobre los cuales descansará la estructura del edificio.

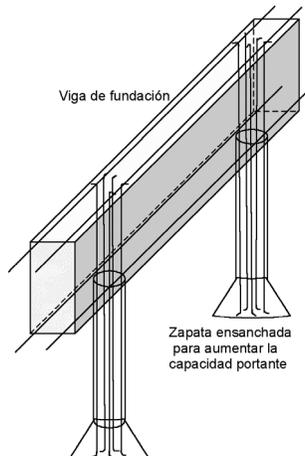
FUNDACIONES INDIRECTAS

Quando el terreno apto para fundar se encuentra a mucha profundidad o simplemente no presenta capacidad resistente, no resultan económicas o factibles las soluciones antes vistas (fundaciones directas), se recurre entonces al uso de **pilotines, pilotes o micropilotes**.

PILOTINES

Se utilizan para fundar a profundidades entre 3 m a 5 m, las cargas que pueden soportar no son mucho mayores que 10 t.

Pueden ser premoldeados o realizados in situ, se trata de verdaderas columnas de entre 25 cm a 35 cm de diámetro, con armadura longitudinal.



Se hallan unidos mediante una viga de encadenado que los vincula distribuyendo la carga de las paredes o tabiques.

Su diámetro y profundidad dependen de la carga que deberán soportar y de la constitución del suelo.

La separación no debe ser inferior a 0,60 m y deben colocarse siempre en los encuentros de tabiques.

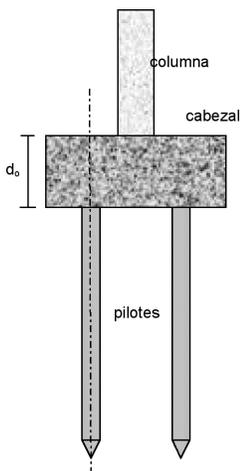
PILOTES

Cuando el suelo donde debe fundarse la estructura alcanza su capacidad importante a bastante profundidad (mayores de 8 m ó 10 m), se utiliza la fundación sobre pilotes.

Los **pilotes** son elementos longitudinales, hincados o colocados en el terreno luego de efectuar la perforación del mismo, pueden ser de madera, acero u hormigón armado, premoldeados o realizados in situ, y en posición vertical o inclinados.

El pilote recibe la carga y la transmite al suelo de dos formas:

- De punta, como si fuera una columna apoyada.
- Por fricción lateral.



En todos los casos los pilotes llevan un cabezal, que es un elemento rígido de forma prismática sobre el que apoyan las columnas y tabiques.

Este cabezal es el encargado de transmitir las cargas a los pilotes que, reglamentariamente deben ser, por lo menos, dos por cada cabezal y si recibe la carga de varias columnas debe poseer doble fila de pilotes.

Debido a su modo de trabajo, o sea, su capacidad resistente por fricción es po-

sible soportar esfuerzos de tracción, siendo una de las fundaciones características de esta tipología estructural.

Asimismo se los utiliza para sistemas de apuntalamiento o submuraciones profundas.

Pilotes de madera: los pilotes de madera son de poca utilización en edificios con grandes cargas, pero su uso es común en zonas como el (el Tigre, por ejemplo).

Resultan muy convenientes debido a su costo reducido, se utilizan en terrenos poco resistentes donde su hincado es muy sencillo, no obstante al igual que las de hormigón sus puntas se protegen con **azuches metálicos**.

La duración de los pilotes de madera es muy larga si se hallan sumergidos en agua, de otro modo quedan expuestos a factores que los pudren y los debilitan.

Pilotes de acero: los pilotes de acero pueden tener sección tubular o perfiles, generalmente **doble T** recubierto en hormigón para evitar la corrosión, aunque son poco utilizados. Admiten cualquier longitud pues pueden ser soldados en el **proceso de hinca**.



Pilotes de hormigón armado: son los más utilizados por económicos, no corrosibles y resistentes. Los más comunes son los de sección circular, cuadrada, hexagonal y octogonal y sus diámetros varían entre 0,30 m y la sección necesaria por cálculo.

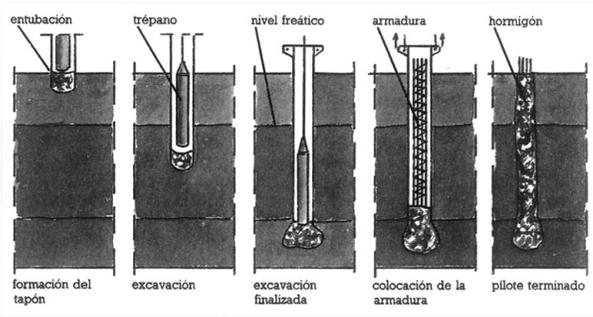
Se arman como pilares con hierros más gruesos y armadura lateral para soportar eventuales empujes laterales del terreno y se zunchan en forma de espiral.

Pueden ser **hormigonados** in situ o **premoldeados**.

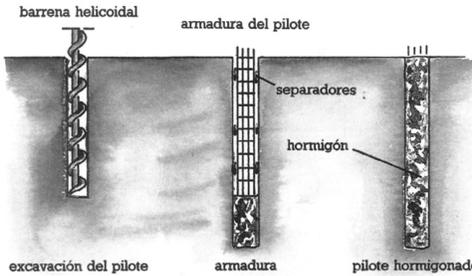
Los primeros requieren la perforación previa del terreno, se introduce luego la armadura, debidamente separada del terreno, para protegerla de la corrosión y finalmente se vierte el hormigón; éstos pueden tener o no bulbo terminal, es decir, un ensanchamiento en la parte inferior.

En algunos casos la perforación se hace por medio de barrenos, colocando una camisa de hierro para evitar desmoronamientos, esto puede evitarse si el suelo es no desmoronable.

Otro modo es utilizando lodo bentonítico con el que se llena la perforación, luego se introduce la armadura y finalmente, al hormigonar, éste es desalojado por diferencia de densidad.



Formación de pilotes hincados por percusión, sin extracción de tierra.



Construcción de pilotes excavados con barrena helicoidal.

Los pilotes de hormigón armado **premoldeados** con hormigón armado convencional o pretensado son de sección circular, cuadrada o poligonal, con un diámetro máximo en general de 60 cm, y para su colocación se recurre al hincado.

Hinca de pilotes: la técnica consiste en hincar el pilote por medio de **martinetes**, a vapor o *diesel* que están formados por una maza que cae desde cierta altura sobre la cabeza del pilote y de este modo lo va hundiendo.

Estos martinetes están compuestos generalmente, de un armazón alto para sostener el aparejo para izar el pilote hasta su posición antes de hincarlo, una polea, la maza y unas guías verticales para conducirlo.



Pala metálica equipada para hincar pilotes.

La maza se deja caer desde cierta altura sobre el pilote, y golpea hasta notar un rechazo debido a que se ha llegado a terreno resistente, se considera

que existe rechazo cuando no penetra más de 2 cm a 4 cm por andanada de 30 golpes con una maza de 400 a 500 kg.

Cuando los pilotes están muy separados la hinca comienza desde los perimetrales hacia el centro del terreno, de modo tal que el terreno se compacta.

En caso de tener un terreno muy compacto se comienza desde el centro hacia los perímetros para que el terreno pueda ceder.

FUNDACIONES POR CONSOLIDACIÓN

La idea de esta técnica es la de mejorar artificialmente las condiciones del terreno para luego asentar sobre éste algunos de los tipos de fundación.

Se trata de aumentar la capacidad resistente del terreno mediante las siguientes técnicas:

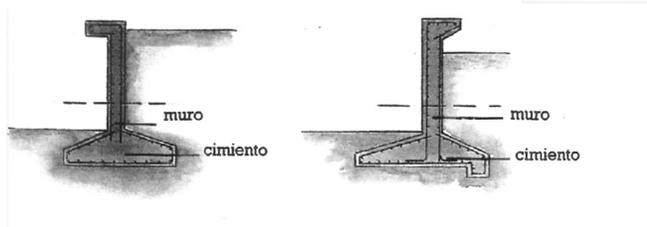
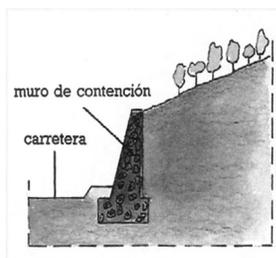
Congelamiento: es una consolidación temporaria para que sirva de muro de contención de suelos adyacentes.

Compactación: es permanente y se la obtiene de dos maneras:

- Vibrando la masa del suelo para disminuir el volumen y aumentar su densidad. Esto puede producir asientos diferenciales que deben ser rellenados.
- Introduciendo pilotes en cantidades suficientes para producir un aumento de la capacidad resistente por la compactación del suelo.

Inyecciones petrificantes: introduciendo cemento a presión entre las fisuras o grietas.

Muros de sostenimiento.



SUBMURACIÓN O RECALCE

El objeto del mismo es llevar el plano de fundación de un cimiento a un nivel inferior.

El caso se presenta en la ejecución de sótanos en edificios existentes, sótanos nuevos en la vecindad de obras viejas o por la necesidad de profundizar las bases, por aumento en las cargas o por fallas del suelo.

El trabajo supone excavar por debajo del cimiento que deberá apuntalarse debidamente para evitar su desmoronamiento, como trabajo previo al descalce.

Realizar un recalce es una operación costosa y lenta, y se desarrolla siguiendo las siguientes etapas:

- Apeo del edificio existente.
- Descalce (excavación hasta el nivel deseado).
- Ejecución del nuevo cimiento.

Recalce: retiro del andamiaje provisorio.