



**GERDAU**  
**CORSA**  
El futuro se moldea



## CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN

**Gerdau Corsa. El futuro se moldea.**

[gerdaucorsa.com.mx](http://gerdaucorsa.com.mx)





# ÍNDICE

1. Introducción
2. El anteproyecto
3. El proyecto en acero

# CBEA

DISEÑO BÁSICO  
DE ESTRUCTURAS  
DE ACERO

*Métodos DEP / DFCR*



## PRESENTACIÓN

Este volumen trata sobre los criterios en la estructuración de edificios metálicos, de las recomendaciones que debemos seguir para lograr que el comportamiento del edificio sea como lo que se establece en los modelos de análisis. Comienza con un resumen cronológico que contiene la descripción de algunos materiales y la evolución científica y tecnológica de los descubrimientos estructurales en los últimos siglos.

Plantea lo siguiente, en forma de pregunta, que para la concepción de la arquitectura como un espacio construido será necesario precisar con la mayor claridad posible, las necesidades funcionales, cuáles son los componentes estructurales que serán utilizados y como serán los apoyos de las condiciones de frontera, a manera de garantizar la estabilidad del sistema estructural.

Esta preocupación fenomenológica y cualitativa, propia de la forma de pensar de Helösa, revela su potencial creador, aspecto poco común en la ingeniería estructural y que mucho auxilia al arquitecto en la concepción de un proyecto donde la estructura nace junto con la definición formal, no solo como una opción aleatoria del material que se utilizará empezando a construir una parte importante de la definición del conjunto.

El artículo sigue el proyecto estructural tratando los esfuerzos solicitantes y resistentes: fuerzas axiales, flexión, cortante, torsión y deformaciones. Termina hablando sobre el dimensionamiento, las conexiones, el detalle de la estructura, la fabricación, el transporte, el montaje y el mantenimiento.

Este trabajo surge oportunamente, para la formación de estudiantes en arquitectura e ingeniería cuyo interés por las estructuras metálicas va creciendo, y que reclaman el conocimiento en esta área ya que no existen suficientes publicaciones especializadas en el tema del acero.

# 1 INTRODUCCIÓN

El acero es sinónimo de arquitectura moderna.

En el siglo XX, este material inspiró a arquitectos e ingenieros, combinando la resistencia y la eficiencia con oportunidades de expresión escultural.

Hoy en día, en la era del pluralismo arquitectónico y de innovación de ingeniería, el acero se encuentra presente en los edificios más modernos y sofisticados. Esto se debe en cierta parte a la evolución metalúrgica, al avance en el análisis estructural, a las nuevas tecnologías en fabricación de estructuras, al montaje y al desempeño de los componentes constructivos que completan la estructura.

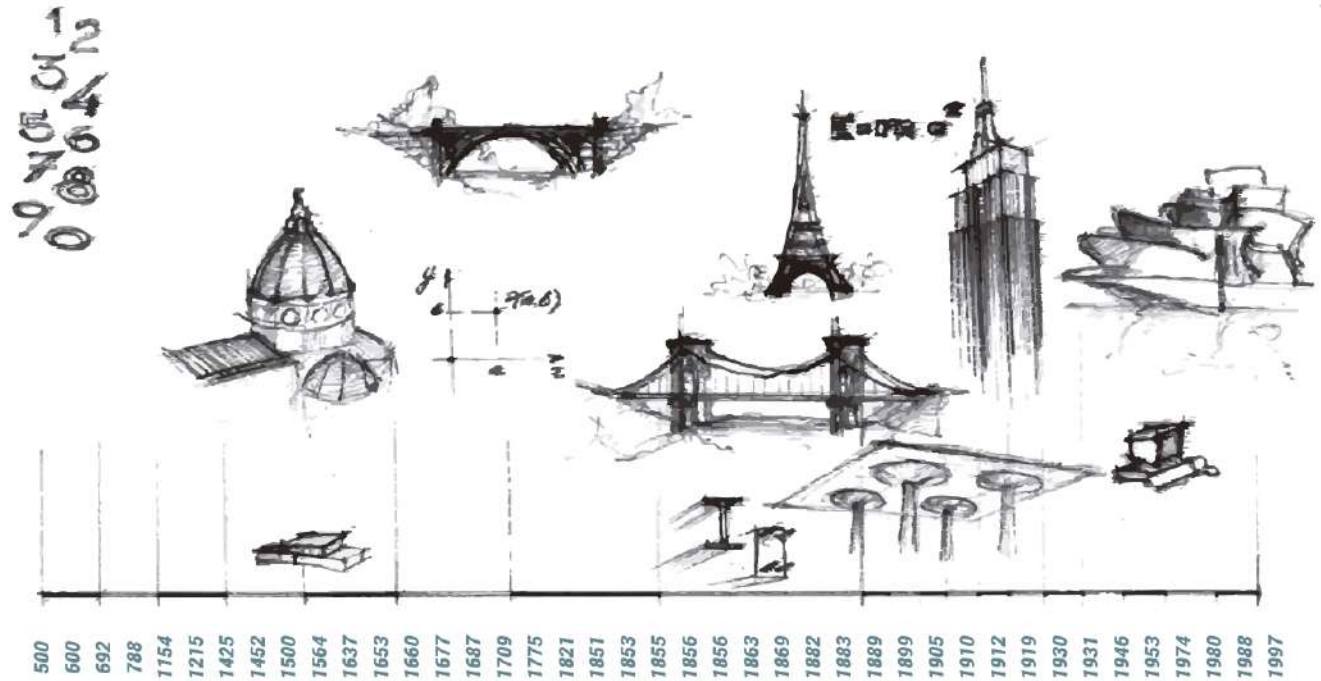
Las limitaciones técnicas y expresivas del acero son cada vez más exploradas, generando soluciones estéticas creativas y variadas.

Los perfiles de GERDAU CORSA acompañan la tendencia de racionalización y de la utilización de la construcción industrializada.

Las conexiones de la estructura se pueden estandarizar y transformarse en elementos arquitectónicos importantes.

Esta publicación fortalece la visión general de conceptos constructivos y estructurales en los que generalmente están basadas las edificaciones.

# 1.1 CRONOLOGÍA

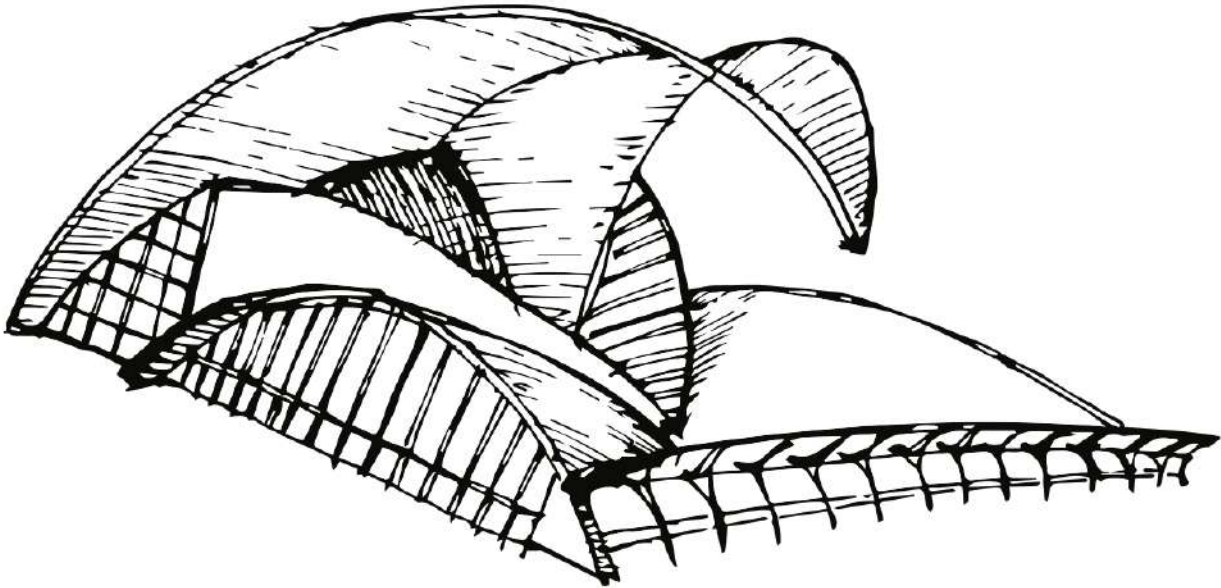


| AÑO  | MATERIALES               | CIENCIA Y TECNOLOGÍA   | OBRAS   |
|------|--------------------------|--|---|
| 500  |                          | Matemática (India)   |   |
| 600  |                          | Números, álgebra y geometría (Arabia)  |   |
| 692  |                          |  | Cúpula de la Roca - Jerusalén (Islámica)                  |
| 788  |                          |  | Gran Mesquita de Córdoba                                  |
| 1154 |                          |  | Catedral de Chartres - Arquitectura Gótica                |
| 1215 |                          |  | Arquitectura Islámica y difundida en la India             |
| 1425 |                          |  |   |
| 1452 |                          | Comportamiento de los entramados (Da Vinci)  | Cúpula de Santa María del Fiore                           |
| 1500 |                          |  |   |
| 1564 |                          | Resistencia de los materiales (Galileo)  |   |
| 1637 |                          | Coordenadas cartesianas - El Método (René Descartes)                               |   |
| 1653 | Tabique                  | Robert Hooke - Teoría de elasticidad   | Termina la construcción del Taj Mahal                     |
| 1660 |                          | Leibnitz - Cálculo diferencial e integral  |   |
| 1677 |                          | Principios (Newton)  |   |
| 1687 |                          | Abraham Darby descubre el coque para producción del hierro guza                    |   |
| 1709 |                          | Motor eléctrico (Faraday - Inglaterra)   | Primer puente de hierro en arco - Río Severn (Inglaterra) |
| 1775 | Fierro fundido y forjado | Exposición mundial Londres   | Palacio de Metal - Joseph Praxton (Inglaterra)            |
| 1821 |                          | Elisha Graves Otis - Elevador  |   |
| 1851 |                          | Joseph Louis Lambot - Concreto reforzado con acero                                 |   |
| 1853 | Cemento y concreto acero | Proceso Bressener (acero)  |   |
| 1855 |                          | Henri Laboustre - Uso de vigas, arcos y columnas                                   | Biblioteca de Santa Genoveva                              |
| 1856 |                          |  | 1er Metro (Londres)                                       |
| 1856 |                          |  | 1er Ferrovía transcontinental (EUA)                       |
| 1856 |                          |  | 1er Hidroeléctrica (EUA)                                  |
| 1863 |                          |  | 1er Puente Pensil Brooklyn (EUA)                          |
| 1869 |                          |  | Torre Eiffel (Gustave Eiffel - Francia)                   |
| 1882 |                          |  | Urbanización moderna (Howard)                             |
| 1883 |                          | Teoría de la relatividad (Einstein - Alemania)                                     |   |
| 1889 |                          | Robert Maillart - Losa reticular   |   |
| 1899 |                          | Bauhaus (Alemania)   |   |
| 1905 |                          | Hardy Cross - Proceso para determinación de esfuerzos - Estructuras hiperestáticas |   |
| 1910 |                          | Primer computador (EUA)  | Empire State Building 381m (EUA)                          |
| 1912 | Plástico                 | Computadoras electrónicas (EUA)  |   |
| 1919 |                          |  |   |
| 1930 |                          |  | Torre Sears, Chicago 443m (EUA)                           |
| 1931 | Aluminio                 |  |   |
| 1946 |                          |  | Torre del Banco de China - Hong Kong - 315m               |
| 1953 |                          |  | Museo Guggenheim - Bilbao                                 |
| 1974 |                          |  |   |
| 1980 |                          |  |   |
| 1988 |                          |  |   |
| 1997 |                          |  |   |

## 2 EL ANTEPROYECTO

El anteproyecto generalmente lo desarrolla el arquitecto, y desde la concepción se deberá pensar en el material, en esta parte es donde puede repercutir que una estructura metálica resulte económica debido a que en esta etapa se podrá aprovechar todas las ventajas del material.

### 2.1 ¿QUÉ ES LO QUE SE DESEA REALIZAR?



*Bosquejo de una obra de Santiago Calatrava en papel a mano alzada de una obra en las Islas Canarias en España.*

Cuando hablamos de construcción en acero podemos concluir que cualquier tipo de estructura pensada se podrá desarrollar, siempre y cuando podamos dar estabilidad a la creación del proyectista. Es importante que se evalúen todas las problemáticas del proyecto para que resulte en una estructura funcionalmente adecuada y sobre todo que cumpla con los requerimientos de seguridad, sin dejar de lado el aspecto económico.

#### 2.1.1 Satisfacer las necesidades y las posibilidades del cliente.

Es imprescindible atender las expectativas del cliente, definiendo la forma y el destino, analizando los costos dentro de sus posibilidades. El proyecto demanda ciertas características geométricas y el ingeniero estructural deberá enfocarse en hacer lo menor de modificaciones al proyecto para no afectar la estética sin poner en riesgo el comportamiento global de la edificación.

#### 2.1.2 Espacios.

Establecer un proceso. Atender un cronograma, para el diseño lógico de los espacios funcionales, observando las condiciones de confort y estética. Desde el punto de vista estético puede resultar subjetivo, ya que depende de cada enfoque que le dé cada persona en particular. El proyectista puede entender la estructura de un modo distinto al del ocupante.

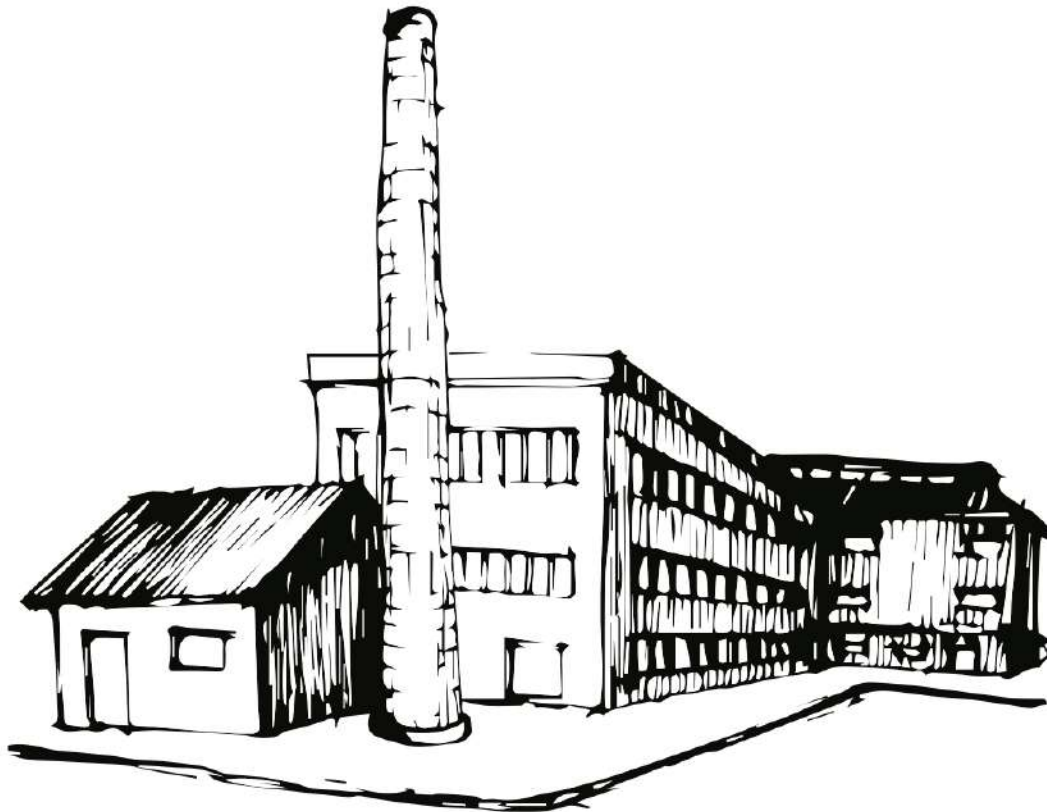
### 2.1.3 Volumen.

Límite en el espacio abierto y el contenido. Lo que protege. Lo que muestra. Embalaje. Los volúmenes abiertos resultan en sistemas más confortables, el acero tiene la particularidad de resolver sistemas completos con menor número de elementos y con dimensiones menores a las de otros materiales. Esta es una gran ventaja para los proyectistas ya que pueden aprovechar esta característica para desarrollar mejores diseños.

### 2.1.4 Estética.

La separación y la unión de los espacios y volúmenes determinan la forma. La estructura se conforma a través de un conjunto de elementos, interrelacionados, caracterizando la sincronía y la satisfacción de los sentidos. Es claro que todo el conjunto trabajando en armonía podrá resultar en una estética más agradable.

## 2.2 ¿QUÉ ES LO QUE SE NECESITA?

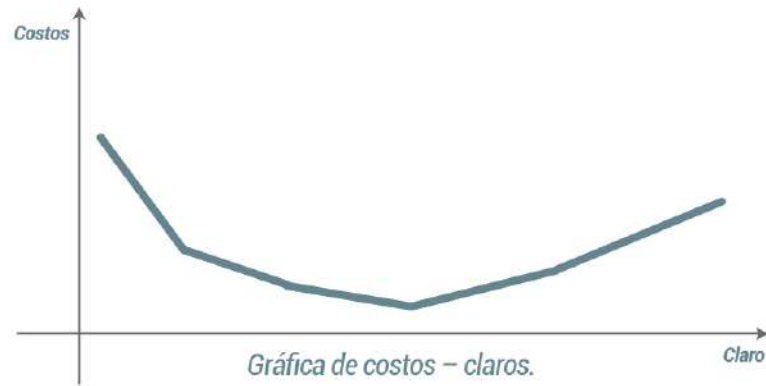


*Figura de Walter Gropius, Adolf Meyer e Eduard Werner.*

### 2.2.1 Claros.

En general un proyecto muchas veces puede tener claros especiales, esto puede ir desde unidades de rendimiento que necesiten poca o nula interferencia, salas de espectáculos en los que se necesita visión amplia, paso de vehículos, etc. La relación entre la longitud de los claros y los costos no es lineal, se trata de obtener el mejor resultado aprovechando todas las características del material, por ejemplo los claros pequeños pueden llegar a desperdiciar la resistencia del material y puede que otros sistemas funcionen mejor, ya que resultan más económicos y los claros muy grandes pueden ser muy deformables, aunque en este caso definitivamente no existirá un material que sea capaz de llegar a librar estas magnitudes de claros y el costo puede incrementarse.





## 2.2.2 Cargas.

La evaluación de cargas sobre una estructura es un tema de gran importancia, que depende no solo del diseño de cada elemento del conjunto, sino también del sistema estructural que será adoptado, además del destino que tendrá la edificación.

Existen una serie de cargas que actúan en una estructura, en algunas de ellas tenemos libertad de elección y son evaluadas de acuerdo con las necesidades del proyecto a manera de optimizar los costos, pero en la mayoría de los casos depende en su totalidad de los destinos.

## CARGAS MUERTAS O PERMANENTES

La evaluación de estas cargas está en función de los materiales escogidos. Estas cargas se definen como muertas o permanentes y que a lo largo de toda la vida útil de la estructura no serán retiradas. Estas cargas pueden ser:

- *Peso propio de la estructura (acero, concreto, madera, etc.)*
- *Muros (muros de mampostería, paneles de fachadas, etc.)*
- *Acabados (pisos, rellenos, impermeabilización, etc.)*
- *Paisajismo (jardines sobre losas)*
- *Instalaciones (eléctrica, hidráulica, acústica, equipamiento, etc.)*
- *Cubiertas (tejas, aislantes, etc.)*

A continuación, se muestran distintos pesos de referencia de materiales que servirán de apoyo para la valoración de las cargas permanentes.

## TABLA DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

| MATERIALES |           | PIEDRAS NATURALES                      |        |
|------------|-----------|--|--------|
|            |           | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |        |
|            |           | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| Areniscas  |           | 2.50                                   | 1.80   |
| Basaltos   |           | 2.60                                   | 2.40   |
| Granito    |           | 2.60                                   | 2.40   |
| Mármol     |           | 2.80                                   | 2.50   |
| Pizarras   |           | 2.80                                   | 2.30   |
| Tepetates  | Secos     | 1.60                                   | 0.75   |
|            | Saturados | 1.90                                   | 1.30   |
| Tezontles  | Secos     | 1.20                                   | 0.70   |
|            | Saturados | 1.60                                   | 1.10   |

## TABLA DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### PIEDRAS ARTIFICIALES

Concretos y morteros con agregados de peso normal

| MATERIALES                         |          | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |        |
|------------------------------------|----------|--|--------|
|                                    |          | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| Concreto simple                    | Clase I  | 2.30                                   | 2.10   |
|                                    | Clase II | 2.10                                   | 1.90   |
| Concreto reforzado                 | Clase I  | 2.40                                   | 2.20   |
|                                    | Clase II | 2.20                                   | 2.00   |
| Mortero de cal y arena             |          | 1.80                                   | 1.50   |
| Mortero de cemento y arena         |          | 2.10                                   | 1.90   |
| Tabique de barro hecho a mano      |          | 1.50                                   | 1.30   |
| Tabique prensado o extruído        |          | 2.10                                   | 1.60   |
| Bloque de concreto tipo pesado     |          | 2.10                                   | 1.90   |
| Bloque de concreto tipo intermedio |          | 1.70                                   | 1.30   |
| Bloque de concreto tipo ligero     |          | 1.30                                   | 0.90   |
| Mampostería de piedras naturales   |          | 2.50                                   | 2.10   |

### MADERAS

| MATERIALES  |                 | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |        |
|---|-----------------|--|--------|
|   |                 | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| <b>A) Pesadas</b>   | <i>Seca</i>     | 1.30                                   | 0.85   |
|   | <i>Saturada</i> | 1.50                                   | 1.00   |
| Tropicales (chicozapote, pucté, ramón)                            |                 |  |        |
| Encino Blanco   | <i>Seca</i>     | 1.10                                   | 0.65   |
|   | <i>Saturada</i> | 1.30                                   | 0.85   |
| <b>B) Medianas</b>  | <i>Seca</i>     | 0.95                                   | 0.70   |
|   | <i>Saturada</i> | 1.10                                   | 0.80   |
| Tropicales (pelmax, chachouanate, aguacalillo, tzalam)            |                 |  |        |
| Encino rojo   | <i>Seco</i>     | 0.75                                   | 0.45   |
|   | <i>Saturado</i> | 0.85                                   | 0.50   |
| <b>C) Livianas</b>  | <i>Seco</i>     | 0.75                                   | 0.45   |
|   | <i>Saturado</i> | 0.85                                   | 0.50   |
| Tropicales (maculis, bari, pas'k, amapola, primavera, haya, alie) |                 |  |        |
| Pino  | <i>Seco</i>     | 0.65                                   | 0.50   |
|   | <i>Saturado</i> | 0.90                                   | 0.60   |
| Oyamel, ciprés, sabino, enebro, pinabete                          | <i>Seco</i>     | 0.65                                   | 0.40   |
|   | <i>Saturado</i> | 0.75                                   | 0.50   |



## TABLA DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



### SUELOS

| MATERIALES   |                       | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |        |
|--|-----------------------|--|--------|
|  |                       | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| Arena o grava  | <i>Seca, suelta</i>   | 1.70                                   | 1.40   |
|  | <i>Seca, compacta</i> | 1.90                                   | 1.60   |
|  | <i>Saturada</i>       | 2.00                                   | 1.80   |
| Arcilla típica del Valle de México en su condición natural |                       | 1.40                                   | 1.20   |
| Arcilla seca   |                       | 1.20                                   | 0.90   |
| Limo suelto húmedo   |                       | 1.30                                   | 1.00   |
| Limo compacto húmedo                                       |                       | 1.60                                   | 1.30   |
| Arcilla con grava  | <i>Compactada</i>     | 1.70                                   | 1.40   |
| Relleno compacto   | <i>Seco</i>           | 2.20                                   | 1.60   |
|  | <i>Saturado</i>       | 2.30                                   | 2.00   |
| Cascajo  |                       | 1.60                                   | 1.20   |

### RECUBRIMIENTOS *(no incluye material de unión)*

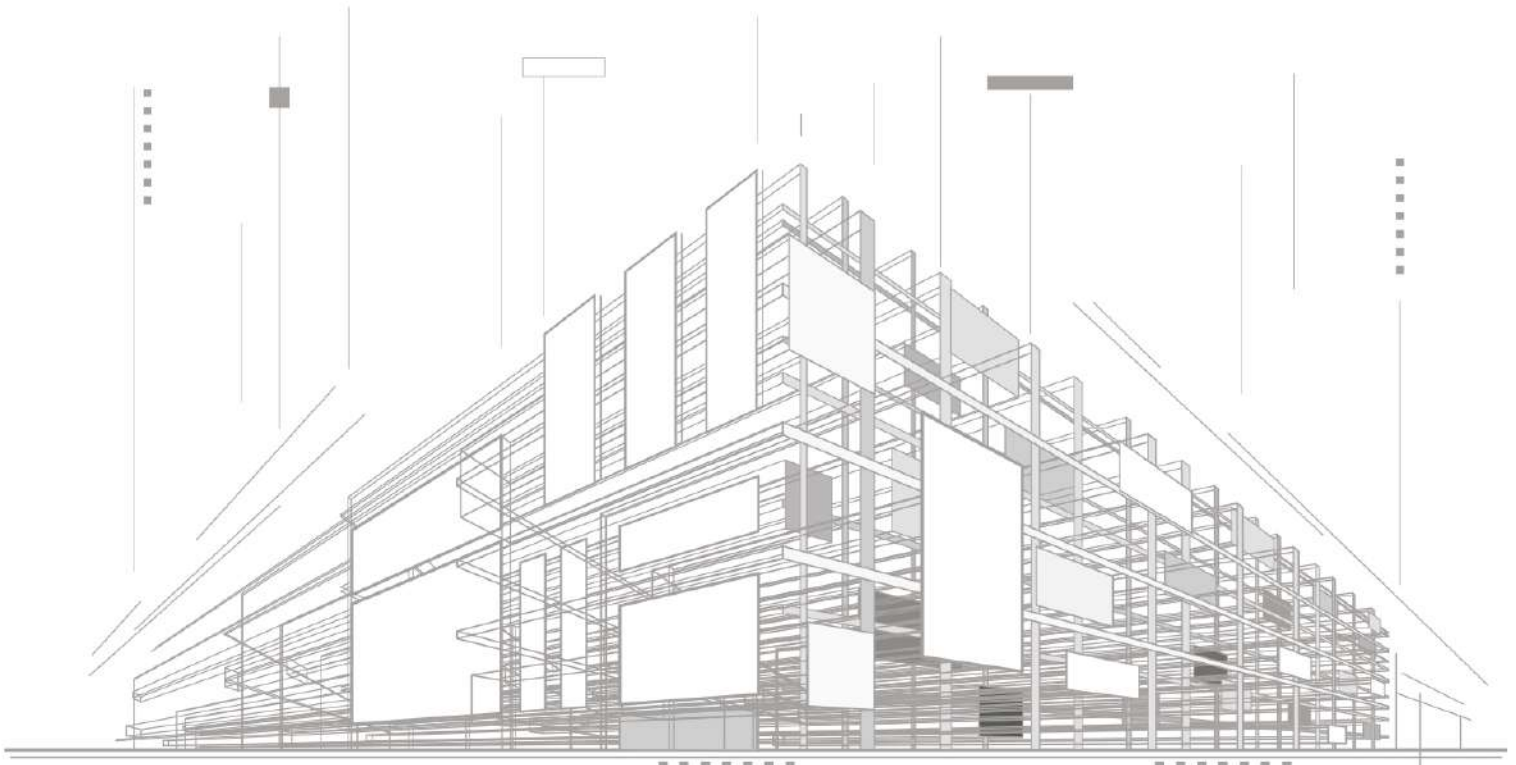
| MATERIALES                  |                   | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>2</sup> |        |
|-----------------------------|-------------------|--|--------|
|                             |                   | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| Azulejos                    |                   | 15                                     | 10.00  |
| Mosaico de pasta            |                   | 35                                     | 25.00  |
| Granito o terrazo           | <i>20 x 20 cm</i> | 45                                     | 35.00  |
|                             | <i>30 x 30 cm</i> | 55                                     | 45.00  |
|                             | <i>40 x 40 cm</i> | 65                                     | 55.00  |
| Loseta asfáltica o vinílica |                   | 10                                     | 5.00   |
| Lámina de asbesto           | <i>5 mm</i>       | 15                                     | 10.00  |
| Madera contrachapeada       | <i>6 mm</i>       | 4                                      | 2.50   |
| Tablero de yeso             | <i>12 mm</i>      | 14                                     | 11.00  |
| Tablero de viruta cementada | <i>38 mm</i>      | 40                                     | 30.00  |
| Cielo raso con malla y yeso | <i>25 mm</i>      | 60                                     | 40.00  |
| Plafón acústico             | <i>25 mm</i>      | 7                                      | 4.00   |
| Aplanado de cemento         | <i>25 mm</i>      | 85                                     | 50.00  |
| Aplanado de yeso            | <i>25 mm</i>      | 50                                     | 30.00  |
| Enladrillado                | <i>20 mm</i>      | 40                                     | 30.00  |

## TABLA DE PESOS VOLUMÉTRICOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### MUROS *(no incluye el peso de los recubrimientos)*

| MATERIALES   |       | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |        |
|--|-------|--|--------|
|  |       | MÁXIMO                                 | MÍNIMO |
| Tabique de barro hecho a mano                          | 14 cm | 240                                    | 190    |
| Bloque hueco de concreto pesado                        | 15 cm | 210                                    | 190    |
| Bloque hueco de concreto ligero                        | 15 cm | 150                                    | 130    |
| Tabique de concreto ligero macizo                      | 15 cm | 250                                    | 220    |
| Tabique de concreto pesado                             | 15 cm | 310                                    | 280    |
| Tablaroca<br>(con hoja de 1.25 cm de yeso ambas caras) |       | 50                                     | 40     |

| MATERIALES | PESO VOLUMÉTRICO<br>ton/m <sup>3</sup> |
|------------|--|
| Vidrio     | 2.60                                   |
| Yeso       | 1.50                                   |
| Asfalto    | 1.30                                   |
| Acero      | 7.85                                   |
| Aluminio   | 2.70                                   |



## CARGAS VIVAS O VARIABLES.

Estas son estipuladas por normas según el uso del inmueble y con base en el acuerdo por el que se actualizaron las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones publicadas en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 15 de diciembre del 2017 y resumidas en la siguiente tabla (para su aplicación referirse a estas normas).

| DESTINO DEL PISO O CUBIERTA   | CV<br>Carga Viva<br>Media | CVa<br>Carga Viva<br>Instantánea | CVm<br>Carga Viva<br>Máxima | OBSERVACIONES      |
|---|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|   | kg/m <sup>2</sup>         | kg/m <sup>2</sup>                | kg/m <sup>2</sup>           |                    |
| <b>a) Habitación</b> (Casas habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares). | <b>80</b>                 | <b>100</b>                       | <b>190</b>                  | <b>1</b>           |
| <b>b) Oficinas, despachos y laboratorios.</b>   | <b>100</b>                | <b>180</b>                       | <b>250</b>                  | <b>2</b>           |
| <b>c) Aulas.</b>  | <b>100</b>                | <b>180</b>                       | <b>250</b>                  |                    |
| <b>d) Comunicación para peatones</b> (Pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público).  | <b>40</b>                 | <b>150</b>                       | <b>350</b>                  | <b>3 y 4</b>       |
| <b>e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales.</b>  | <b>40</b>                 | <b>350</b>                       | <b>450</b>                  | <b>5</b>           |
| <b>f) Otros lugares de reunión</b> (Templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares).                              | <b>40</b>                 | <b>250</b>                       | <b>350</b>                  | <b>5</b>           |
| <b>g) Comercios, fábricas y bodegas.</b>  | <b>0.8CVm</b>             | <b>0.9CVm</b>                    | <b>CVm</b>                  | <b>6</b>           |
| <b>h) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%.</b>   | <b>15</b>                 | <b>70</b>                        | <b>100</b>                  | <b>4 y 7</b>       |
| <b>i) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor de 5%, otras cubiertas, cualquier pendiente.</b>  | <b>5</b>                  | <b>20</b>                        | <b>40</b>                   | <b>4, 7, 8 y 9</b> |
| <b>j) Volados en vía pública</b> (marquesinas, balcones y similares).   | <b>15</b>                 | <b>70</b>                        | <b>300</b>                  |                    |
| <b>k) Garajes y estacionamientos</b> (para automóviles exclusivamente).   | <b>40</b>                 | <b>100</b>                       | <b>250</b>                  | <b>10</b>          |

**CV = Carga Viva Máxima | CVa = Carga Viva Accidental | CVm = Carga Viva Media**

Como podemos observar en la tabla anterior las cargas vivas se encuentran clasificadas en 3 rubros, los cuales se utilizarán para diferentes revisiones estructurales. En el caso de la carga viva máxima su utilización está en función de la evaluación bajo cargas gravitacionales únicamente. La Carga Viva Instantánea o accidental se utiliza en los estados límite referida bajo las acciones de sismo, viento o granizo y la carga viva media es utilizada para efectos de servicio que implican deformaciones a largo plazo.

## OBSERVACIONES

- 1.- Para elementos con área tributaria mayor de 36 m<sup>2</sup>, W<sub>m</sub> podrá reducirse, tomando su valor en kN/m<sup>2</sup> igual a

$$0.60 + 7.8 / \sqrt{A} ; ( 60 + 780 / \sqrt{A} \text{ en kg/m}^2)$$

Donde A es el área tributaria en m<sup>2</sup>. Cuando sea más desfavorable se considerará en lugar de W<sub>m</sub>, una carga de 5 kN (500 kg) aplicada sobre un área de 500×500 mm en la posición más crítica. Para sistemas de piso ligeros con cubierta rigidizante, se considerará en lugar de W<sub>m</sub>, cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 2.5 kN (250 kg), para el diseño de los elementos de soporte y de 1 kN (100 kg), para el diseño de la cubierta, en ambos casos ubicadas en la posición más desfavorable. Se considerarán sistemas de piso ligero aquellos formados por tres o más miembros aproximadamente paralelos y separados entre sí no más de 800 mm y unidos con una cubierta de madera contrachapada, de duelas de madera bien clavadas u otro material que proporcione una rigidez equivalente.

- 2.- Para elementos con área tributaria mayor de 36 m<sup>2</sup>, W<sub>m</sub> podrá reducirse, tomando su valor en kN/m<sup>2</sup> igual a

$$1.1 + 8.5 / \sqrt{A} ; ( 110 + 850 / \sqrt{A} \text{ en kg/m}^2)$$

Donde A es el área tributaria en m<sup>2</sup>. Cuando sea más desfavorable se considerará en lugar de W<sub>m</sub>, una carga de 10 kN (1000 kg), aplicada sobre un área de 500×500 mm en la posición más crítica. Para sistemas de piso ligero con cubierta rigidizante, definidos como en la nota 1, se considerará en lugar de W<sub>m</sub>, cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 5 kN (500 kg), para el diseño de los elementos de soporte y de 1.5 kN (150 kg), para el diseño de la cubierta, ubicadas en la posición más desfavorable.

- 3.- En áreas de comunicación de casas de habitación y edificios de departamentos se considerará la misma carga viva que en el inciso (a), de la tabla.
- 4.- Para el diseño de los pretilas y barandales en escaleras, rampas, pasillos y balcones, se deberá fijar una carga por metro lineal no menor de 1 kN/m (100 kg/m), actuando al nivel de pasamanos y en la dirección más desfavorable.
- 5.- En estos casos deberá prestarse particular atención a la revisión de los estados límite de servicio relativos a vibraciones.
- 6.- Atendiendo al destino del piso se determinará con los criterios de la sección 2.2 la carga unitaria, W<sub>m</sub>, que no será inferior a 3.5 kN/m<sup>2</sup> (350 kg /m<sup>2</sup>), y deberá especificarse en los planos estructurales y en placas colocadas en lugares fácilmente visibles de la edificación.
- 7.- Las cargas vivas especificadas para cubiertas y azoteas no incluyen las cargas producidas por tinacos y anuncios, ni las que se deben a equipos u objetos pesados que puedan apoyarse en o colgarse del techo. Estas cargas deben preverse por separado y especificarse en los planos estructurales. Adicionalmente, los elementos de las cubiertas y azoteas deberán revisarse con una carga concentrada de 1 kN (100 kg), en la posición más crítica.
- 8.- Además, en el fondo de los valles de techos inclinados se considerará una carga debida al granizo de 0.3 kN (30 kg), por cada metro cuadrado de proyección horizontal del techo que desagüe hacia el valle. Esta carga se considerará como una acción accidental para fines de revisión de la seguridad y se le aplicarán los factores de carga correspondientes según la sección 3.4.
- 9.- Para tomar en cuenta el efecto del granizo, W<sub>m</sub> se tomará igual a 1.0 kN/m<sup>2</sup> (100 kg/m<sup>2</sup>), y se tratará como una carga accidental para fines de calcular los factores de carga de acuerdo con lo establecido en la sección 3.4. Esta carga no es aditiva a la que se menciona en el inciso (i) de la tabla y en la nota 8.
- 10.- Más una concentración de 15 kN (1500 kg), en el lugar más desfavorable del miembro estructural de que se trate.

La carga viva media se utiliza para revisar el estado límite de servicio, la carga viva instantánea se utiliza para revisar el estado límite de falla en condiciones de fuerzas accidentales y la carga viva máxima se utiliza para revisar el estado límite de falla únicamente por fuerzas gravitacionales.

## Cargas Accidentales.

Estas cargas son el producto de diferentes situaciones de la naturaleza, tales como el viento, el sismo, huracanes, variación de temperatura, acumulación de residuos, granizo, etc. La revisión de estas condiciones se realiza de acuerdo a las especificaciones del código vigente de la región o bien de lo que establezca el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad.

## Cargas Dinámicas.

Estas cargas pueden considerarse desde la presencia de equipos de precisión, grúas viajeras, vehículos o líneas de producción, sin embargo, la valoración de la magnitud de las fuerzas depende en la mayoría de los casos de los proveedores de estos equipos, y se deberán considerar como una carga viva máxima.

## Cargas Mínimas.

De no ser aplicable ningún reglamento de construcción en la localidad de la obra, las cargas mencionadas anteriormente no serán menores que las especificadas en el manual de obras civiles de la comisión federal de electricidad o lo que se establezca en el código ASCE en una su versión más reciente.

## 2.3. ¿QUÉ ES LO QUE SE PUEDE HACER?

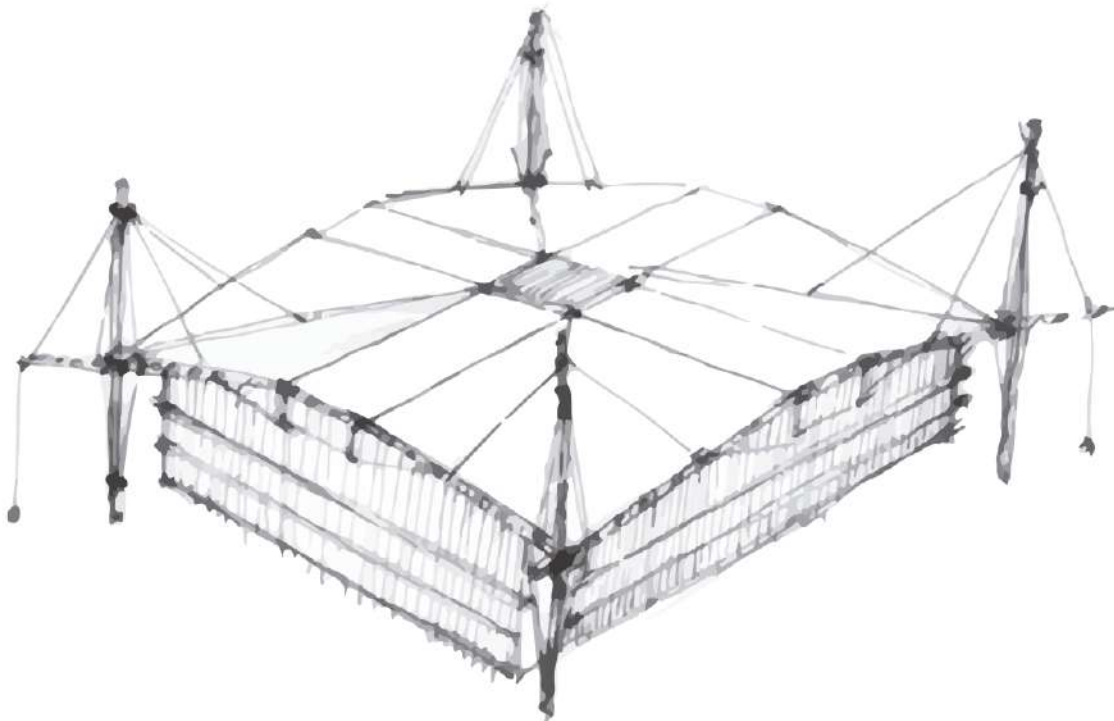


Imagen de Foster Associates.

### 2.3.1 Normatividad y limitaciones.

Existen 2 métodos de diseño que tienen un razonamiento distinto uno de otro, el AISC en su versión 2005 unificó ambos métodos, a continuación se muestra la calibración desarrollada para contener en una sola especificación ambos razonamientos tanto métodos ASD=DEP como LRFD=DFCR.

## LRFD O ASD

A continuación presentaremos cuando utilizar LRFD O ASD:

Suponiendo:

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| <b>CV/CM = 3</b>    | <b>Cualquier método.</b>         |
| <b>CV/CM &gt; 3</b> | <b>Más económico método ASD</b>  |
| <b>CV/CM &lt; 3</b> | <b>Más económico método LRFD</b> |

Para el método ASD

Para el método LRFD

$$R_n / \Omega > CM + CV$$

$$\phi R_n > 1.2 CM + 1.6 CV$$

Asumiendo que **CV/CM = 3**

Entonces **CV = 3CM**

$$R_n / \Omega > CM + 3CM$$

$$\phi R_n > 1.2 CM + (1.6) 3CV$$

$$R_n / \Omega > 4CM$$

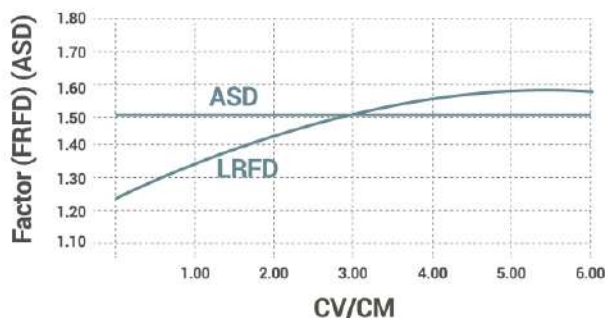
$$\phi R_n > 6 CV$$

$$R_n / CM = 4\Omega$$

$$R_n / CM = > 6 \phi$$

Igualando

$$4\Omega = 6 / \phi \rightarrow \Omega = 6 / 4 \phi = 3 / 2 \phi$$



|          |             |             |
|----------|-------------|-------------|
| $\phi$   | <b>0.90</b> | <b>0.75</b> |
| $\Omega$ | <b>1.67</b> | <b>2.00</b> |

**LRFD o ASD**

## Combinaciones de carga utilizadas en México.

- 1) 1.4CM + 1.4CVm en estructuras grupo B
- 2) 1.5CM + 1.5CVm en estructuras grupo A
- 3) 1.1CM + 1.1Cva ± 1.1Sx ± 0.3Sz
- 4) 1.1CM + 1.1Cva ± 0.35x ± 1.1Sz
- 5) 1.1CM + 1.1Cva ± 1.1Vx ± 0.3Vz
- 6) 1.1CM + 1.1Cva ± 0.3Vx ± 1.1Vz
- 7) 0.9CM - 1.1(S ó V) Cuando hay volteo
- 8) 1.1CM + 1.1Cva + 1.1G
- 9) CM + CV Revisión de flechas

Donde:

- CM = Carga Muerta
- CVm = Carga Viva máxima
- CV = Carga Viva media
- Cva = Carga Viva accidental
- Sx = Sismo en la dirección X
- Sz = Sismo en la dirección Z
- Vx = Viento en la dirección X
- Vz = Viento en la dirección Z
- G = Granizo

*Nota: Estas combinaciones de carga son las más comunes, pero no quiere decir que sean las únicas que se pueden presentar en una estructura.*



## Combinaciones de Carga Utilizadas en E.U.A. según ASCE.

Las combinaciones de carga requeridas por el código son:

### Según DEP.

- 1) D
- 2) D + L
- 3) D + 0.75L + 0.75W
- 4) 0.6D + 0.7E

### Según DFCR:

- 1) 1.4D
- 2) 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr ó S ó R)
- 3) 1.2D + 1.6(Lr ó S ó R) + (0.5L ó 0.8W)
- 4) 1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(Lr ó S ó R)
- 5) 1.2D + 1.5E + (0.5L ó 0.2S)
- 6) 0.9D - (1.3W ó 1.5E) Cuando hay volteo

Donde:

- D = Carga Muerta.
- L = Carga Viva.
- Lr = Carga Viva en techos.
- S = Carga de nieve
- R = Carga inicial de agua o lluvia sin incluir encharcamiento.
- W = Viento.
- E = Sismo.

### Los códigos de diseño estructural empleados en México son:

- RC – DF – 2004 Reglamento de construcciones para el D.F.
- NTC – 2004 Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas.
- IMCA Instituto Mexicano de la Construcción en Acero.
- CFE – 2009 Manual de Diseño de Obras Civiles (viento y sismo).
- NOM Norma Oficial Mexicana de la D.G.N. (Dirección General de Normas).
- NMX Norma Mexicana.
- ASTM American Society of Test and Materials.

### Los códigos de diseño estructural empleados en E.U.A. son:

- American National of Specification Institute "ANSI" (avala la calidad de los reglamentos).
- American Society of Civil Engineers "ASCE".
- American Society of Test and Materials "ASTM".
- American of Welded Society "AWS-96".
- Consejo de Investigaciones sobre Conexiones Estructurales, surgió después del sismo de Nortich California.
- Especificaciones para Diseño por Factores de Carga y Resistencia de Uniones Estructurales con Tornillos ASTM A325 ó A490 en 1988.
- Especificaciones para Diseño por Factores de Carga y Resistencia de Miembros de Acero Formados en Frío 1996, American Institute of Steel And Iron "AISI".
- Código de Prácticas generales para edificios de Acero y Puentes. American Institute of Steel Construction "AISC".
- "UBC-97" Uniform Building Code-96. Es un reglamento que se utiliza en toda la unión americana, tomando en cuenta todo tipo de estructuras y regula las solicitaciones.

## 2.3.2 COSTOS

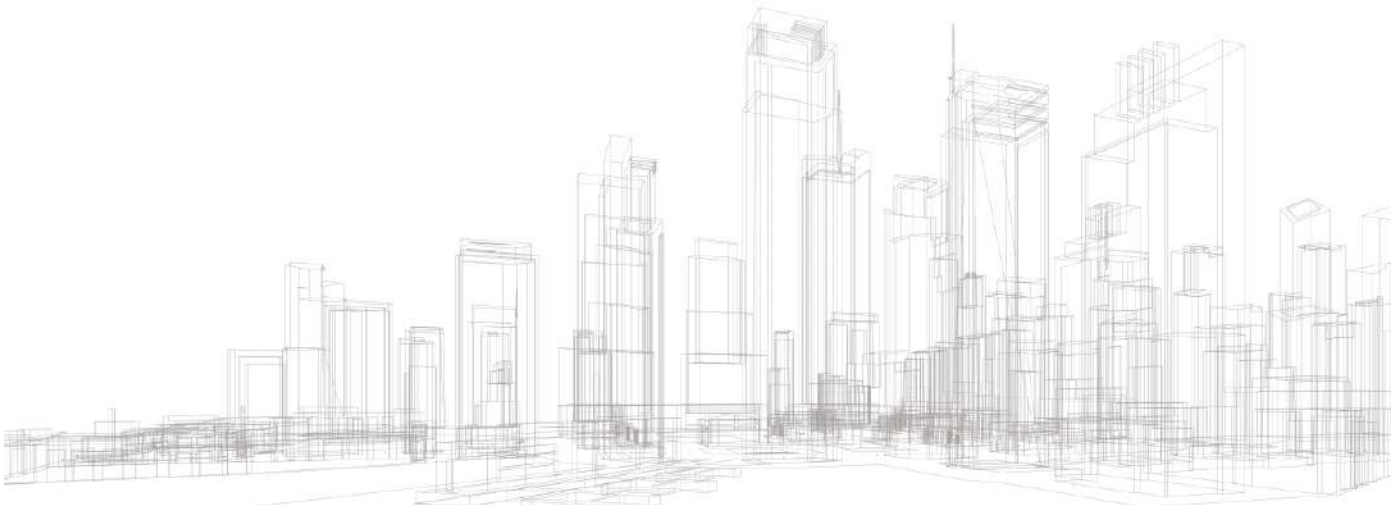
Una solución puede ser técnicamente adecuada, pero, puede presentar un alto costo de ejecución. Los costos dependen del mercado de los materiales y de la oferta en la mano de obra. Las soluciones más económicas pueden variar dependiendo del lugar y de su situación económica. (Ver artículo técnico ¿Cuándo construir en acero? De GERDAU CORSA).

De este modo, para escoger una buena alternativa estructural, es necesario balancear estos parámetros. Una estructura más ligera puede tener un alto costo de mano de obra. El costo de mano de obra sobre las piezas industrializadas tiene una sensible reducción debido a la repetición de piezas.

## 2.3.3 Ejecución.

Definir la metodología, el dimensionamiento de los elementos y la experiencia de los profesionales que trabajan en equipo para la ejecución de las obras, es algo que depende de la ubicación, presupuesto y tiempo disponible. Esto puede ser el resultado del proyecto estructural y los materiales adoptados.

| CARACTERÍSTICAS  | MADERA      | CONCRETO | ACERO      | ACERO INOX | ALUMINIO |
|--|-------------|----------|------------|------------|----------|
| <b>Resistencia a agresiones climáticas</b>               | media       | buena    | media      | media      | óptima   |
| <b>Confiabilidad del material</b>                        | mala        | buena    | óptima     | óptima     | óptima   |
| <b>Disponibilidad</b>                                    | media       | óptima   | óptima     | buena      | buena    |
| <b>Rapidez de ejecución</b>                              | buena       | media    | óptima     | óptima     | óptima   |
| <b>Densidad</b> <i>kg/m<sup>3</sup></i>                  | 600 a 1,200 | 2,400    | 7,850      | 7,920      | 2,770    |
| <b>Resistencia</b> <i>kgf/cm<sup>2</sup></i>             | 130         | 400      | 3,450      | 2,800      | 3,200    |
| <b>Módulo de elasticidad</b> <i>kgf/cm<sup>2</sup></i>   | 165,000     | 250,000  | 20,500,000 | 19,300,000 | 700,000  |
| <b>Coefficiente de dilatación</b> <i>10<sup>-6</sup></i> |             | 10       | 11.7       | 17.3       | 22.5     |





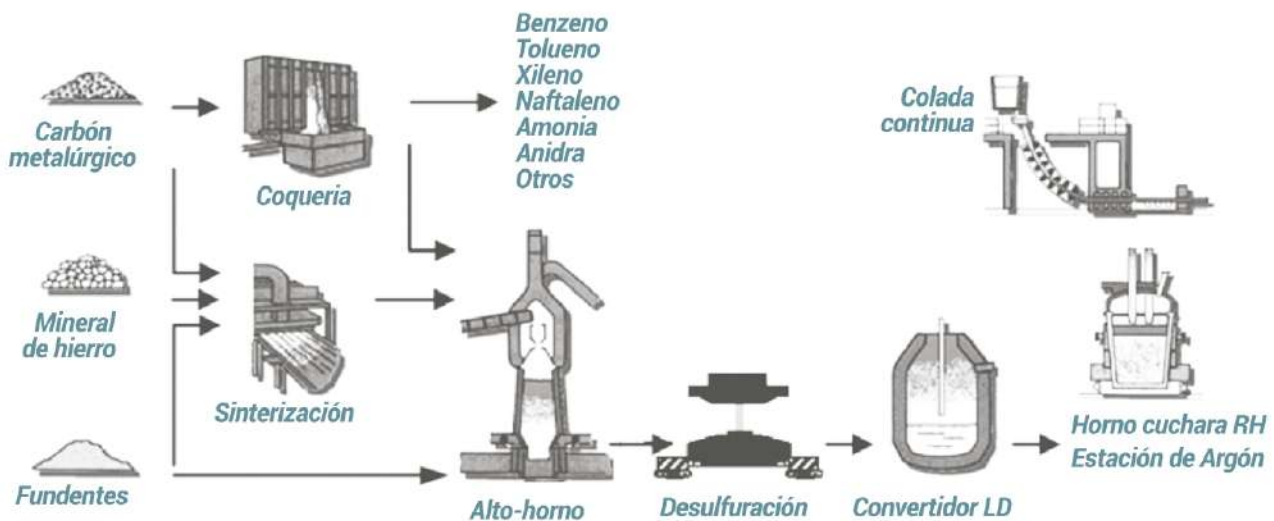
# 3 EL PROYECTO EN ACERO

Para desarrollar el proyecto estructural deberán estar definidas las variables arquitectónicas que van desde la elección del sistema estructural más conveniente hasta la elección del material que se va a construir.

## 3.1 EL ACERO

### 3.1.1 Descripción del material.

El hierro se encuentra en la naturaleza generalmente en forma de óxidos. Todo el proceso siderúrgico se trató en la "elección del tipo de acero para estructuras".



### 3.1.2 Sustentabilidad.

"El desarrollo sustentable significa atender las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades" (World Comission On Environment Development WCED 1987).

Todas las construcciones impactan en el medio, consumiendo energía, recursos naturales, agua tratada y aumentando la contaminación.

Para los arquitectos, ingenieros, empresarios y constructores es importante estudiar las consecuencias de sus proyectos a largo plazo:

- *Haciendo buenos proyectos arquitectónicos*
- *Optimizando el uso de la energía*
- *Utilizando materiales reciclables*
- *Incentivando nuevas tecnologías*
- *Disminuyendo los desperdicios*
- *Innovando*

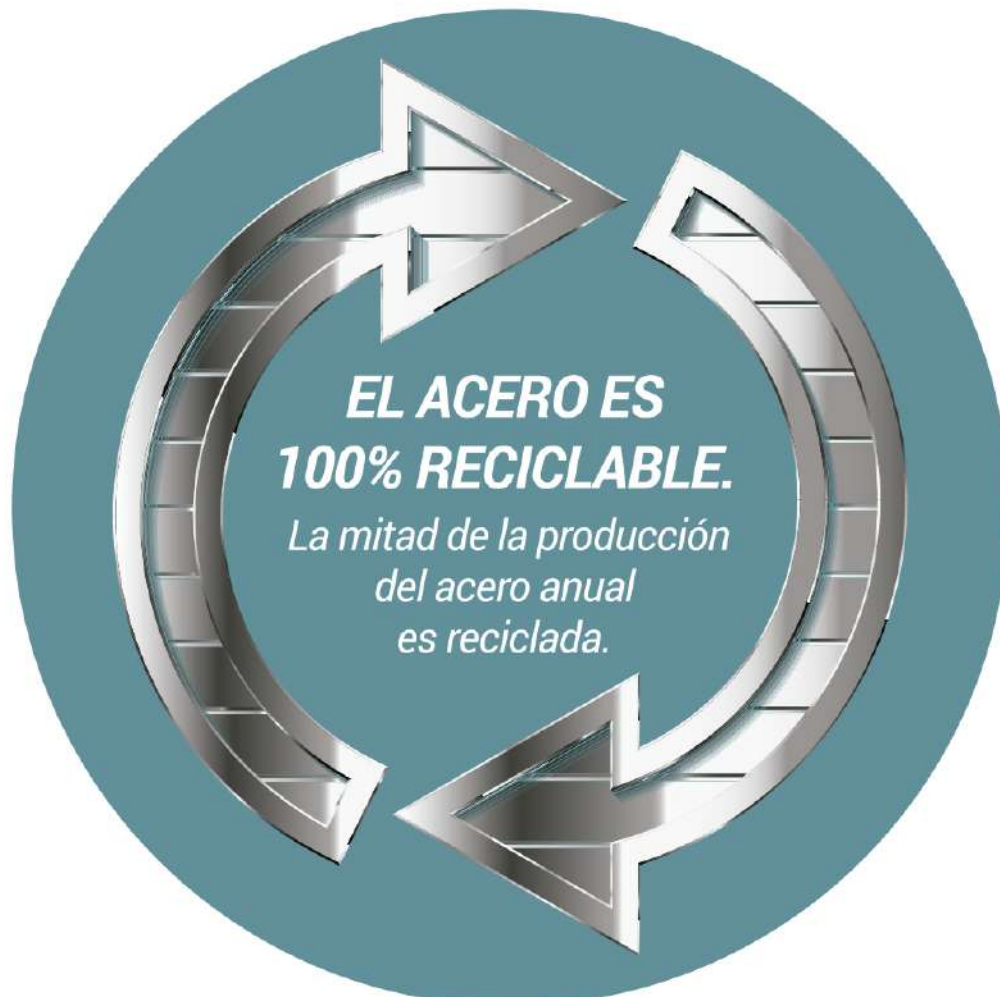
Un asunto que se descuida mucho, es el reaprovechamiento de las construcciones después de los 50 años de vida prevista.

En las construcciones que se desarrollan en acero las opciones son:

- *Reestructurar la construcción en lugar de demolerla*
- *Desmontar y reutilizar los componentes*
- *Desmontar reciclando el material*

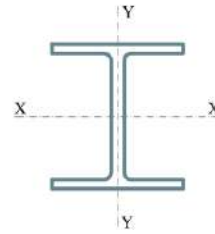
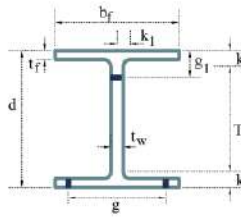
Acero, una elección natural de sustentabilidad.

- *Es uno de los materiales más abundantes en la tierra*
- *La energía consumida es generada*
- *El proceso de producción es controlado y no contamina la atmósfera*
- *Consumo 41% menos agua en su proceso a diferencia que el concreto*
- *Todos los componentes que se generan en la producción son aprovechados*
- *La fabricación de estructuras elimina los desperdicios en la obra, ya que el proceso es industrializado*
- *El menor peso de las estructuras de acero permite que las cimentaciones sean de menores dimensiones, disminuyendo el impacto de las mismas en el suelo*
- *La rapidez en el montaje, reduce el impacto en la comunidad local*
- *Permite librar grandes claros, fachadas y cubiertas que facilitan la utilización de la energía solar*
- *Sus desperdicios tienen un alto valor agregado*
- *El proceso de reciclado es simple y eficiente*

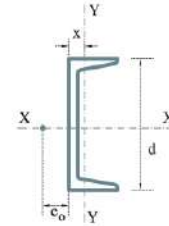
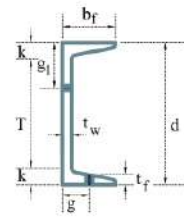


### 3.1.3 Perfiles de acero laminados en caliente.

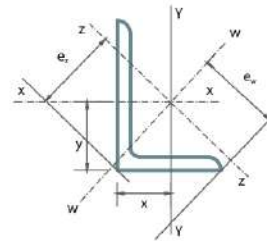
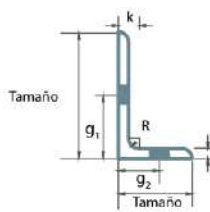
Los perfiles I, CE, LI, LD, SOL, OS, CS, son perfiles laminados en caliente obtenidos por los procesos de producción antes mencionados. Los perfiles de GERDAU CORSA siguen las normas ASTM A6/A 6M y existe una gran variedad de medidas (Tablas de Dimensiones y Propiedades de GERDAU CORSA).



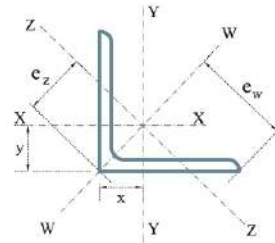
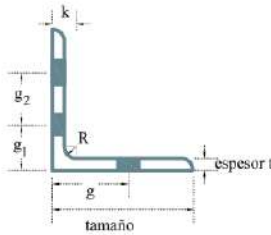
**PERFIL IR**



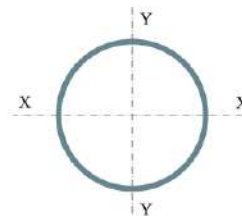
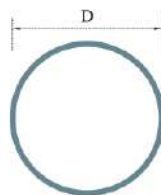
**CANAL CE**



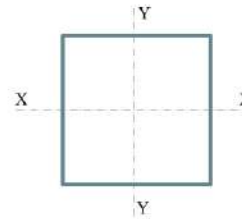
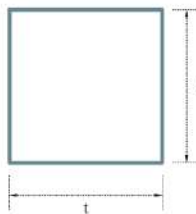
**ÁNGULO LD**



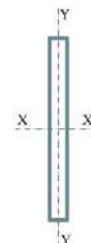
**ÁNGULO LI**



**REDONDO OS**



**CUADRADO CS**

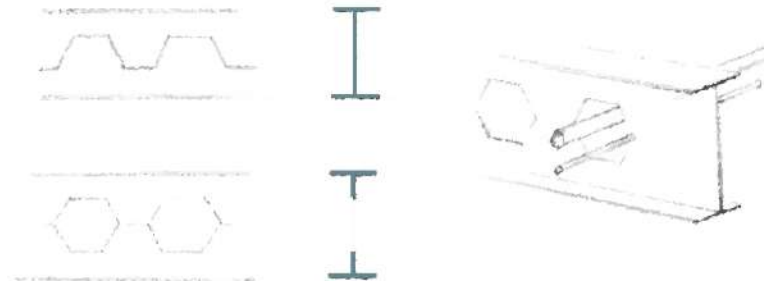


**SOLERA SOL**

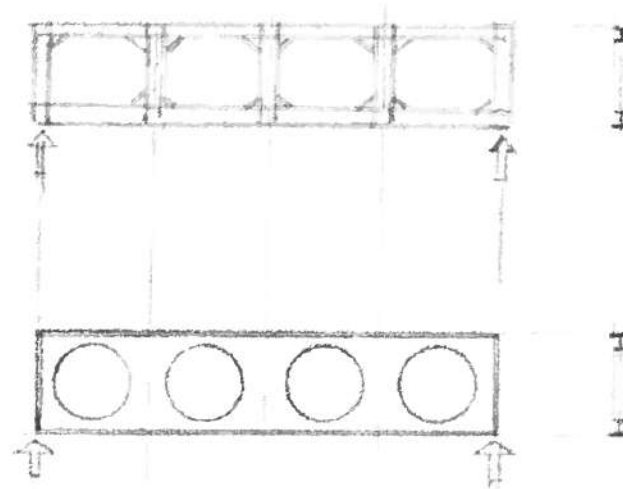
### 3.1.4 Soluciones especiales.

En ocasiones en los perfiles se pueden desarrollar agujeros, sin embargo es necesario que sean compatibles con la sección de las vigas. Cuando no existe una solución para situaciones muy particulares, es ideal que se opte por perfiles castelados, vigas Vierendel o perfiles celulares.

Su razón de ser es que aumenta las inercias, optimizando claros y reduciendo el peso de las estructuras, además de ser útiles para el paso de conexiones.



**Perfiles Castelados**



**Vigas Vierendel y Perfiles Celulares**

### Recomendaciones generales para la estructuración de edificios de acero.

- *Poco peso*
- *Sencillez, simetría y regularidad en planta*
- *Plantas poco alargadas con una relación largo/ancho <2.5*
- *Uniformidad de rigidez en elevación*
- *Hiperestaticidad*
- *Que se desarrollen articulaciones plásticas en miembros horizontales según el concepto de columna fuerte y trabe débil*
- *Que las propiedades dinámicas de la estructura se adecue en función de las propiedades dinámicas del terreno*

## Pretensado.

Es la técnica de introducir un elemento estructural, con un esfuerzo controlado, con características contrarias a los esfuerzos a los que estará sometido en su condición de trabajo, compensando su situación crítica.

El pretensado es hecho a través de cables de acero, similares a las barras, externa e internamente, pretensados por macacos (grandes cargas), estirados (pequeñas cargas) o por las propias cargas actuantes, como el caso del vagonamiento.

*Viga Vagonada*



*Viga Pretensada*







## 3.2 EL PROYECTO

### 3.2.1 El nacimiento del proyecto.

*Es solo una etapa,  
que sigue la intención de la forma,  
que sigue la elección del proyecto,  
que sigue el concepto.*

Es importante que en el proyecto de la estructura en acero ya comience a ser pensado con el concepto del material: el objeto formado por el diseño de los bordes, las líneas, la permeabilidad de la mirada, la retícula y la clareza en la intención de los detalles.

La estandarización de piezas es un concepto muy importante, pues como todo sistema industrializado es repetitivo, reduce los costos.

Decidir si la estructura es aparente o revestida, hace que el arquitecto piense en los pros y contras de cada opción. La estructura aparente puede mostrar la plasticidad del acero, sin embargo demandará protección del mismo (contra corrosión y fuego). En la estructura revestida el acero cumple su papel de esqueleto y minimiza los costos de protección.

### 3.2.2 Ventajas del uso del acero.



**Construcciones altas**

**Modulación y precisión**



**Estructura sustentable**

**Estética arquitectónica**



**Espacios eficientes**

**Rápida construcción**



**Estructuras ligeras,  
seguras ante eventos sísmicos**

**Remodelaciones y ampliaciones**



### 3.2.3 Construcción industrializada.

En la construcción que contiene elementos prefabricados que son hechos en industrias especializadas que garantizan la calidad de los componentes, transforman la construcción en un local de montaje.

Pensando en una obra como el conjunto de un todo, la racionalización de materiales y mano de obra, la agilidad en la ejecución con una planeación bien desarrollada en la logística y bajísimos índices de desperdicios, son ventajas importantes ofrecidas por la construcción industrializada.

La estructura es una parte importante de la obra, que se completa con los paneles de fachadas, paneles internos, instalaciones, equipamiento, marcos, etc.

El uso de losas prefabricadas, losas pretensadas, los acero (steel deck), pueden prescindir de apuntalamiento, permiten una buena nivelación, puede eliminar la necesidad de revestimientos y permite el trabajo en conjunto con las vigas metálicas (vigas de sección compuesta).

Para el cierre de la obra, los paneles metálicos y de yeso acartonado permiten rapidez en su instalación, fácil incrustación de tuberías, buena calidad en los acabados y adaptación de layouts.

Los paneles de fachadas permiten mejor previsión de los detalles en la interacción con la estructura y los marcos y en la estandarización de los acabados.

También existen baños prefabricados que agilizan el montaje y minimizan los problemas de acabados, instalaciones, impermeabilización y en referencia con las tuberías flexibles eliminan los problemas con las conexiones.

La composición de estos elementos proporciona mucha más rapidez en la conclusión de una obra y el retorno financiero más rápido.

### 3.2.4 Fachadas.

Las fachadas pueden ser de paneles prefabricados, placas, albañilería vinculada o no a la estructura.

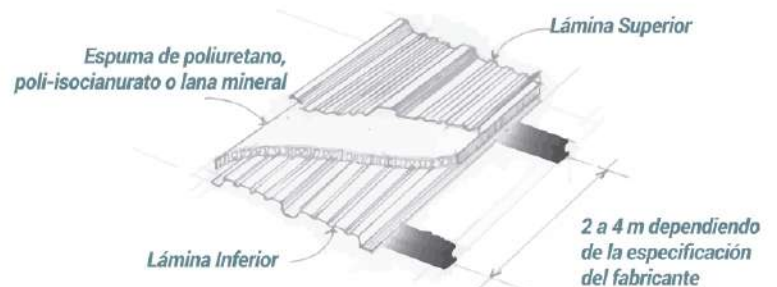
### 3.2.5 Cubiertas.

- *Gran parte del confort térmico y acústico de la obra, está ligado al proyecto de la cubierta.*
- *La respiración de un techo se hace a través de las telas.*
- *Las cubiertas inclinadas muy pequeñas exigen total ventilación, impidiendo la salida del aire caliente a través de las grietas de los techos.*
- *Más allá de las alternativas formales, las pequeñas aberturas junto a las fachadas permiten la salida del aire sin el riesgo de que exista infiltración.*
- *El calentamiento del techo, más allá de las recomendaciones en función del tipo de piso, debe tomar en cuenta el tamaño de las pendientes de la cubierta.*
- *El canalón puede ser predimensionado con alguna fórmula empírica: para cada 10m<sup>2</sup> de cubierta, el canalón será de 15 cm<sup>2</sup>.*
- *Para los tubos de las bajadas de agua pluvial el área será de 1cm<sup>2</sup> para cada m<sup>2</sup> de agua drenada.*

#### Lámina de Acero para Cubiertas



#### Cubiertas Termoacústicas



### 3.2.6 Corrosión.

Todos los metales y aleaciones utilizados en las estructuras son susceptibles a la corrosión. La intensidad de este ataque depende, entre otros, de las condiciones ambientales y de la composición química de la aleación.

La corrosión atmosférica de los aceros al carbono es un proceso electroquímico que depende básicamente de tres parámetros: agua, oxígeno y corriente eléctrica, que fluye de la liberación de electrones. La limpieza de la superficie, la aplicación de pinturas de recubrimiento y acabado, correctamente especificados retardan y evitan el proceso de corrosión.

Un programa de mantenimiento consistente permite que las estructuras se encuentren en perfecto estado.

### 3.2.7 Tratamiento de superficie y revestimientos.

Antes de recibir cualquier sistema de protección, el acero debe pasar por una limpieza que remueva de su superficie aceites, grasas, polvos, oxidación suelta y cascarilla.

Normalmente esta limpieza es hecha por un chorro abrasivo (arenilla y arena), o por un proceso manual. Los principales tipos de revestimiento son:

- *Contra la corrosión: pintura y galvanización*
- *Contra fuego: materiales proyectados, placas de yeso acartonado, pintura intumescente*

### 3.2.8 Estructuras compuestas.

Es la asociación de acero con concreto como se obtiene una pieza compuesta, con las mejores características mecánicas de cada uno de los materiales. En el caso de acero es muy resistente a los esfuerzos de tensión, caso contrario con el concreto el cual tienen mejor comportamiento a la compresión.

Cumplen etapas diferentes a lo largo de su proceso de consolidación.

El acero tiene desde su producción, forma y resistencia definidas, esto no ocurre con el concreto, este depende del proceso de curado para que su forma y resistencia estén bien definidas. Su capacidad también depende del armado, tanto para aumentar su resistencia como para disminuir la propagación de grietas.

El proyecto de estructuras compuestas debe, por lo tanto, ser elaborado considerando 3 fases:

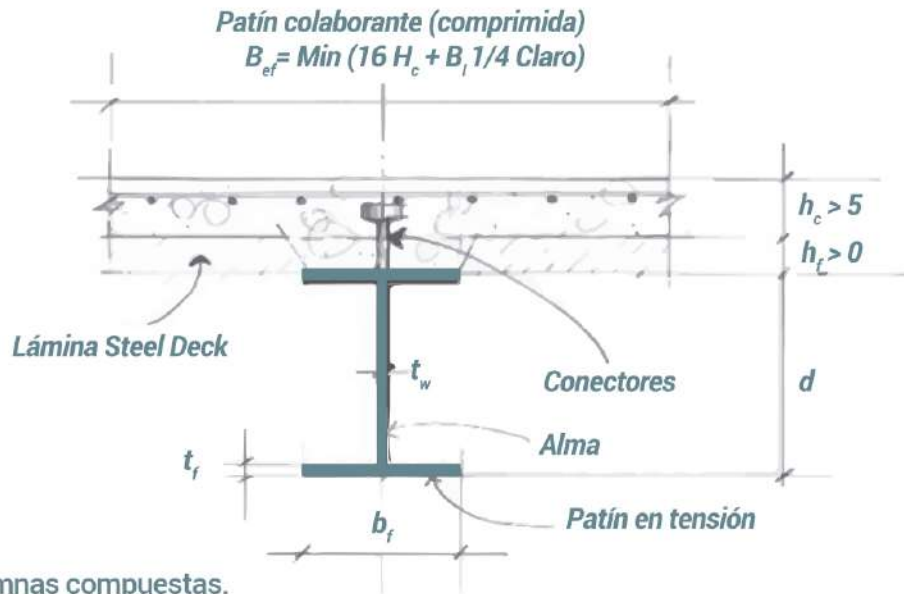
1. *Montaje y lanzamiento del concreto = Situación en que el acero trabaja por sí solo, antes del curado del concreto, siendo el responsable por el peso propio de la estructura y las cargas de la obra.*
2. *Resistencia de la estructura compuesta = situación en las que trabajan en conjunto el acero y el concreto.*
3. *Deformación de la estructura compuesta para las cargas de larga duración = Situación en la que se lleva en contra el efecto de la pérdida de la elasticidad del concreto a lo largo del tiempo.*

### Vigas compuestas.

Es la asociación de una parte de la losa y el patín superior de la viga de acero. Habrá un sensible aumento en la capacidad de la viga, y naturalmente una reducción en las deformaciones, que resulta en un ahorro de peso en las vigas de acero hasta en un 30%.

De la misma manera, esta viga estará soportada lateralmente en la parte comprimida, lo que impedirá su pérdida de estabilidad.

La vinculación entre la losa de concreto y la viga es hecha con conectores, piezas metálicas soldadas al patín superior con un espaciamiento pequeño (del orden de 20 a 50 cm), que impiden el desplazamiento del concreto en relación al acero, obligándolos a trabajar en conjunto.



### Columnas compuestas.

Son piezas compuestas que buscan aprovechar la capacidad del concreto en compresión asociada a la capacidad y esbeltez del acero. Este trabajo es garantizado por la utilización de conectores que eliminan el deslizamiento en las superficies de contacto.

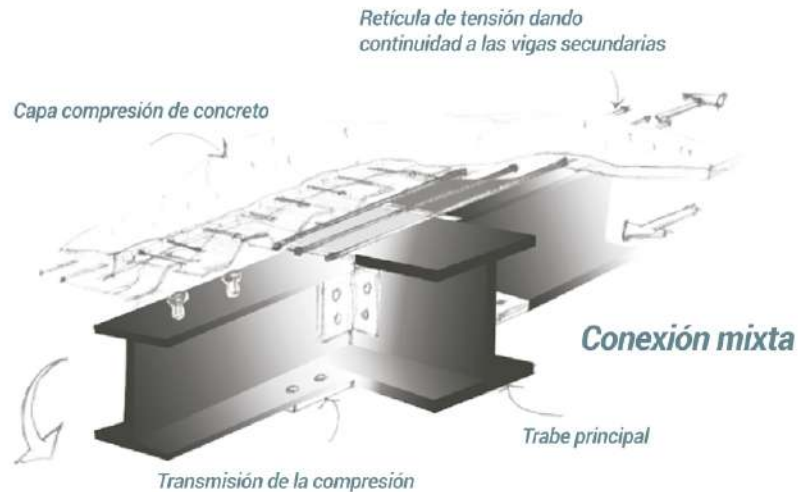
Una de las ventajas de utilizar columnas compuestas es proporcionar la protección contra fuego.

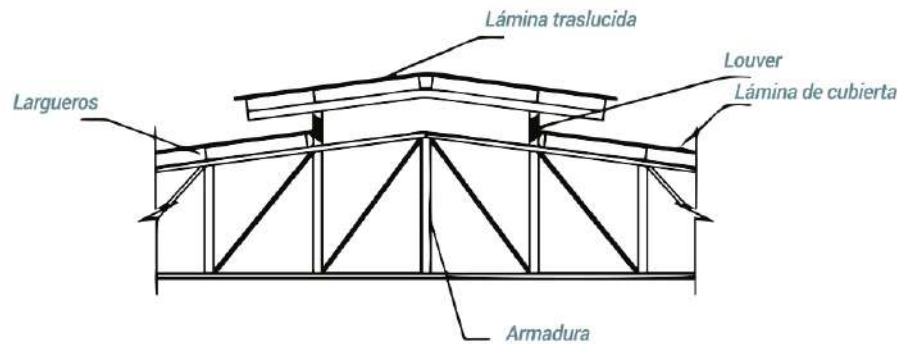


### Conexiones compuestas.

La necesidad del armado en las losas de concreto, permite la posibilidad de otros tipos de asociación acero-concreto, como en conexiones compuestas.

En este tipo de conexión la losa participa en la transmisión de los esfuerzos de los momentos flectores de las vigas, permitiendo la continuidad sobre los apoyos. En este caso el armado de la losa es reforzada, a manera de absorber las tensiones.





### Ventilación.

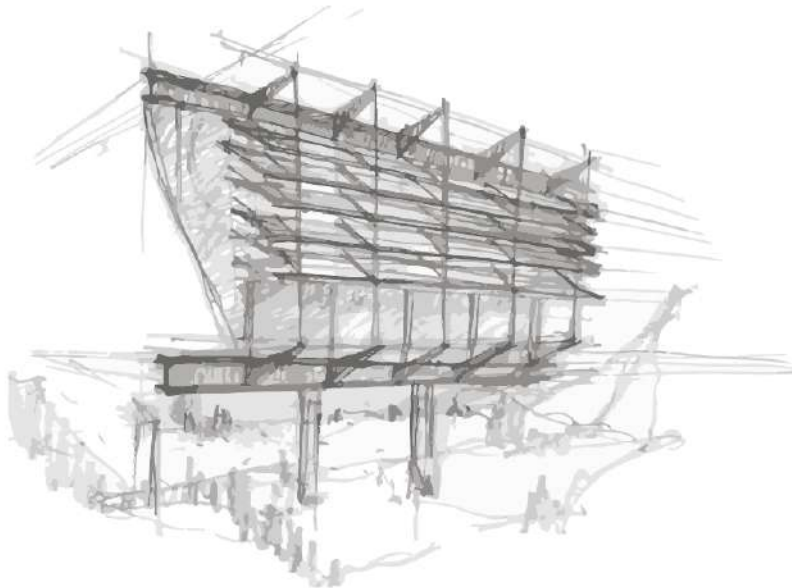
En el planteamiento de la ventilación se debe considerar el aprovechamiento máximo de los vientos predominantes. El aire se mueve por el cambio de presión y las diferencias de temperatura. Un estudio sobre las aberturas de entradas de aire y espacios de salida, son los obstáculos que permiten dirigir la ventilación para interior de la construcción.

La ventilación puede ocurrir:

- *Naturalmente por ventanas, persianas o linternas*
- *Naturalmente por convección de vitrinas eólicas*
- *Artificialmente por convección directa como ventiladores*
- *Artificialmente por radiadores alimentados en sistemas de fachadas*
- *Artificialmente por ductos de aire acondicionado*

### Confort térmico.

El confort térmico depende de la renovación del aire. Una combinación de materiales aislantes adoptados en los elementos de ventilación con materiales permeables en el sistema de ventilación permite la circulación natural del aire. También son muy útiles los sistemas de brises o tratar de sombrear en áreas con gran insolación.



Viento dominante o brisa

### Utilidades.

Así como los puntos que ya se trataron, otros elementos constantes en una edificación tendrán interacción con la estructura. Tuberías hidráulicas, ductos de ventilación, conductores eléctricos, elementos de automatización, iluminación, protección de incendio, entre otros; van a precisar la sustentabilidad, el espacio para caminar y el acceso para el mantenimiento.

Todo en el mismo lugar entre el volumen y el espacio arquitectónico, entre lo oculto y la estética.

La mejor solución es la coordinación entre los proyectos complementarios. La elección conjunta del paso de tuberías, posición de los puntos de iluminación de acceso, deben llevar una solución armónica con la estructura.

### 3.3 PROYECTO ESTRUCTURAL

#### 3.3.1 Tipología estructural.

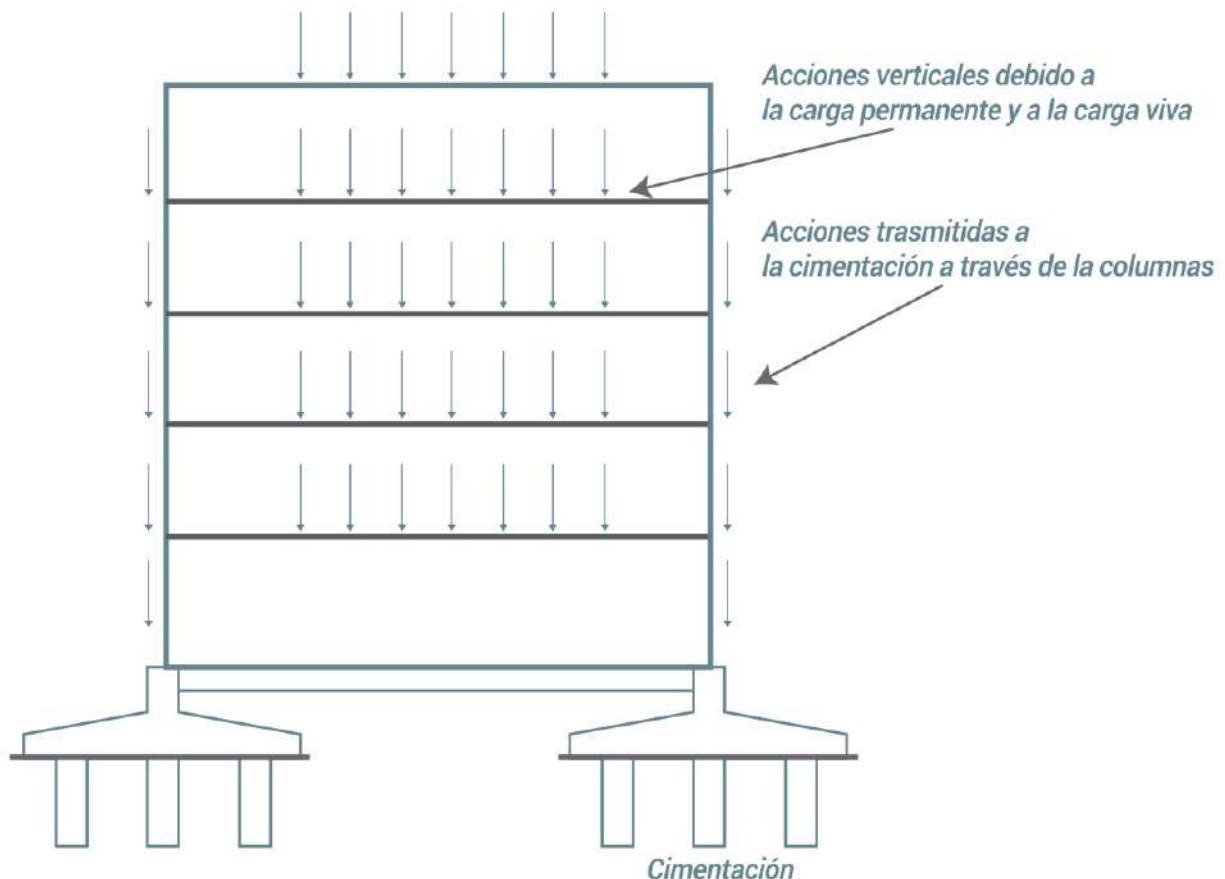
Si hablamos de una estructura a base de marcos rígidos ortogonales entenderemos que estará compuesto de vigas, traveses y columnas de manera general, además de todas las conexiones que constituyen la estructuración y que dan respuesta a la estructura para las distintas solicitaciones.

Como ya dijimos existen cargas gravitacionales tanto permanentes como variables, estas cargas son las que están en función de la ocupación de los inmuebles. Los elementos secundarios en las estructuras llamados vigas o largueros son los que son capaces de soportar los sistemas de piso, cuales quiera que sean estos pisos las vigas o largueros se encargan de transmitir dicha carga a las traveses, es decir, estos elementos secundarios solo estarán conectados a las traveses que forman parte de los marcos. Estos elementos no forman parte del marco resistente principal, sino, únicamente de los sistemas de piso que se trasladarán a dichos marcos.

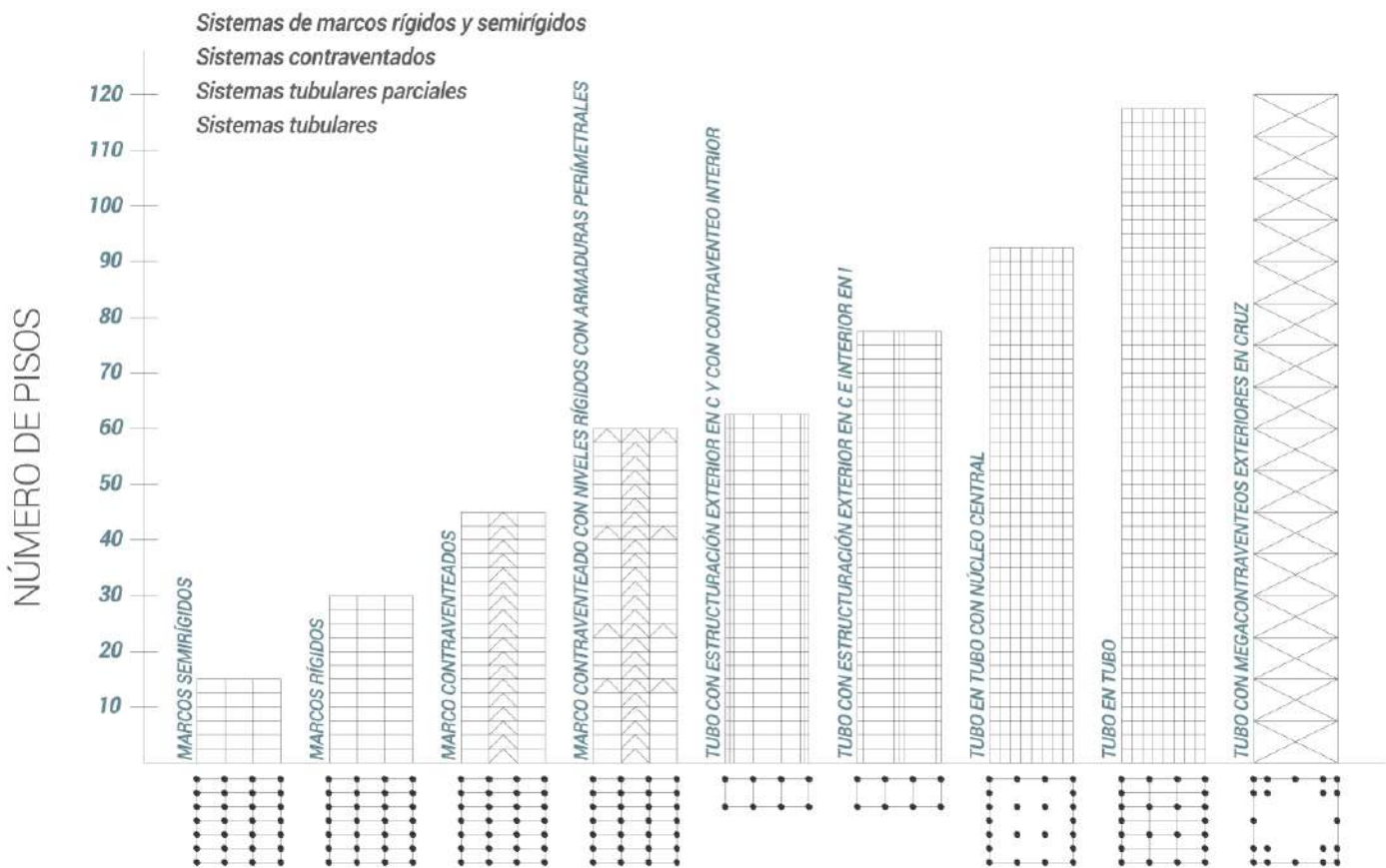
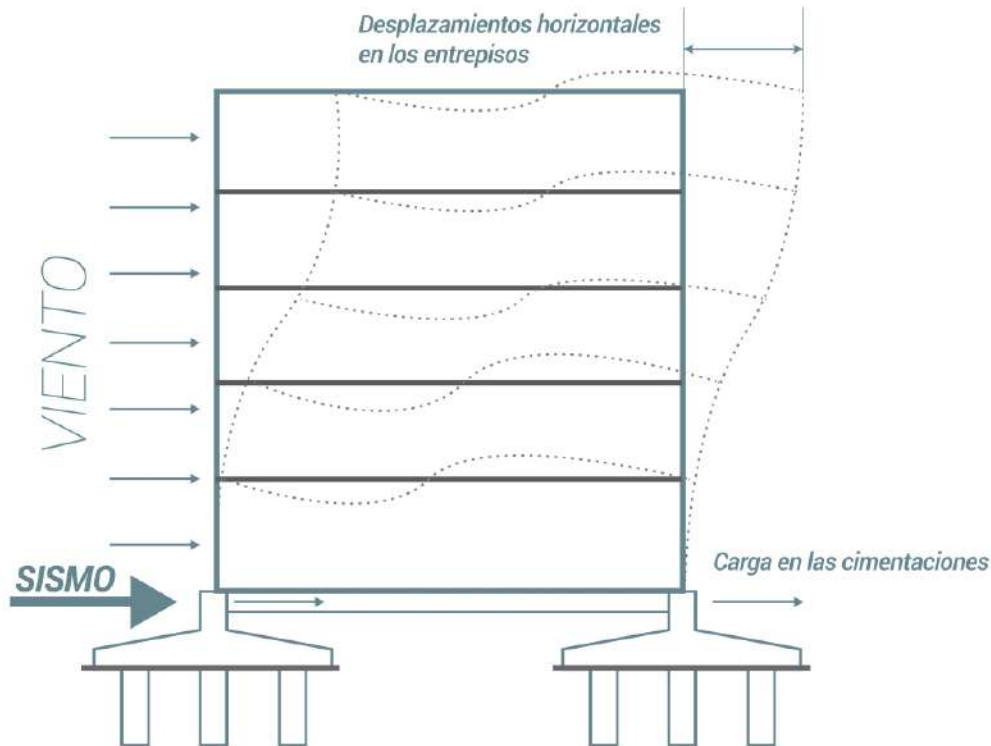
Las traveses, son los elementos principales que reciben los sistemas de losas o pisos y que forman parte de los marcos principales ya que se encuentran conectadas (parcial o totalmente restringida), a las columnas.

Las columnas son los elementos principales colocados generalmente en posición vertical capaces de absorber todas las cargas producidas por traveses y sistemas de pisos completos y que traslada dicha carga hasta la cimentación.

A continuación, se muestra de manera general una sección de un edificio convencional donde se ejemplifica lo mencionado en los puntos anteriores.



Por otro lado, la estructura estará sometida a cargas producidas por efectos de la naturaleza, por lo que el comportamiento de la estructura global difiere un poco, sin embargo, el funcionamiento antes mencionado aplica del mismo modo.



**SISTEMAS ESTRUCTURALES PARA EDIFICIOS DE ACERO DE ACUERDO AL NÚMERO DE NIVELES**

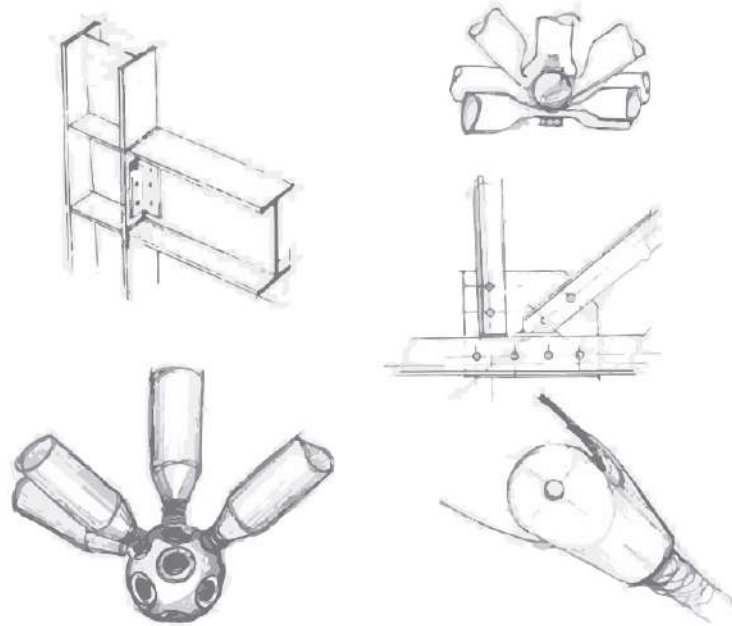


## Elementos estructurales.

Como la geometría, la estructura parte de algunos elementos básicos, cuya combinación ordenada genera sistemas. Su analogía es tal, que usamos los elementos geométricos en la representación gráfica de los elementos estructurales.

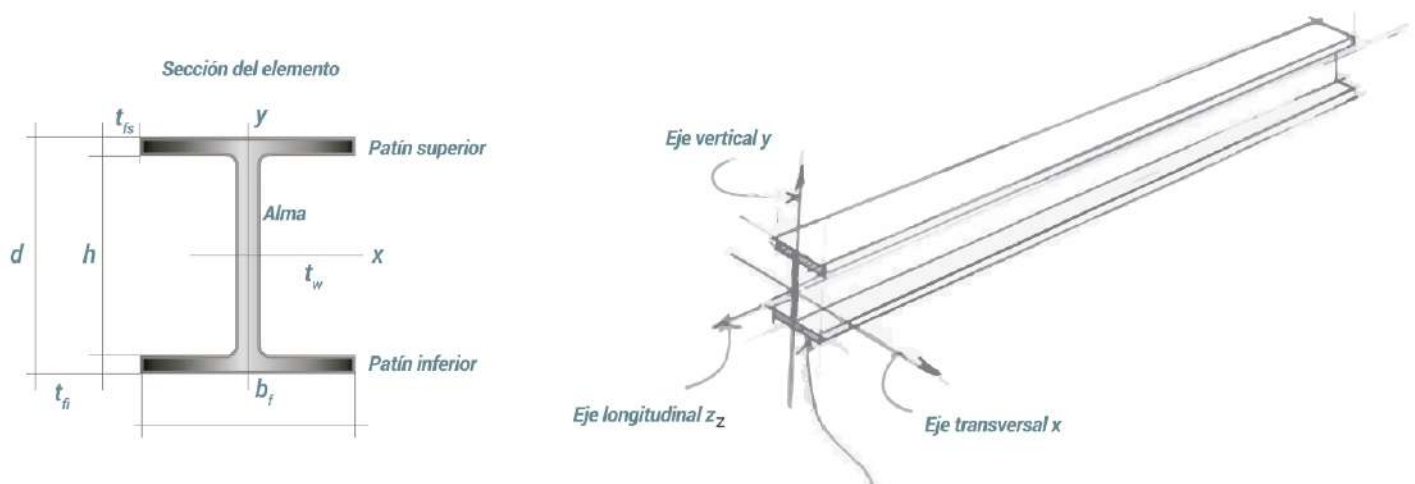
### Nodo (punto).

El nodo se define como el inicio, la intersección de barras, la fijación de las cargas. Lugar donde los esfuerzos que provienen de un elemento del sistema son transmitidos a otro, liberando o no parte de los desplazamientos.



### Barras (línea).

Elemento cuya dimensión es mucho mayor que las de la sección transversal. Su función es llevar las cargas que recibe de un nodo a otro. Se dimensionan de acuerdo a la sección más adecuada de acuerdo al tipo de esfuerzo que recibe, el material y las dimensiones para soportar dentro de los límites posibles la deformación. Su capacidad tiende a ser mayor en cuanto menor sea su pérdida de estabilidad.



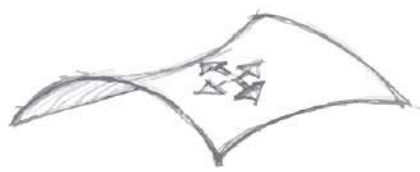
## Láminas (planos).

Elementos con dos dimensiones que son mayores a la tercera (espesor). Su función es recibir las cargas, llevándolas a las barras, o directamente a los apoyos. Son las losas, placas, cascarones, muros, membranas. Su nomenclatura depende de la manera en que se comportan en situaciones de trabajo.

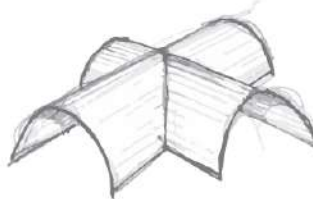
**Losas:** Son láminas con forma fija, de razonable espesor, pueden ser ejecutadas horizontalmente. Soportan cargas normales o cargas de flexión.

**Cascarones:** Son láminas con forma fija, con poco espesor. Tienen su rigidez asociada a la curvatura, trabajan en flexión y fuerzas de tensión y compresión en su plano.

**Membranas:** Son láminas sin forma fija, de espesor extremadamente pequeño, adquiere la forma que solicite, y trabaja bajo fuerzas de tensión.



**Cascarón**



**Bóveda**



**Membrana**

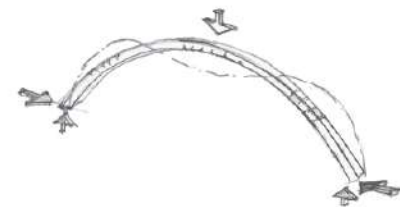
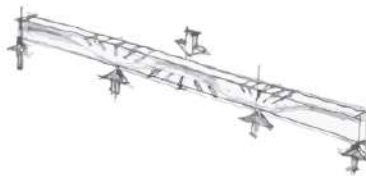
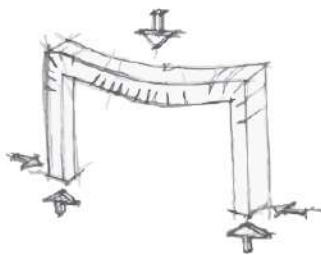
### 3.3.2 Sistemas estructurales.

La asociación de elementos estructurales compone un sistema que generalmente define el aspecto espacial del edificio como un todo. Estos sistemas pueden ser categorizados como:

#### Sistemas de marcos.

Es un sistema formado por barras capaces de crear un esqueleto resistente a las cargas puntuales o lineales, permitiendo incorporación de grandes claros.

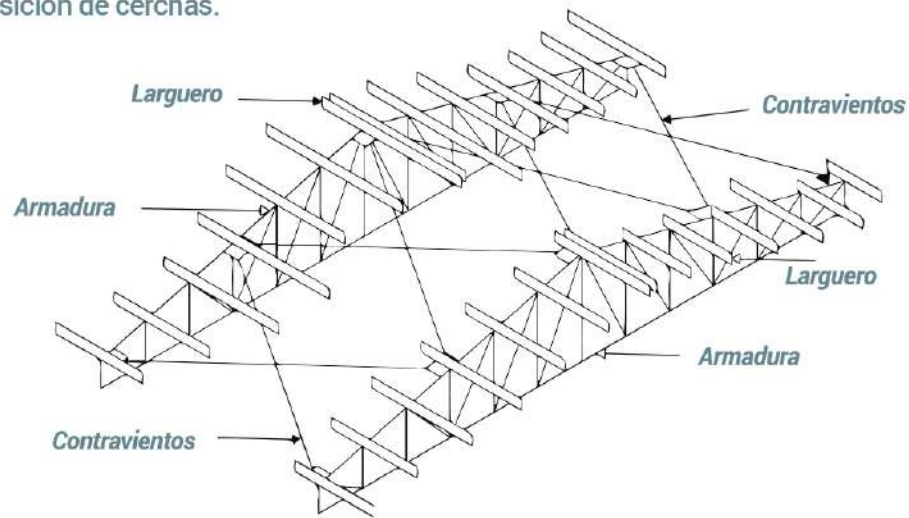
Estos marcos son montados paralelamente y espaciado conforme a las necesidades del proyecto. Cuando se estandarizan los espaciamientos la fabricación y el montaje se simplifican y por consiguiente se reducen los costos. El sistema de marcos tiene una gran resistencia en su plano de trabajo, sin embargo, depende de la condición de la estabilidad fuera del plano. Esta condición es obtenida a través de la disposición de sistemas perpendiculares a él, que le den arriostramiento en los puntos necesarios. Por ejemplo, cerchas, arcos, pórticos, rejillas, asociación de vigas y columnas, y anclajes.



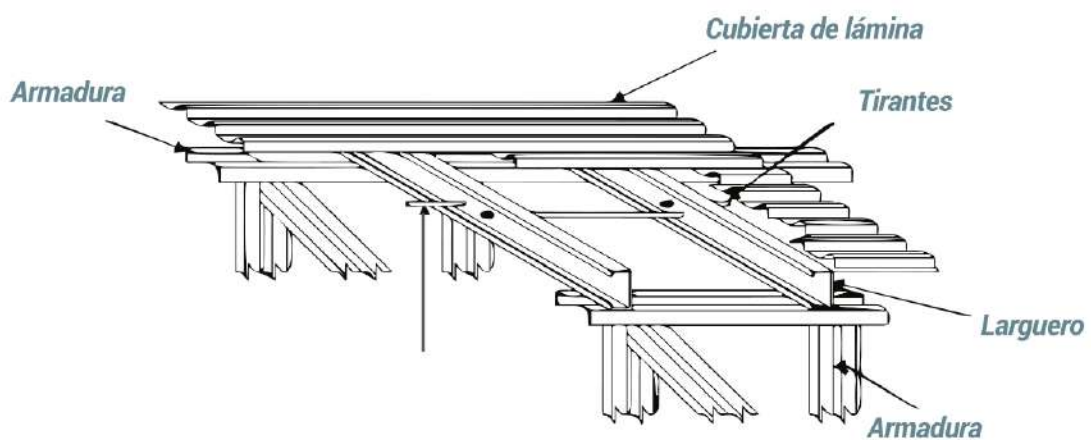
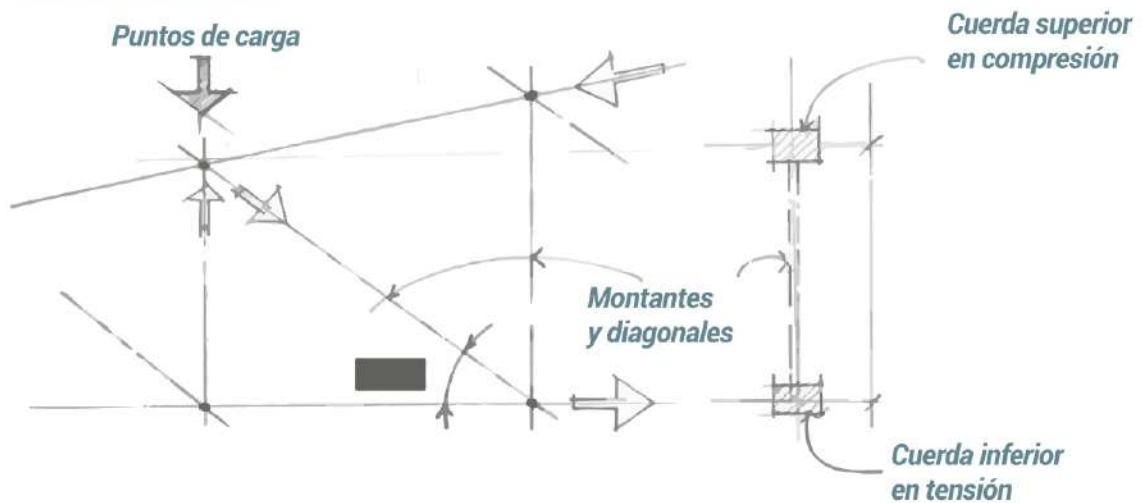
## Cerchas.

Son piezas formadas por barras de pequeñas secciones, apoyadas unas a las otras formando un sistema reticulado. Las piezas únicamente trabajan a tensión y compresión desde que las cargas son aplicadas a los nodos.

### Composición de cerchas.

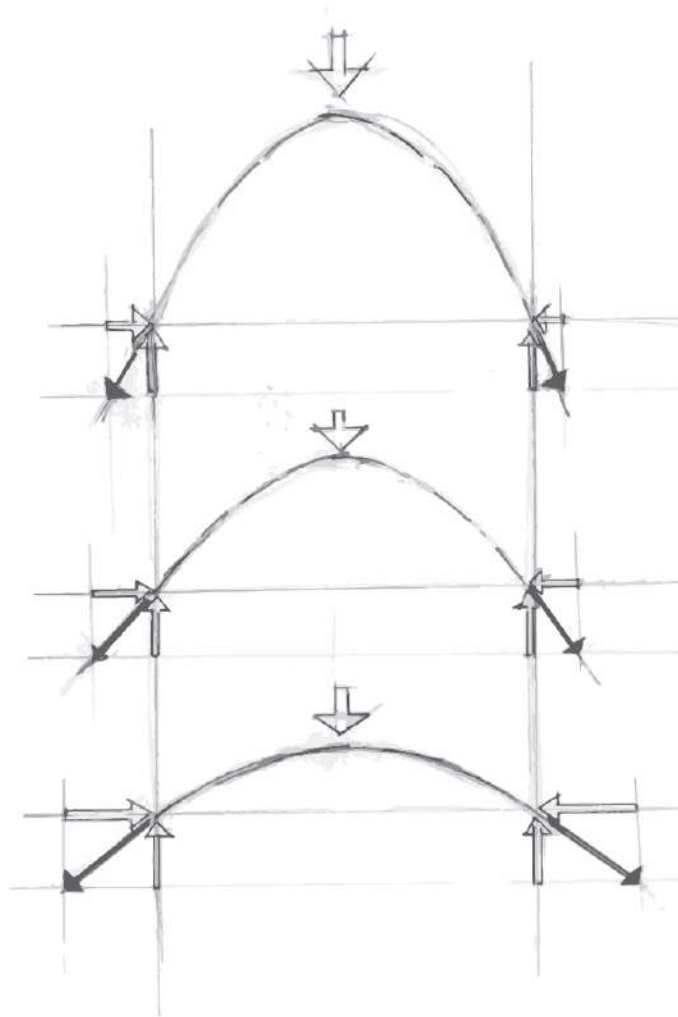


### Esfuerzos en cerchas.



## Arcos.

Son sistemas estructurales que vencen grandes claros y sufren compresiones simples, generando esfuerzos horizontales (empujes), en los apoyos que están en función de las deformaciones del arco.



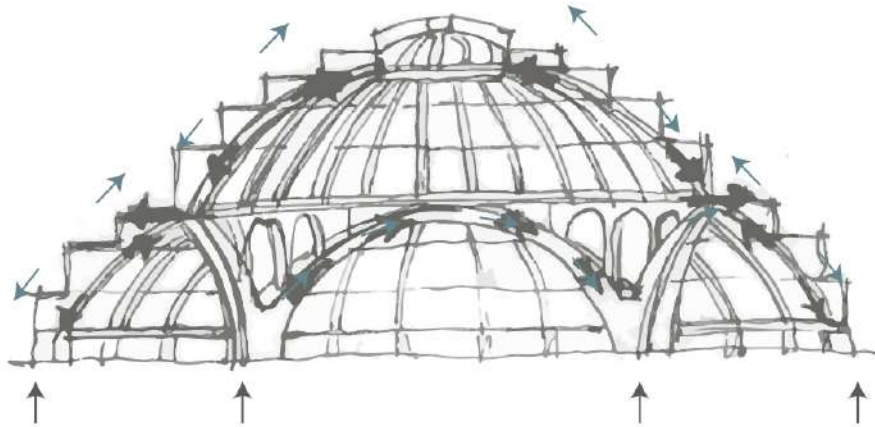
Los arcos tienen una relación mínima entre el claro y la flecha para que se comporten como tales. El arco se comporta como una viga de eje curvo.

## Ejemplos de estructuras en arco.

Arco como elemento portante de un tablero de un puente.

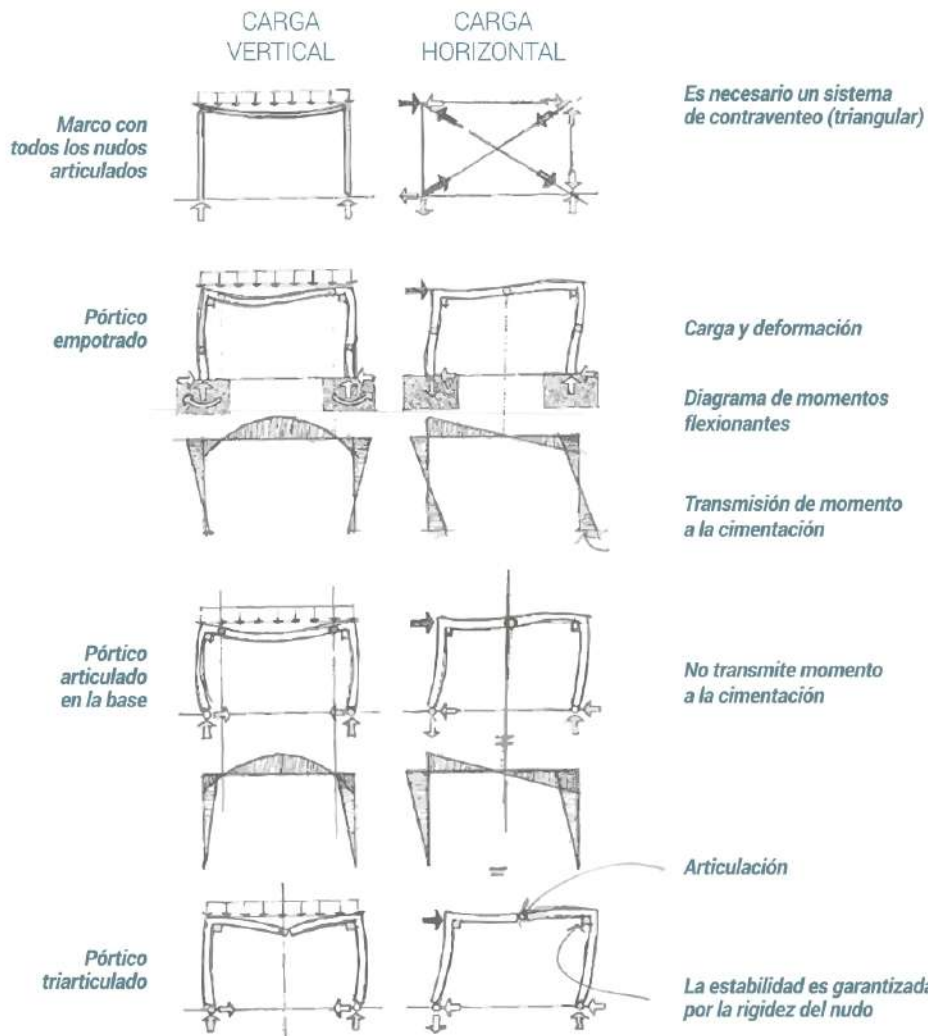


Combinación de arcos en una disposición espacial, transmitiendo los esfuerzos horizontales para anillos superiores de compresión e inferiores de tensión.



**Pórticos.**

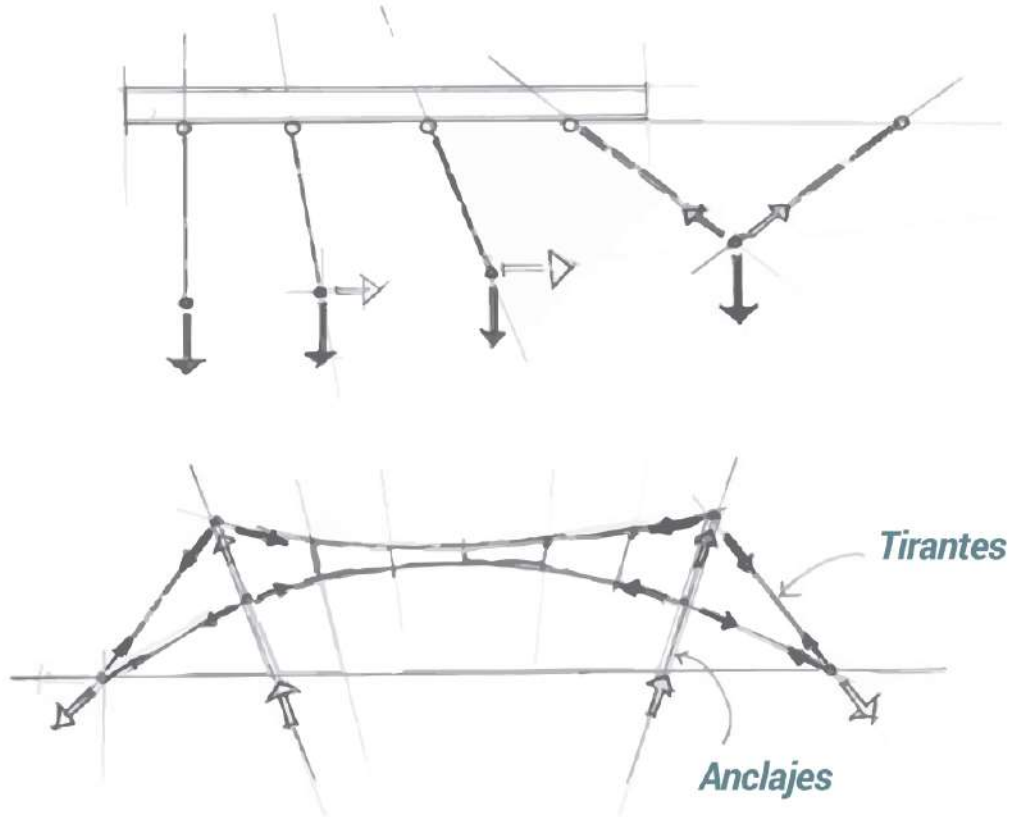
Son estructuras formadas que componen un marco plano con acciones en este mismo plano. Su rigidez y estabilidad se concentran en los nodos, los tipos de vínculos de los nodos de un pórtico alteran su comportamiento y transmiten los esfuerzos a los apoyos.



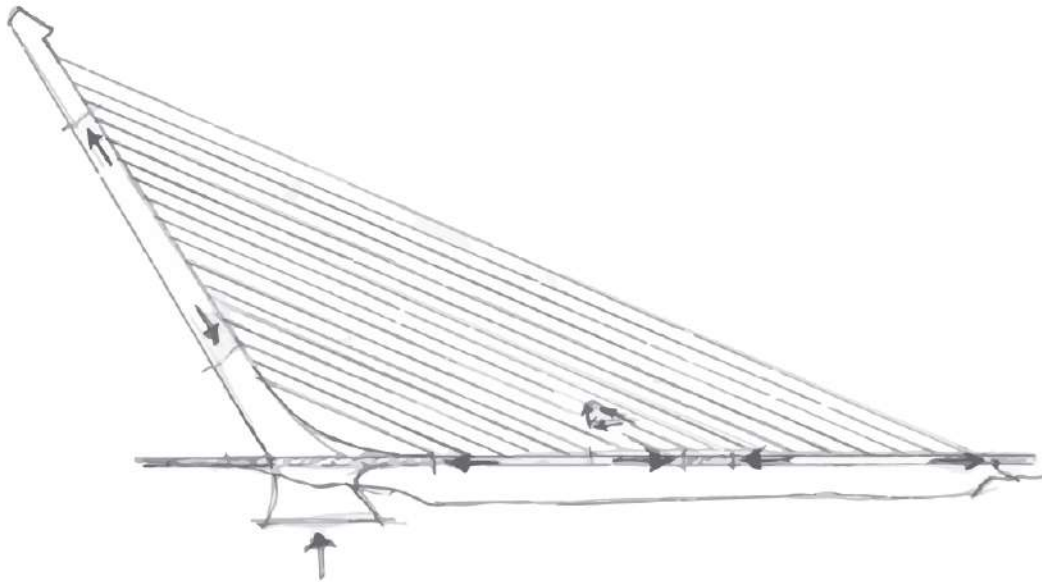
EL MOMENTO ES NULO EN EL PUNTO DE LA ARTICULACIÓN.  
Punto ideal para uniones y conexiones.

## Anclajes y tirantes.

Son estructuras que trabajan solamente a esfuerzos axiales de compresión (anclajes), o tensión (tirantes). El equilibrio de los esfuerzos toma la forma de la geometría de la estructura a base de triangulaciones.

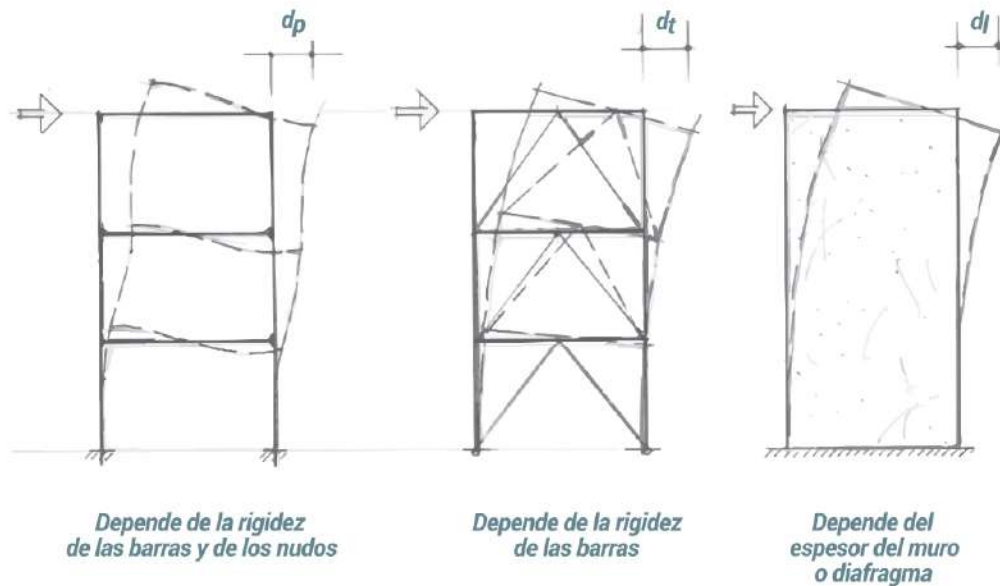


## Ejemplo de estructuras atirantadas.



## Sistema de planos.

Son sistemas formados por láminas, con función de soporte de carga y fachadas simultáneamente. Soportan en general cargas uniformemente distribuidas y no aceptan fácilmente grandes aberturas. Por ejemplo losas, muros, placas y cúpulas.

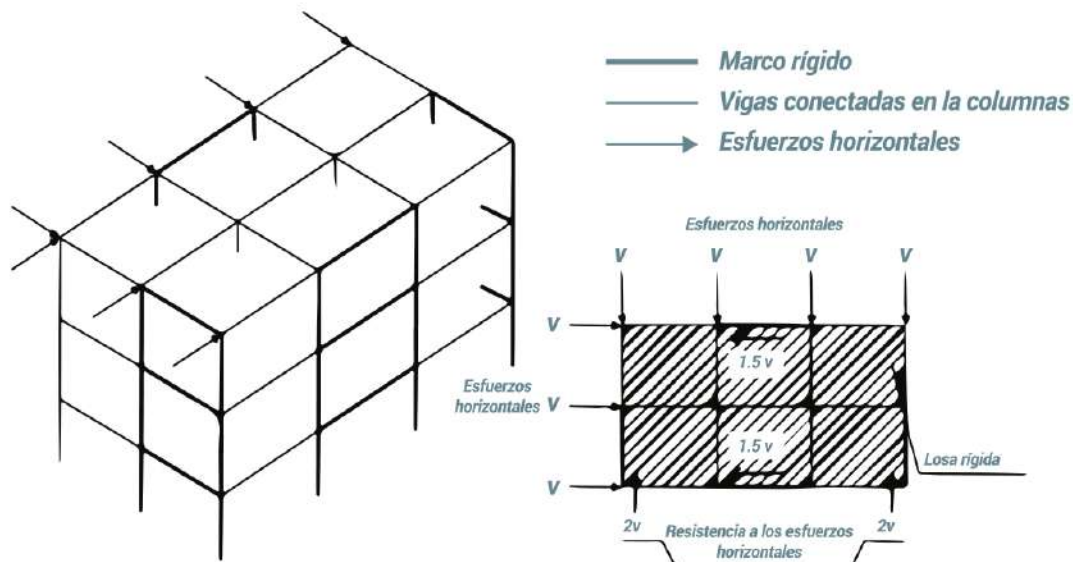


En la construcción de edificios, los sistemas de circulación vertical, torres de elevador y escaleras, son elementos tubulares, con pisos transversales (losas de escalera), o anillos de cierre (elevadores), que pueden ser utilizados como núcleos rígidos absorbiendo esfuerzos horizontales y dando estabilidad a los demás elementos de la edificación.

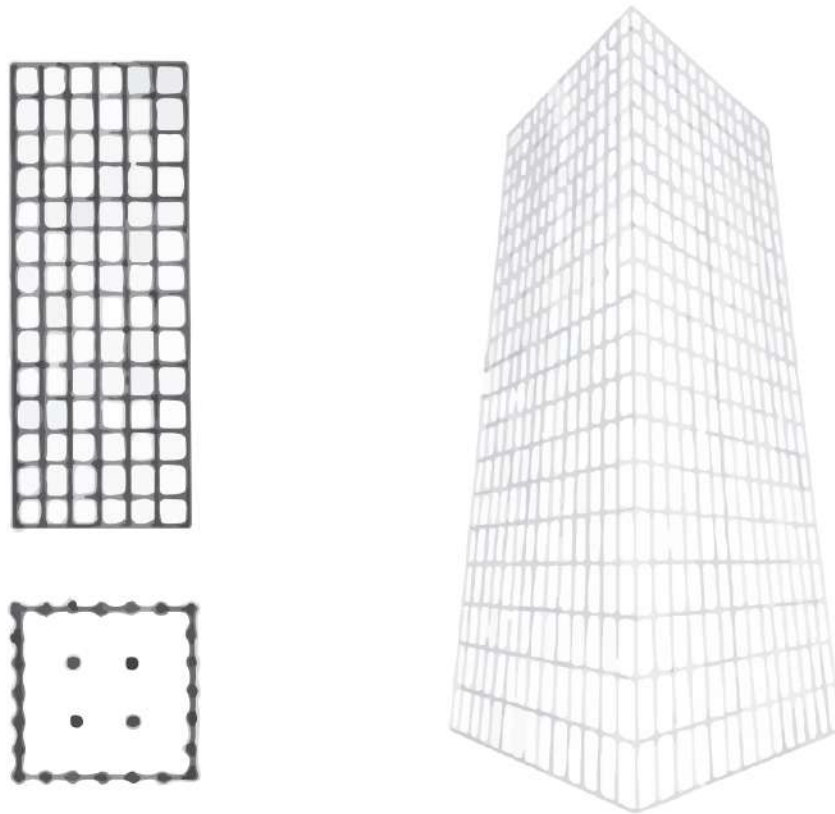
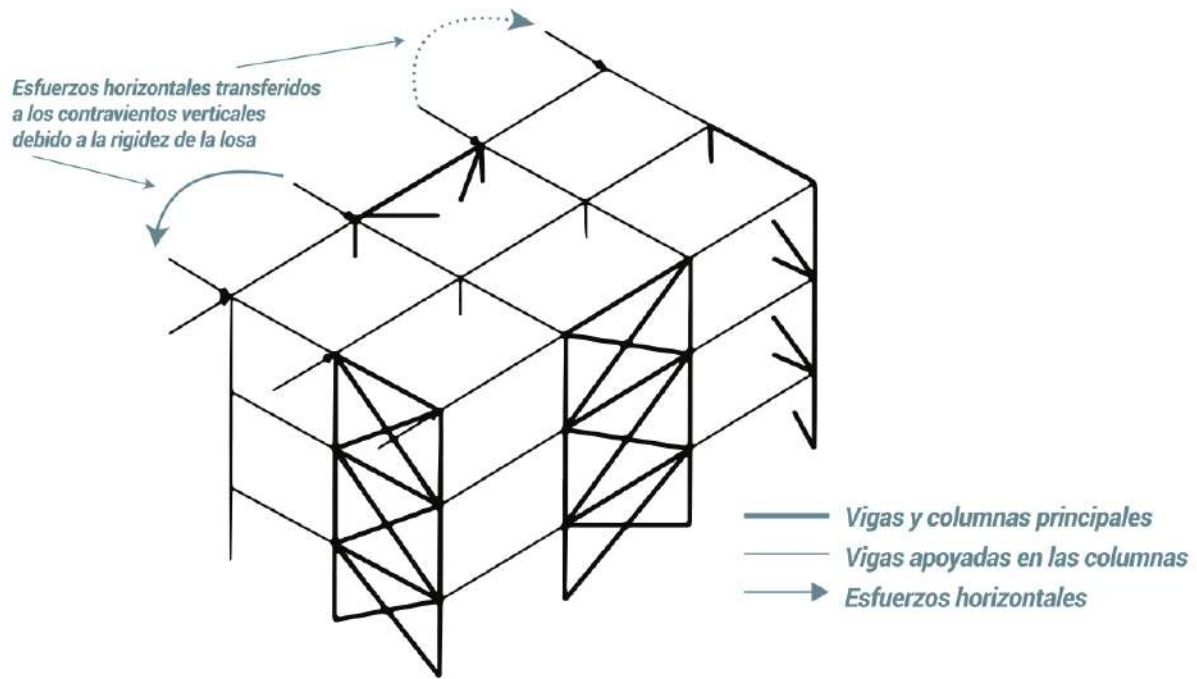
La asociación de elementos rígidos y otros articulados, permite que las conexiones sean más económicas, que tienen una función específica de soporte de carga y no de estabilidad. Con esta misma función pueden ser utilizadas las fachadas, cuando la trama de las vigas, las diagonales y las columnas crean una distribución tubular periférica.

Los edificios extremadamente altos pueden controlar las oscilaciones debido a los esfuerzos de viento, con la utilización de una masa oscilatoria que, funcionando como péndulo, restaura su equilibrio. Fachada en malla ortogonal compuesta por columnas y vigas.

## Estructuración a base de marcos rígidos.

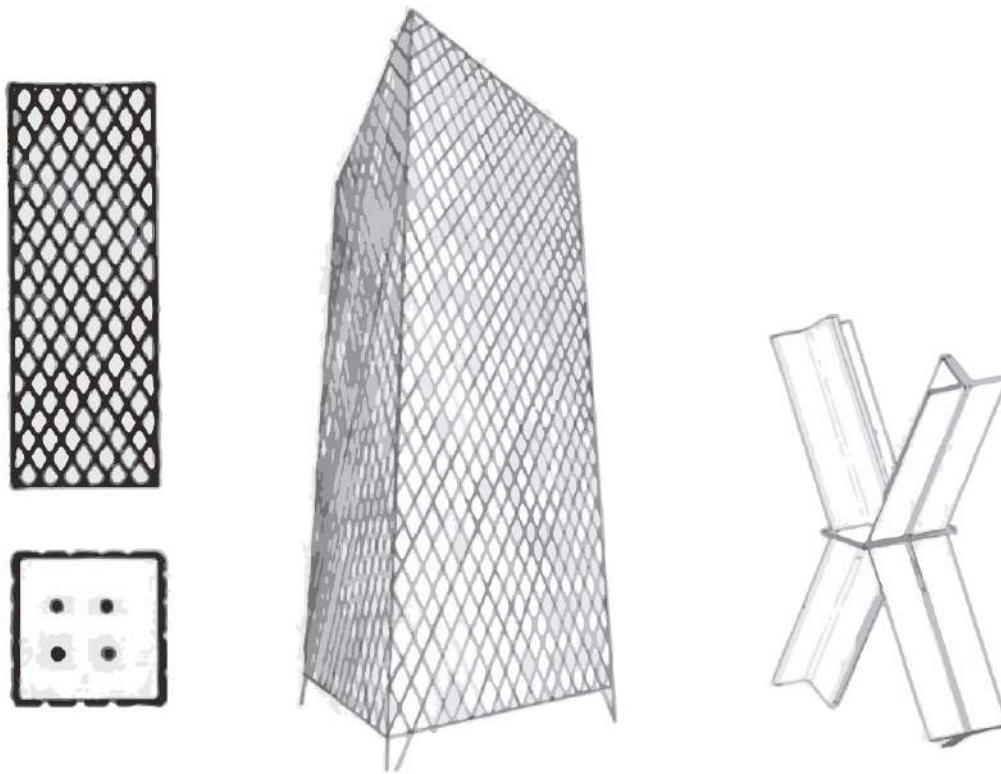


Estructuración a base de contravientos.

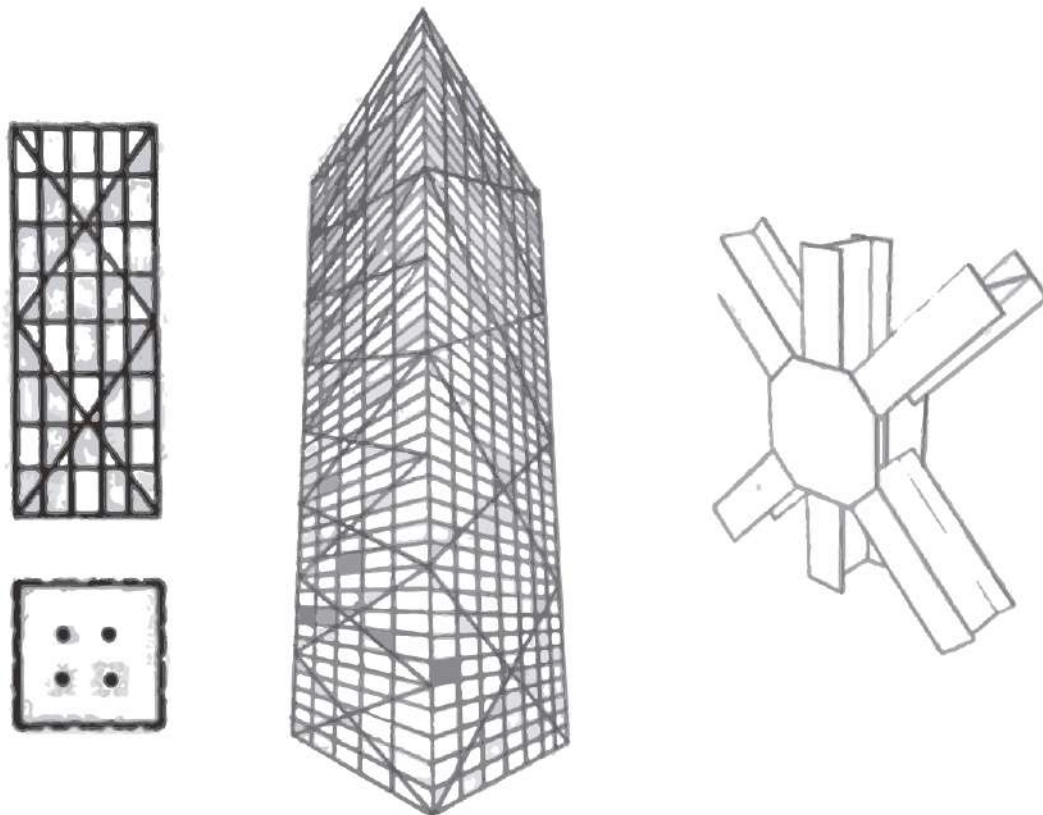


Fachada en rejilla diagonal con barras inclinadas y sin columnas formando un tubo enrejado.

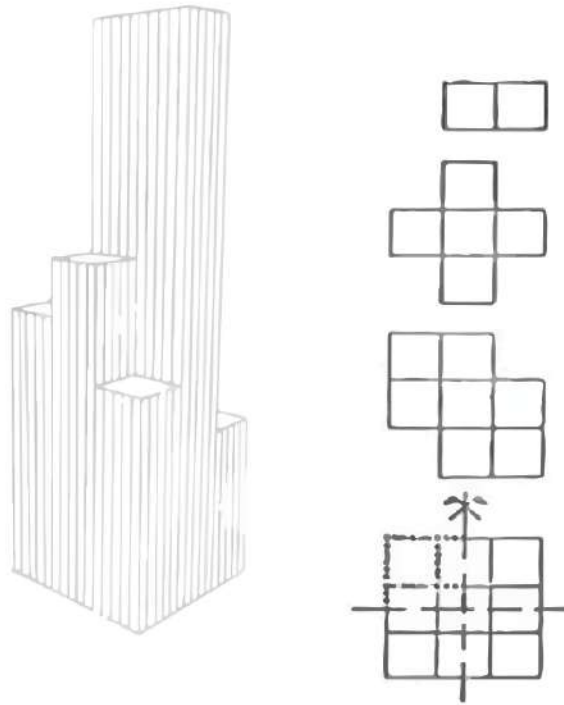




Fachada en enrejado compuesta por diagonales asociadas y malla de vigas y columnas.

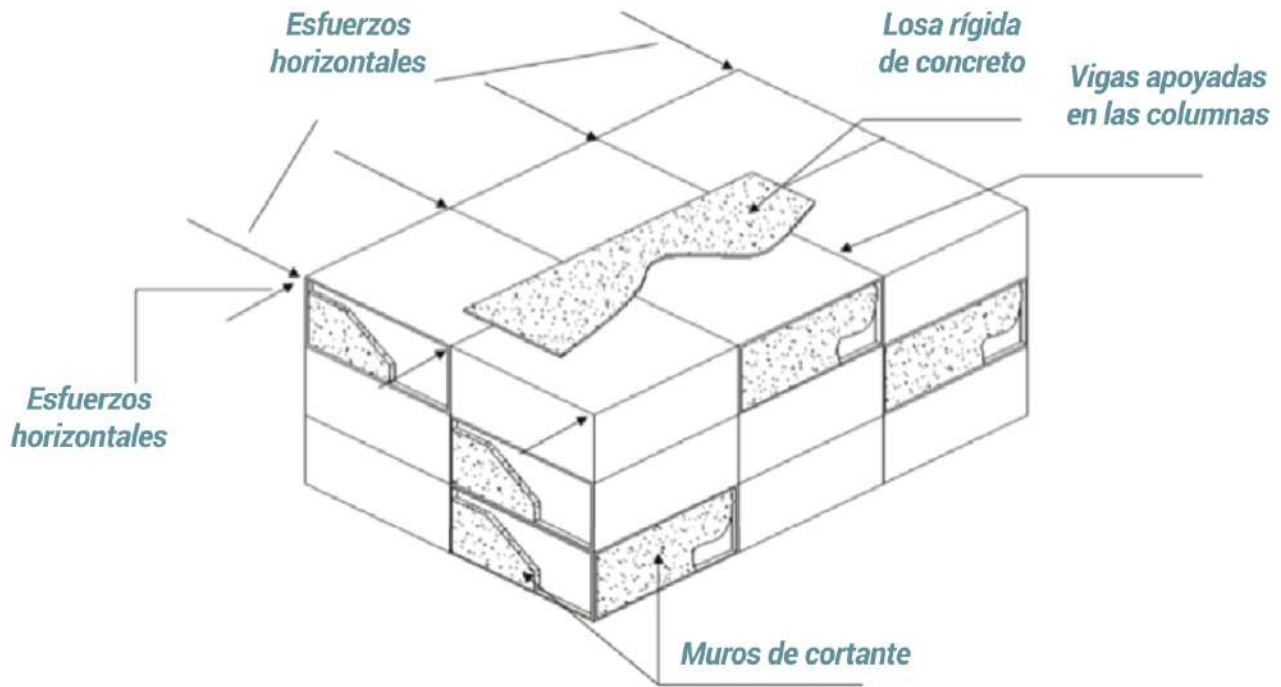


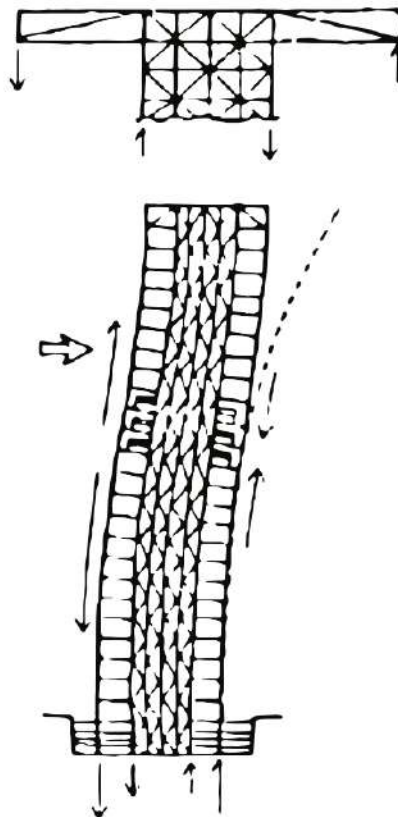
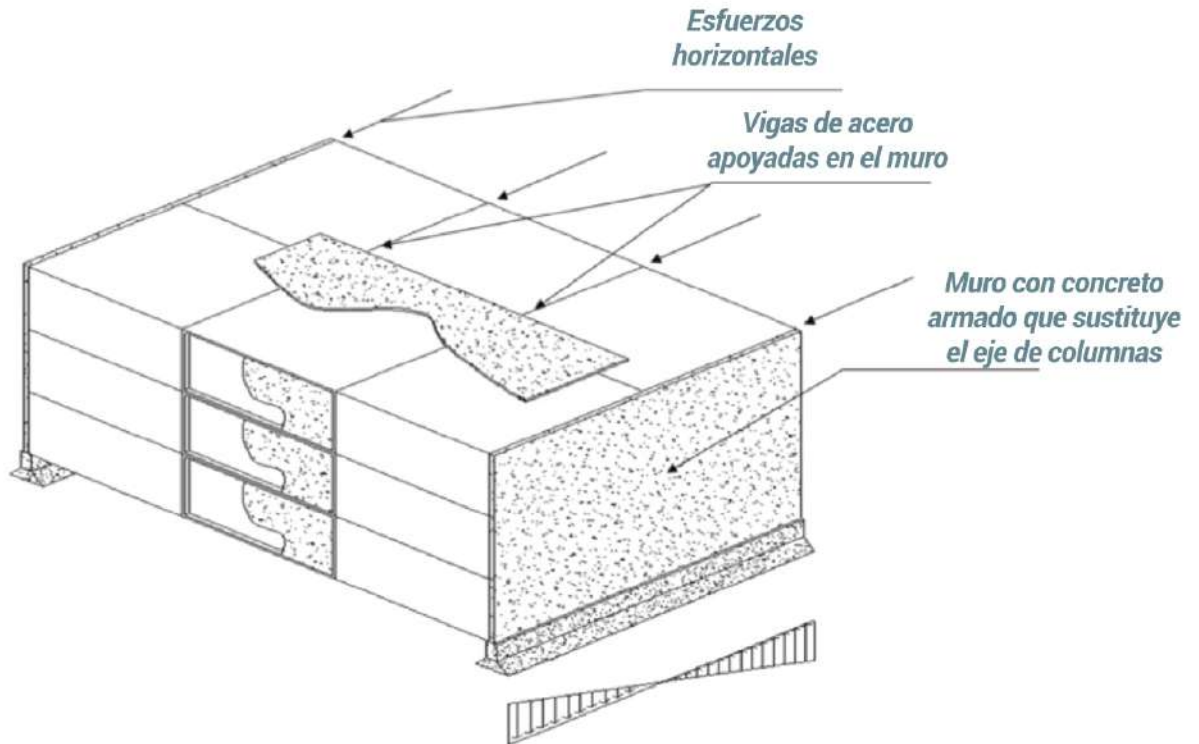
Fachada por varios tubos yuxtapuestos componiendo un sistema celular. Existe la posibilidad de variación de alturas en los núcleos de las células acompañando la volumetría de la arquitectura.



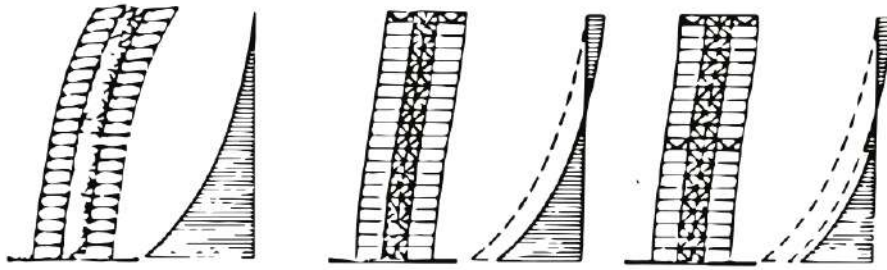
Fachadas que utilizan enrejado superior en los niveles intermedios, reduciendo sensiblemente las deformaciones ocasionadas por los esfuerzos de viento en edificios altos.

**Estructuración a base de muros de cortante.**



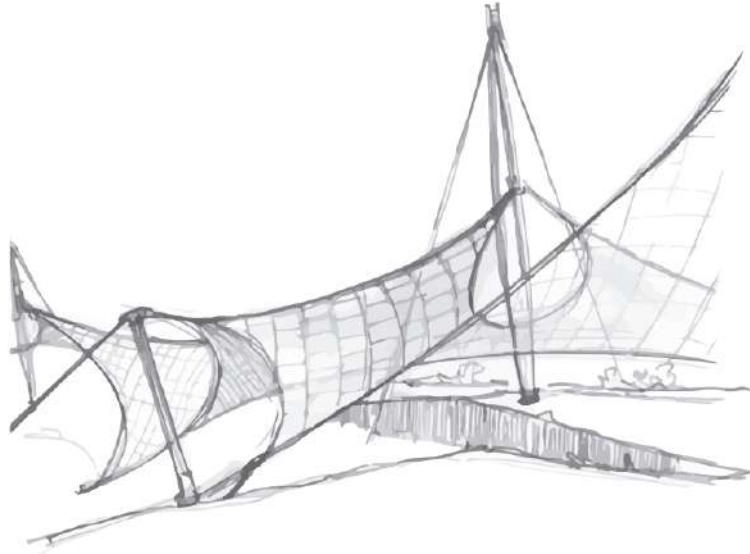


Las columnas extremas trabajan como barras en tensión y compresión apuestos al del sistema central, creando una especie de compensación que invierte los esfuerzos del enrejado.



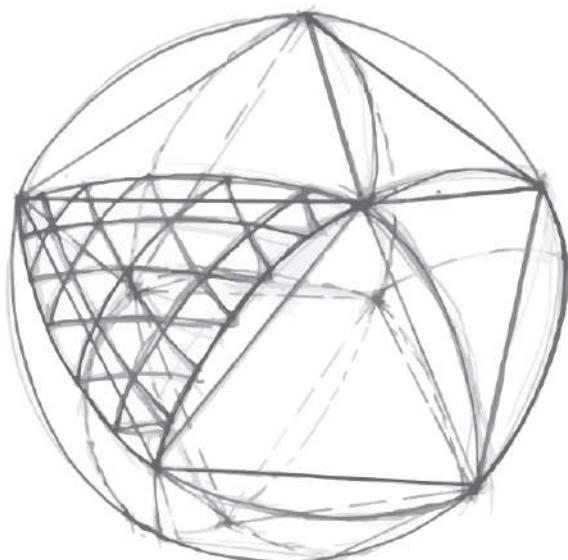
### Sistema de membranas.

Son sistemas formados por membranas asociadas a cables y elementos rígidos, como tirantes o anillos de compresión. Son extremadamente ligeros, permitiendo vencer grandes claros, sin embargo solicitan grandes esfuerzos de tensión en sus puntos de anclaje. Por ejemplo tenso-estructuras



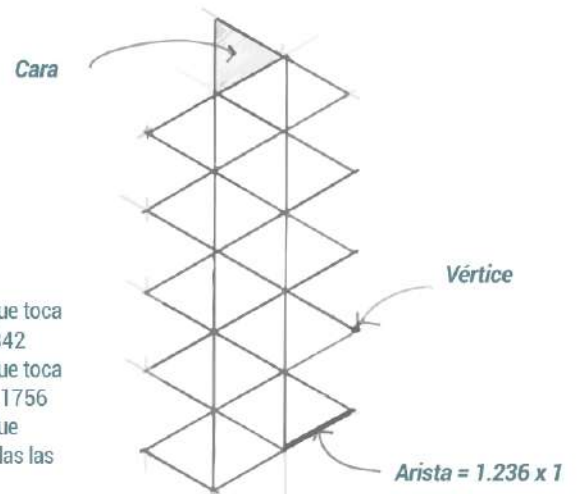
### Sistemas tridimensionales.

Son sistemas en que los nodos son vértices y las barras son aristas de un sólido geométrico. En estos sistemas, las barras únicamente trabajan bajo fuerzas axiales, y se ajustan a la función de equilibrar estos esfuerzos. Por ejemplo geodésicas y estructuras espaciales.



#### ICOSAEDRO

- 12 vértices
- 30 aristas
- 20 caras
- Radio de la esfera que toca todas las caras 0.9342
- Radio de la esfera que toca todos los vértices 1.1756
- Radio de la esfera que toca el centro de todas las aristas

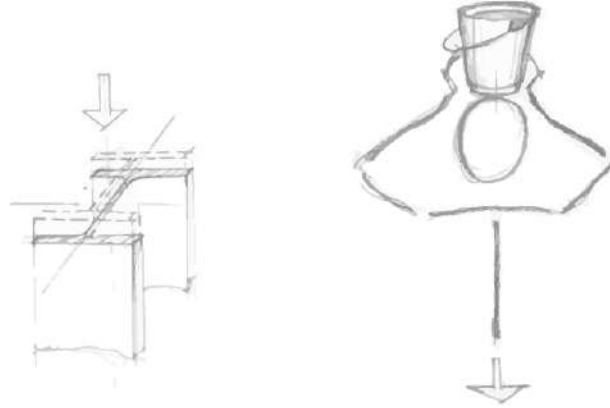


### 3.3.3 Esfuerzos solicitantes y resistentes.

Los trabajos realizados por las piezas estructurales, sobre el efecto de las acciones solicitantes (cargas), son:

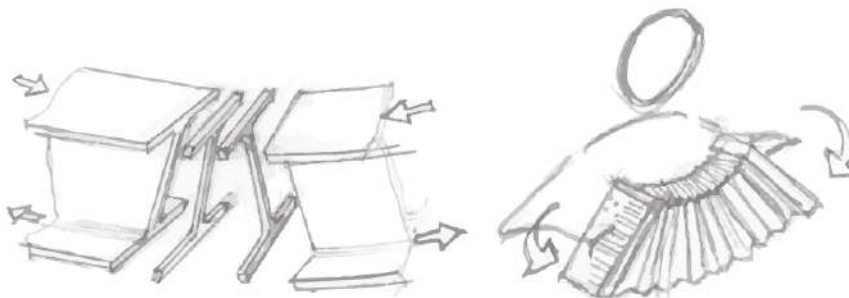
#### Axiales.

Son efectos a lo largo del eje de las barras, pueden ser de tensión o de compresión. En tensión los esfuerzos son resistidos por el área de la sección, en la que se descuentan agujeros en el caso de conexiones atornilladas. En compresión, así como el área, es importante la forma del perfil, la esbeltez de la barra, ya que está vinculado el pandeo, estado crítico a partir del cual la pieza pierde capacidad de utilización. Esos son los tipos de esfuerzos que solicitan las barras de un enrejado, tirantes, anclajes y columnas.



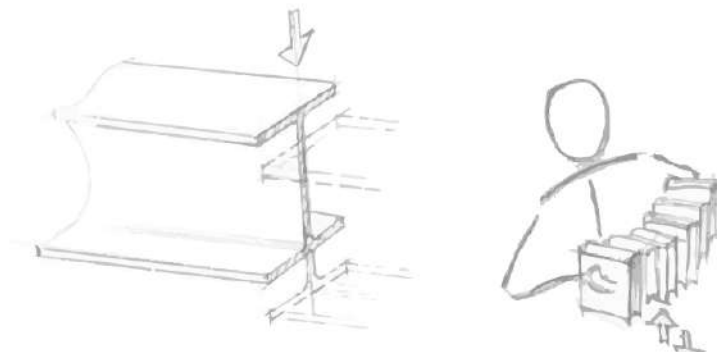
#### Flexión.

Son los esfuerzos perpendiculares a la sección de las barras, que son resistidos por el módulo de sección. Tienden a girar la sección de la barra, en torno al eje, denominado línea neutra, que divide las áreas en tensión y compresión. En el caso de la flexión la forma de la sección es extremadamente importante, pues su trabajo equivale al de un par de fuerzas (doble palanca), siendo su resistencia mayor cuando más alejada esté la línea neutra, centroide o centro de gravedad de las áreas tensionadas y comprimidas.



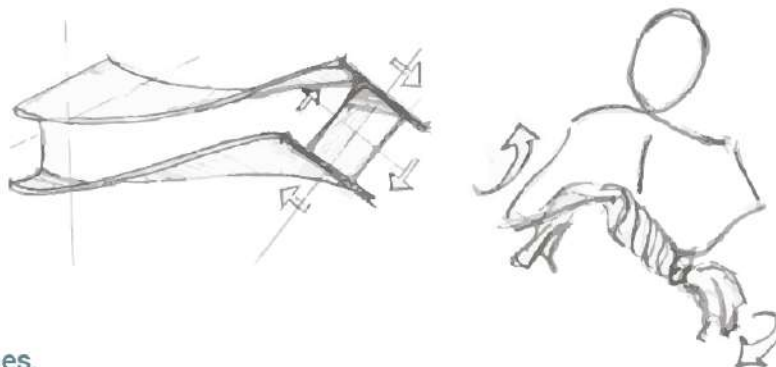
#### Cortante.

Son los esfuerzos tangenciales a la sección de las barras resistidos por el alma de la sección, tienden a cortar "rebanadas" de barra.



## Torsión.

Es la sollicitación que tiende a girar rebanadas de la sección de la barra en torno de su eje longitudinal. Ocurre cuando la carga actúa fuera del eje de la barra, haciendo que ocurran las tensiones de cortante, que se deben equilibrar.



## Deformaciones.

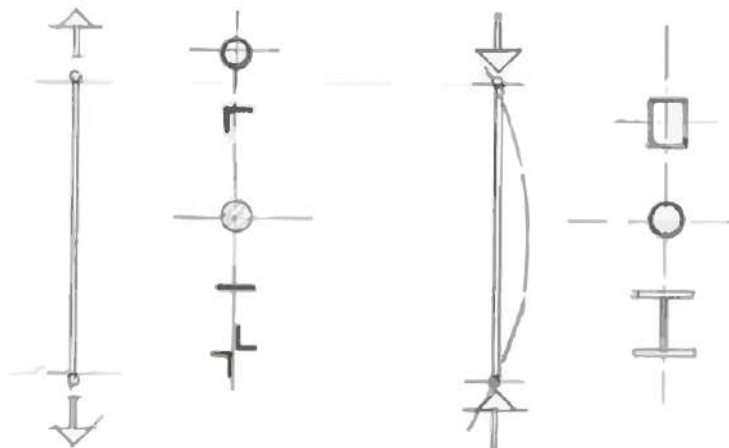
Son parte del trabajo de la estructura. Una pieza estructural precisa deformarse para entrar en función. esas deformaciones tienen límites para que no se tornen incómodas o inadecuadas para su uso. Las normas limitan las deformaciones bajo cargas accidentales, considerando que para las cargas permanentes pueden ser adoptadas con contra flechas, esto es, pueden recibir una deformación previa que compense las deformaciones que son ocasionadas por las cargas permanentes.

### 3.3.4 Formas de las secciones.

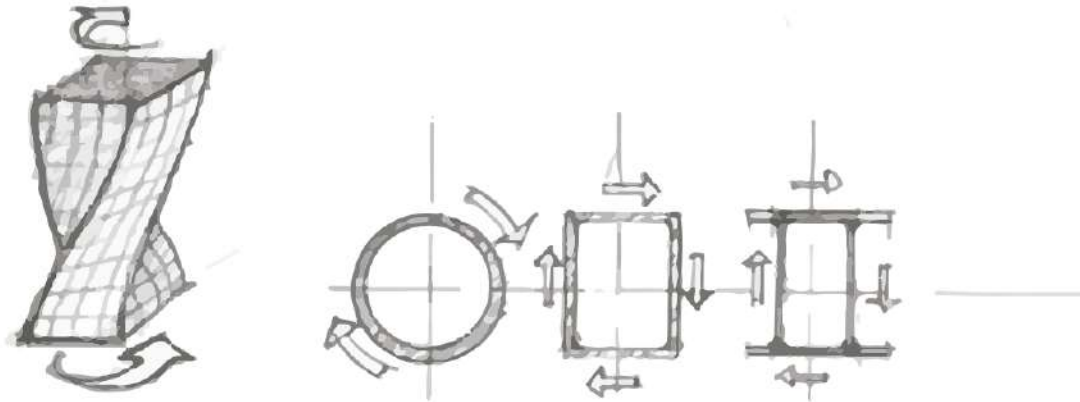
Cada una de las barras de un sistema estructural tiene una función específica, como un equipo, en el que cada uno tiene características especiales para la función que ejerce. La sección de una pieza debe tener la forma más apropiada al tipo de esfuerzo al que estará sometido.

**Piezas tensionadas:** Pueden ser esbeltas, esto es, tienen una masa concentrada en torno a su eje. Su capacidad depende apenas del área de la sección.

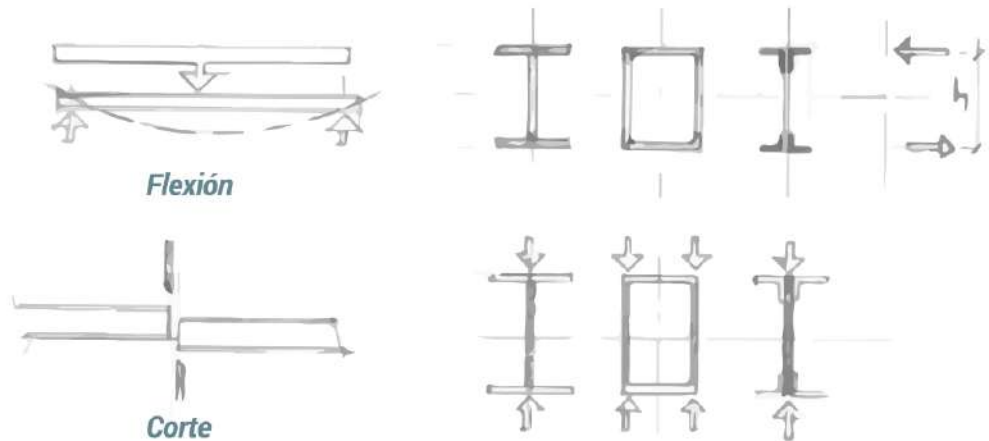
**Piezas comprimidas:** Tienen un trabajo similar al de las piezas tensionadas, pero corren el riesgo “de huir de la línea de presión”. A este fenómeno se le da el nombre de pandeo, el cual puede ser resuelto disminuyendo la esbeltez de la pieza, esto es, la relación entre lo que se comprime ( $L$ ) y la distribución de la masa en relación a su eje ( $r$ ). Por ejemplo perfiles H.



**Piezas bajo el efecto de torsión:** Tienen su capacidad resistente en el área de la sección de la pieza.



**Piezas bajo el efecto de corte:** Tienen su capacidad resistente ligada al área de la sección de la pieza, y frecuentemente están asociados a otro tipo de sollicitación.



### 3.3.5 Aspectos conceptuales.

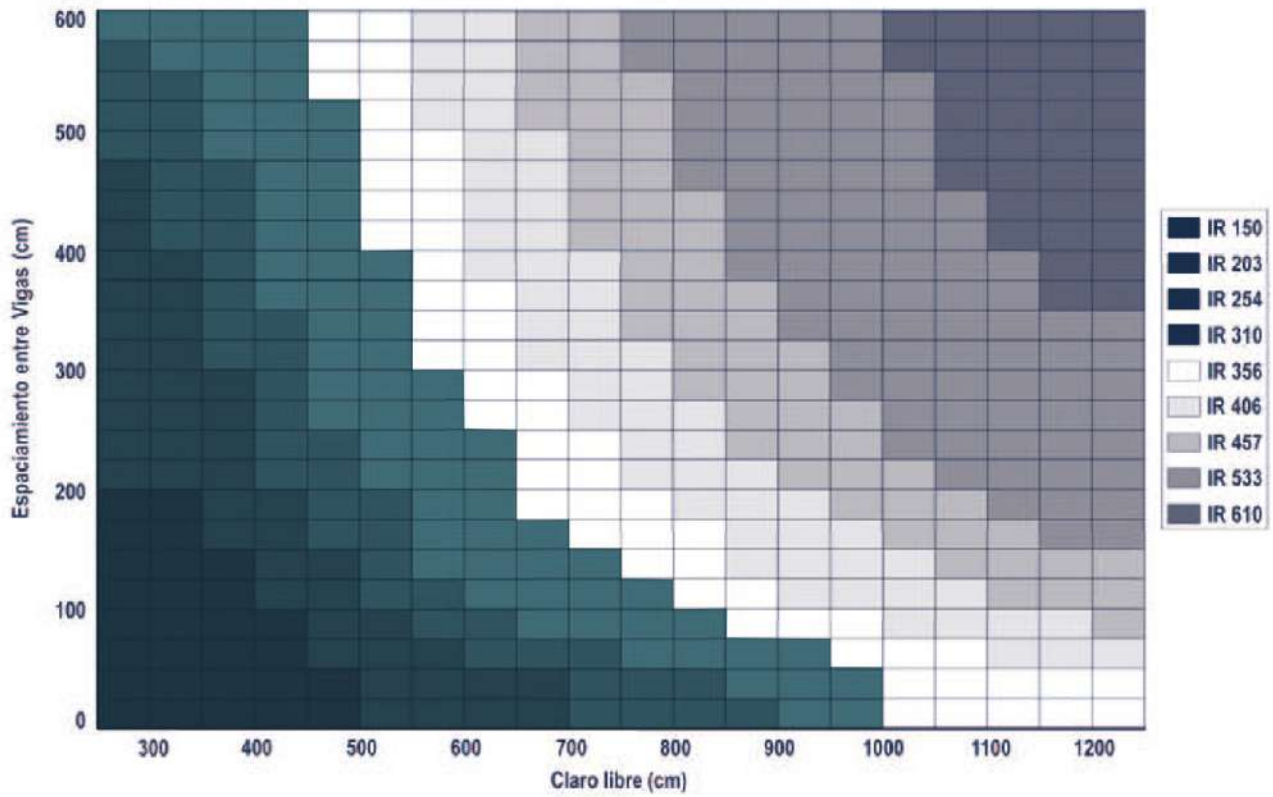
Una obra bien concebida es económica y es un reflejo del proyecto arquitectónico, respetando el material, adoptando espacios estandarizados y compatibles a su uso, optimizando las piezas, alineando los cierres y viabilizando el transporte y el montaje. Por otro lado, buenos proyectos aislados no garantizan la calidad de la obra. Es importante la compatibilización de todos estos aspectos, para el suceso del proyecto.

### 3.3.6 Predimensionamiento.

Es un estudio de conjunto analizando:

- *Relación entre claros y alturas*
- *Verificación de las tensiones de trabajo de las piezas sobre los esfuerzos solicitantes*
- *Verificación de las deformaciones*
- *Verificación de las condiciones de anclaje y estabilidad de piezas*

En cualquier construcción a pesar de que las cargas de utilización sean las mismas, va a depender de los claros y de los espaciamientos de las vigas. El dimensionamiento de una viga dependerá de los claros a salvar, de las cargas actuantes sobre ella y de sus condiciones de frontera ya que dependerá de la rigidez que aporten contra deformaciones y esfuerzos.





- Se recomienda que el peralte de una viga de sección I laminada o soldada se determine como sigue:

$$\frac{L}{24} < d \leq \frac{L}{28}$$

- Para armaduras de cuerdas paralelas el peralte será:

$$\frac{L}{12} < d \leq \frac{L}{15}$$

Del mismo modo, los montantes serán separados a cada peralte para ocasionar que las diagonales tengan un ángulo cercano a 45°.

- Para estructuras de tipo espacial tipo tridilosas se recomienda que su peralte se encuentre en:

$$\frac{L}{20} < d \leq \frac{L}{40}$$

- Para largueros tipo joist el peralte recomendado será:

$$d = \frac{L}{20}$$

- Para largueros tipo monten C o Z el peralte se define como el valor absoluto del claro en metros transformado directamente a pulgadas, es decir, si se tiene un claro a salvar de 10 m el larguero recomendado será de 10".

- La densidad de una estructura de múltiples pisos será:

o Para estructuras sin contraventear

$$\text{Densidad (kg/m}^2\text{)} = 5 \left( \frac{N}{3} + 15 \right)$$

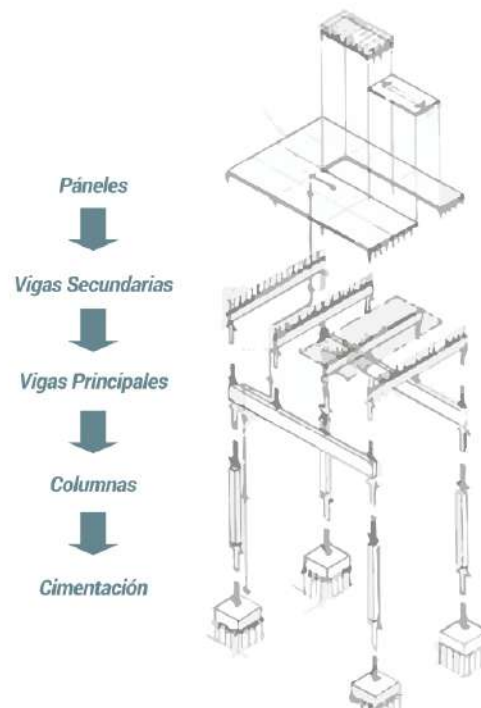
o Para estructuras contraventeadas

$$\text{Densidad (kg/m}^2\text{)} = 5 \left( \frac{N}{3} + 10 \right)$$

### 3.3.7 Dimensionamiento.

Es el cálculo riguroso de las piezas estructurales de acuerdo con la jerarquía estructural, esto es, de acuerdo a la bajada de las cargas.

Un aspecto importante en relación a las cargas, es la manera en que se transmiten de una pieza a otra, de acuerdo a la bajada de cargas hasta la cimentación. Como los pases de los jugadores hasta que logran el gol. Un buen pase permite que el jugador desarrolle plenamente su potencial, un mal pase lo obliga a buscar su propio equilibrio antes de dar continuidad a la jugada.





# DIRECTORIO

## OFICINAS COMERCIALES

T. +52 55 5262 7300 / Av. Ejército Nacional 216 P.2, Anzures, Miguel Hidalgo, CDMX, 11590

## PLANTAS

### CD. SAHAGÚN

T. +52 791 913 8105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

### TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

### LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. De México, 54187

## DISTRIBUCIÓN

### CDMX

T. +52 55 5089 8930 / Año 1857 8, Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, 07330

### MONTERREY

T. +52 81 8748 7610 / Blvd. Carlos Salinas de Gortari 404, Centro Apodaca, Nuevo León, 66600

## PATIOS DE CHATARRA Y CENTROS DE RECOLECCIÓN

### CD. SAHAGÚN

T. +52 791 9138 105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

### LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. de México, 54187

### LOS REYES

T. +52 55 5856 1651 / Tepozanes Los Reyes, Acaquilpan, México, 56428

### GUADALAJARA

T. +52 33 3668 0285 / 36702769 / Av. 18 de Marzo 531, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, 44470

### SAN JUAN

T. +52 55 2603 3275 / 5262 7359 / San Juan 675, Granjas Modernas, CDMX, 07460

### TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

### VERACRUZ

T. +52 229 923 1359 / Ctra. Fed. Aluminio L. 7 o Camino Puente Roto Km. 1.5, Nuevo Veracruz, Veracruz, 91726



**GERDAU** CORSA

El futuro se moldea

Somos más allá del acero.

[gerdaucorsa.com.mx](http://gerdaucorsa.com.mx)



**Gerdau Corsa. El futuro se moldea.**