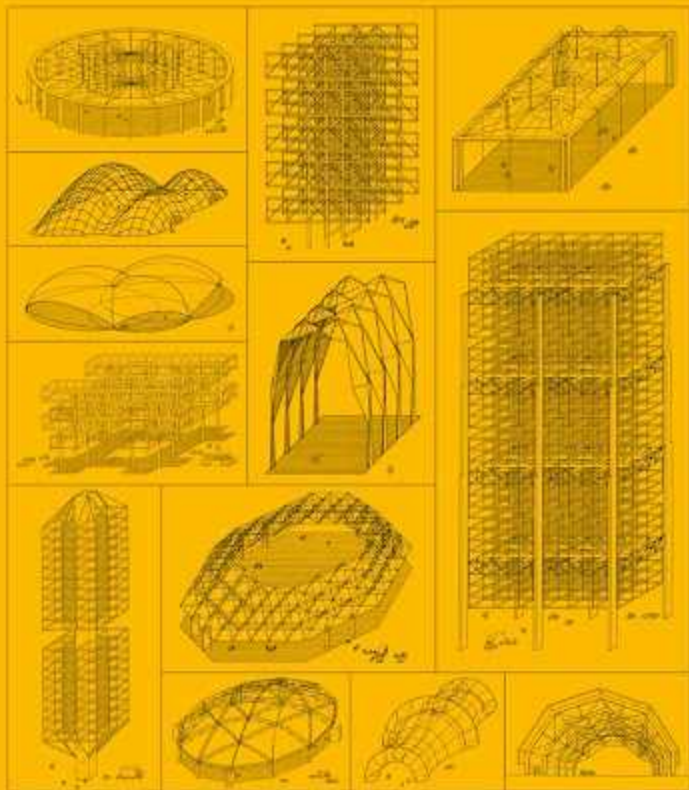


Heino Engel

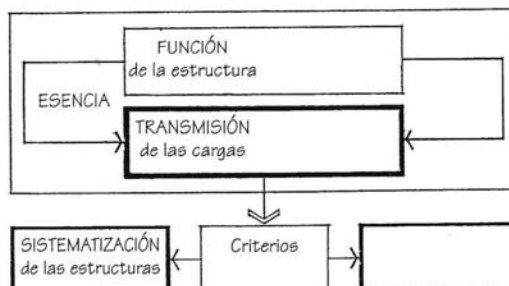


Ideas básicas y criterios para la elaboración de una sistematización de las estructuras

Para hacer comprensibles las especialidades complejas, lo mejor es llevar a cabo una: **SISTEMATIZACIÓN** de su contenido

Sistematizar una especialidad es clave si se deriva de la verdadera **ESENCIA DEL TEMA**

La esencia de la estructura es su función: **TRANSMITIR CARGAS**



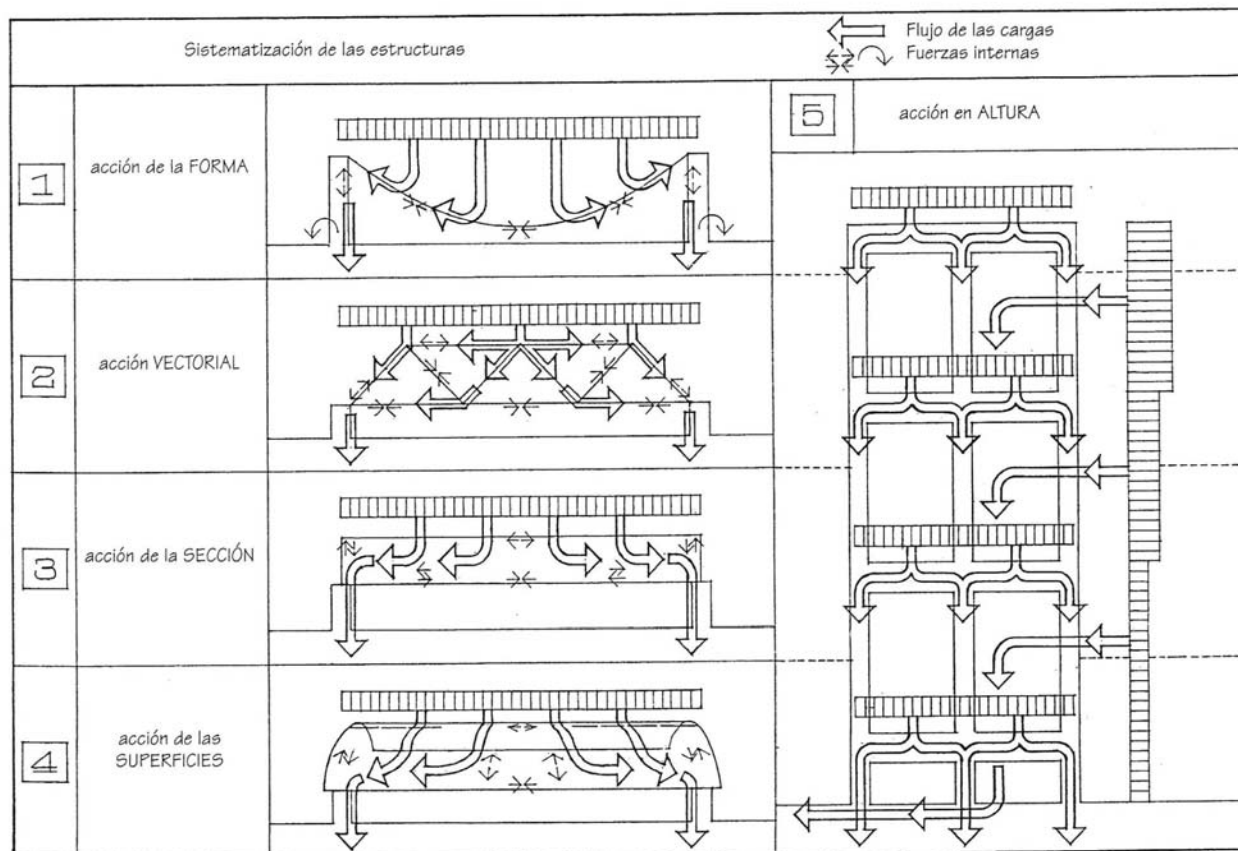
Sistematización de las estructuras en la edificación

Para la transmisión de las cargas actuantes a través de elementos materiales existen 4 mecanismos típicos en la naturaleza y en la técnica:

- 1 Adaptación a las fuerzas → acción de la **FORMA**
- 2 Subdivisión de las fuerzas → acción **VECTORIAL**
- 3 Confinamiento de las fuerzas → acción de la **SECCIÓN** transv.
- 4 Dispersión de las fuerzas → acción de las **SUPERFICIES**

En la edificación se añade, además, un mecanismo atípico de orden superior:

- 5 Recoger y transmitir las cargas al suelo → acción en **ALTURA**



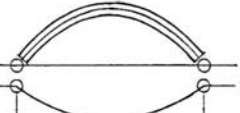
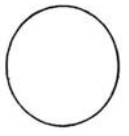
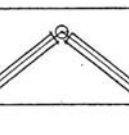
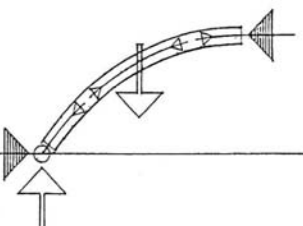
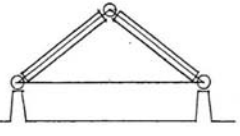
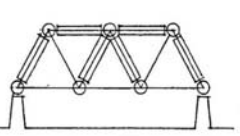
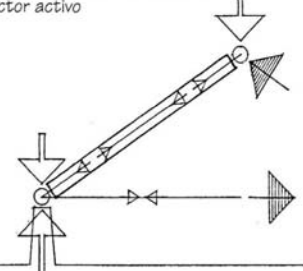
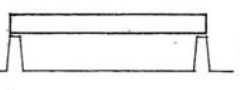
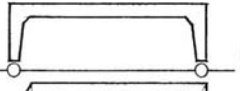
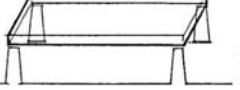
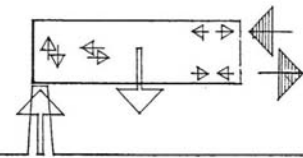
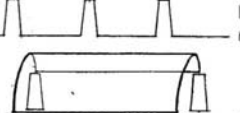
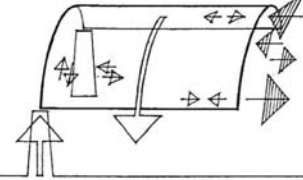
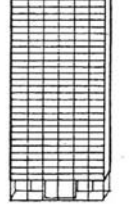
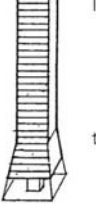
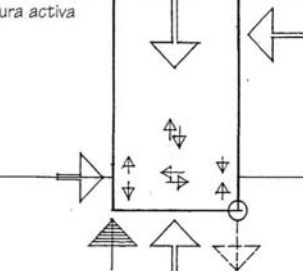
El alcance de la teoría de estructuras, la aplicación creativa de sus formas y su lenguaje espacial en los proyectos de arquitectura requiere, por lo tanto:

- conocimiento de los mecanismos que redirigen las fuerzas en otras direcciones
- conocimiento de las geometrías estructurales para generar formas y espacios

0 Bases Sistemáticas

40

Clasificación de los sistemas de estructuras en la edificación

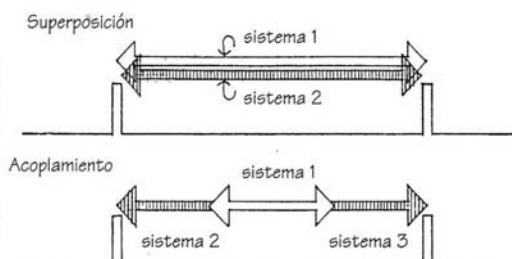
Criterio	Prototipo	Fuerzas	Característica	Mecánica de la transmisión de cargas
1 FORMA	 arco funicular  cable suspendido  anillo circular  globo	compresión o tracción	línea de apoyo catenaria círculo	forma activa 
2 VECTOR	 cercha triangular  celosía	compresión y tracción compresión	triangulación	vector activo 
3 SECCIÓN TRANSVERSAL	 viga  pórtico  losa	flexión fuerzas cortantes	perfil seccional	sección activa 
4 SUPERFICIE	 lámina  lámina plegada nervada  membrana cilíndrica	fuerzas de membrana	forma bidimensional	superficie activa 
5 ALTURA	 lámina  torre	(condiciones complejas)	transmisión de las cargas al suelo	altura activa 

Sistemas estructurales en combinación: estructuras híbridas

Definición

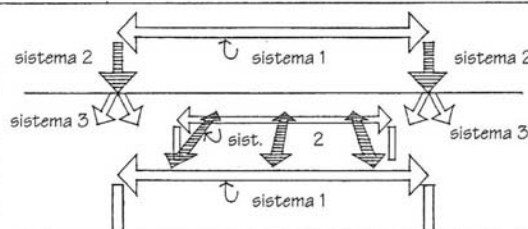
Las estructuras híbridas son sistemas en los que la desviación de las fuerzas se efectúa a través de la acción conjunta de dos o más sistemas diferentes –pero equiparables en cuanto a su función portante– de distintas “familias” estructurales

La acción conjunta se consigue mediante dos maneras posibles de unión de sistemas: SUPERPOSICIÓN o ACOPLAMIENTO



Estructuras mal denominadas “híbridas”

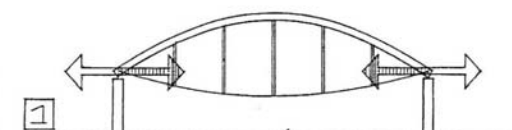
No se han de entender como estructuras híbridas aquellos sistemas en los que cada una de las funciones de la estructura –como, p. e., recepción de cargas, transmisión de cargas y entrega de cargas, rigidización frente al viento y otras rigidizaciones del edificio– las realizan diferentes “familias” de estructuras



Estructuras potencialmente híbridas

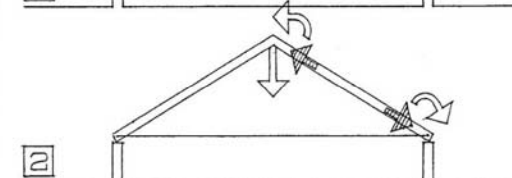
1 Compensación mutua o reducción de fuerzas críticas

Ejemplo: fuerzas horizontales opuestas de arcos funiculares o cables suspendidos en el apoyo

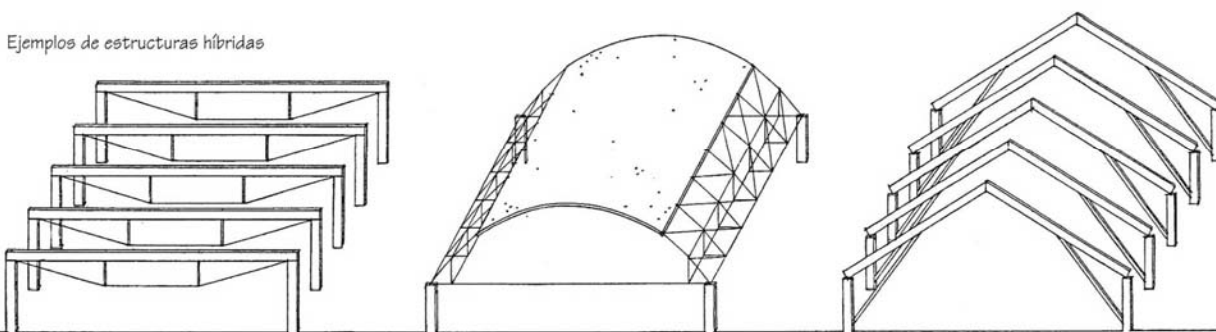


2 Función estática doble o múltiple de determinados elementos estructurales

Ejemplo: función del cordón superior o del cable como jácena portante y barra a compresión



Ejemplos de estructuras híbridas



Viga atirantada:

Superposición de sistemas de SECCIÓN activa y de FORMA activa

Membrana con celosía:

Acoplamiento de sistemas de SUPERFICIE activa y de VECTOR activo

Pórtico de cables arriostrados:

Superposición de sistemas de SECCIÓN activa y de VECTOR activo

Interpretación errónea de sistemas de estructuras híbridas como TIPO autónomo de estructura

Los sistemas de estructuras híbridas NO pueden considerarse como una “FAMILIA” estructural independiente o como un “TIPO” estructural específico:

1. No poseen un mecanismo típico para desviar las cargas
2. No desarrollan un estado específico de fuerzas actuantes o tensiones
3. No presentan propiedades estructurales características

Un material no rígido y flexible, con una forma determinada y fijado por sus extremos, puede sostenerse por sí mismo y cubrir un espacio: sistemas de estructuras de forma activa.

El cable suspendido en vertical, que transmite la carga directamente al punto de suspensión, y el pilar vertical, que transfiere la carga directamente en sentido opuesto al punto de apoyo, son antecedentes de los sistemas de estructuras de forma activa.

El pilar vertical y el cable suspendido en vertical son los prototipos de los sistemas de forma activa. Transmiten las cargas exclusivamente a través de esfuerzos normales, es decir, compresiones o tracciones.

Uniendo dos cables suspendidos en diferentes puntos se obtiene un cable portante que, además de soportar su propio peso, puede transmitir cargas lateralmente a través de esfuerzos de tracción.

La forma inversa del cable portante es el arco funicular. La forma ideal del arco funicular para una carga determinada es la línea de suspensión correspondiente a dicha carga.

Por lo tanto, la característica de los sistemas estructurales de forma activa es que desvían las fuerzas exteriores a través de fuerzas normales: el arco funicular mediante compresión y el cable suspendido mediante tracción.

Los sistemas de estructuras de forma activa desarrollan en sus puntos de anclaje esfuerzos horizontales. La absorción de estos esfuerzos es el problema esencial al proyectar un sistema estructural de forma activa.

El mecanismo portante de los sistemas de estructuras de forma activa depende, sobre todo, de la forma del material. Desviarse de la forma correcta, en caso de que pueda ejecutarse, cuestiona la eficacia del sistema o exige mecanismos adicionales de transmisión que compensen este desvío.

En un caso ideal, la forma de las estructuras de forma activa responde exactamente a la distribución de esfuerzos. Por consiguiente, las estructuras de forma activa son la expresión material de las direcciones "naturales" de las fuerzas.

La línea "natural" de los esfuerzos en un sistema de compresiones de forma activa es el arco funicular, y la de un sistema de tracciones de forma activa es el cable suspendido. El arco funicular y el cable suspendido son el resultado, por un lado, de las fuerzas actuantes sobre el sistema y, por el otro, de la flecha y la separación entre los puntos fijos.

Por lo tanto, el arco funicular y el cable suspendido son la segunda característica de los sistemas estructurales de forma activa.

Cualquier variación en las condiciones de carga o en los puntos de fijación modifica la forma del arco funicular o de la línea de suspensión y crea una nueva forma estructural. Mientras que el cable suspendido, en tanto que sistema "elástico", adopta por sí mismo la nueva línea de suspensión al variar las cargas, el arco funicular, en tanto que sistema "resistente", ha de absorber a través de su rigidez (mecanismo de flexión), la variación en la línea de esfuerzos.

Como el cable suspendido modifica su forma al variar la carga, siempre ha de coincidir con la línea de suspensión de la carga correspondiente. En cambio, como el arco no puede variar su forma, sólo puede ser el arco funicular para un determinado estado de cargas.

Las estructuras de forma activa, debido a su dependencia del estado de cargas, están sometidas a la estricta disciplina de la "transmisión natural de los esfuerzos" y, por lo tanto, no se les puede dar una forma arbitraria.

La ligereza del cable suspendido flexible y la pesadez del arco funicular rigidizado frente a las variaciones de carga, son los inconvenientes de los sistemas de estructuras de forma activa. Pueden superarse pretensando las estructuras.

Del mismo modo que se puede estabilizar el cable suspendido pretensándolo para poder absorber fuerzas dirigidas hacia arriba, también se puede precomprimir el arco funicular, mediante elementos a tracción, para absorber cargas asimétricas sin alcanzar una flexión crítica.

El arco funicular y el cable suspendido, debido a que sólo están sometidos a solicitaciones de compresión o tracción simples, son sistemas que

permiten cubrir un espacio empleando la mínima cantidad de material posible

Los sistemas de forma activa, debido a su identidad con la transmisión "natural" de cargas, son los mecanismos adecuados para conseguir grandes luces y construir grandes espacios diáfanos.

Dado que las estructuras de forma activa transmiten las cargas por un camino directo, pueden considerarse como vigas lineales, tanto en su esencia como por su manera de trabajar. Esto también es válido para redes de cables, membranas o cúpulas reticulares, en los que la transmisión de cargas, a pesar de realizarse a través de varios ejes, es lineal por ausencia del mecanismo de esfuerzo cortante.

Varios sistemas estructurales de forma activa se pueden unir para formar estructuras de superficie. Si se ha de conservar la principal característica de las estructuras de forma activa –poseer un estado de tensiones sencillo– también han de someterse a las leyes del arco funicular o del cable suspendido.

Sin embargo, el arco funicular y el cable suspendido no sólo son los elementos básicos de los sistemas estructurales de forma activa, sino que también representan la idea elemental de cualquier mecanismo portante y, por ello, son el símbolo técnico de la construcción de espacios por el hombre.

Las propiedades de las estructuras de forma activa pueden aplicarse a todos los demás sistemas de estructuras. Son una parte fundamental para el funcionamiento del mecanismo portante, sobre todo en el caso de las estructuras de superficie activa.

Las estructuras de forma activa, debido a su capacidad para cubrir grandes luces, poseen un significado especial para la civilización de masas y sus necesidades de grandes espacios. Son, en potencia, la forma portante para la construcción del futuro.

El conocimiento de las leyes que rigen la transmisión de cargas en las estructuras de forma activa es un requisito previo para proyectar cualquier tipo de estructura y, por ello, constituye la primera base científica para cualquier ingeniero o arquitecto.

59

Forma activa

1

Definición / Resumen / Luces

Sistemas de estructuras de

Definición

ESTRUCTURAS DE FORMA ACTIVA

son sistemas portantes de material flexible, no rígido, en los que la transmisión de cargas se efectúa a través de una FORMA adecuada y una ESTABILIZACIÓN DE LA FORMA característica.

Fuerzas

Los componentes básicos de la estructura sólo están sometidos a esfuerzos normales, es decir, a compresión o tracción:

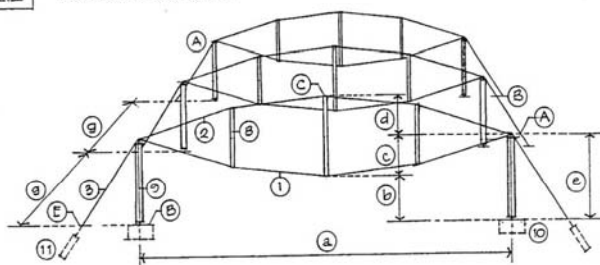
ESTRUCTURAS EN ESTADO DE TENSIONES SENCILLO

Características

Las características estructurales más típicas son:
CATENARIA (LÍNEA DE SUSPENSIÓN) / ARCO FUNICULAR / CÍRCULO

Componentes y denominaciones

11 Estructuras de cables



Partes del sistema

- ① cable portante, cable de carga
- ② cable de estabilización, cable atirantado
- ③ cable de retención, cable de arriostramiento
- ④ cable de borde
- ⑤ cable de limahoya
- ⑥ cable de suspensión
- ⑦ barra a tracción, anclaje a tracción
- ⑧ barra a compresión, puntal
- ⑨ pilar, pilón, mástil
- ⑩ cimiento, cimentación
- ⑪ anclaje en tierra, anclaje de retención
- ⑫ estribo
- ⑬ articulación
- ⑭ articulación de cumbrera
- ⑮ articulación de base, articulación de imposta
- ⑯ anillo de anclaje
- ⑰ arco, arco funicular
- ⑱ arco articulado
- ⑲ contrafuerte
- ⑳ membrana portante
- ㉑ esclusa de aire
- ㉒

① - ③ Cables funcionales

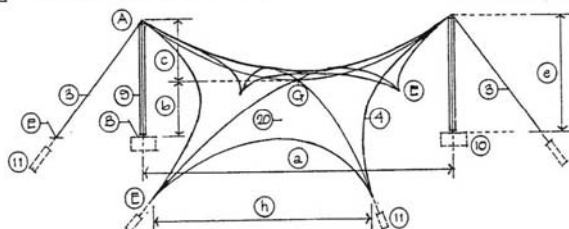
Puntos topográficos del sistema

- Ⓐ punto de suspensión
- Ⓑ punto de base
- Ⓒ cúspide
- Ⓓ punto de cumbrera
- Ⓔ punto de anclaje, punto de retención
- Ⓕ punto de apoyo
- Ⓖ punto bajo
- Ⓗ
- Ⓘ

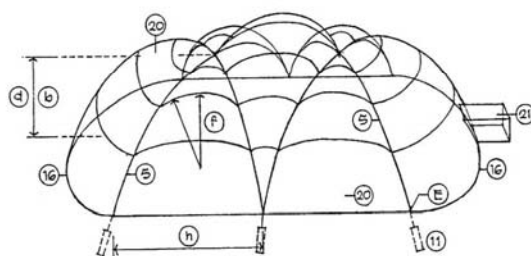
Dimensiones del sistema

- Ⓐ luz
- Ⓑ altura libre
- Ⓒ flecha del cable
- Ⓓ altura del arco (cable)
- Ⓔ altura del pilar
- Ⓕ radio de curvatura
- Ⓖ separación entre pórticos
- Ⓗ separación entre los puntos de anclaje

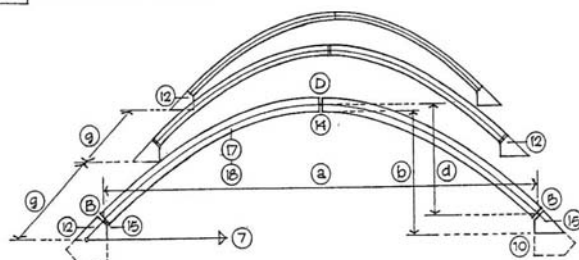
12 Estructuras en forma de tienda



13 Estructuras neumáticas



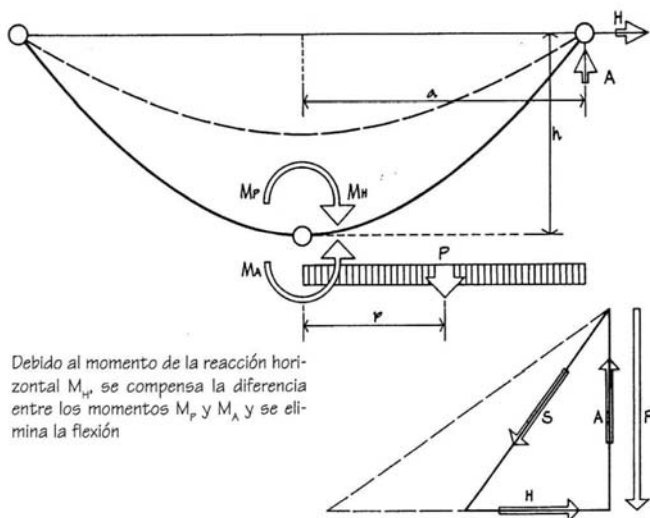
14 Estructuras de arcos



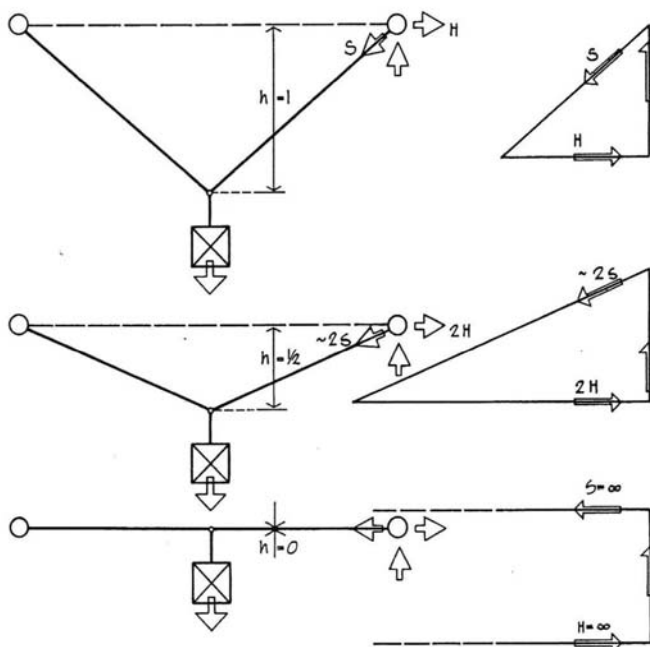
1

64

Mecanismo de palanca del cable suspendido

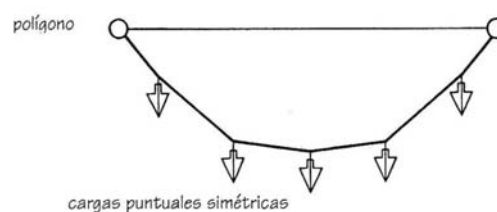
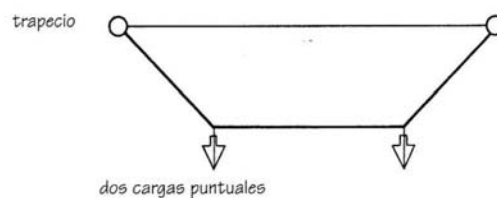
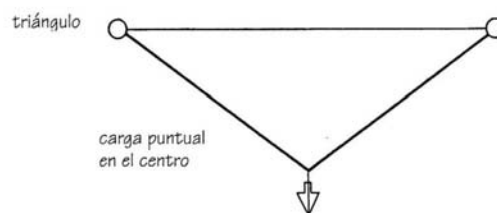
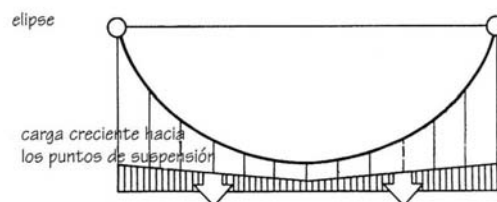
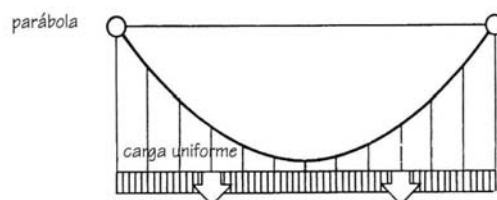


Influencia de la flecha en la distribución de esfuerzos

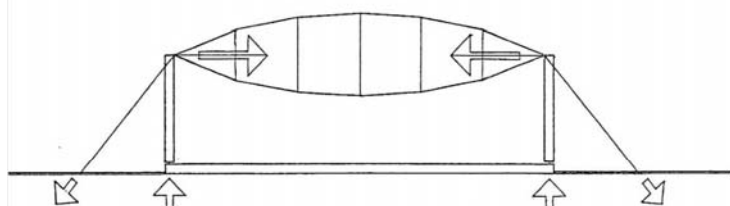


El esfuerzo S en el cable y el empuje horizontal H son inversamente proporcionales a su flecha. Si la flecha es igual a cero, el esfuerzo en el cable y el empuje horizontal se vuelven infinitamente grandes y el cable suspendido no puede absorber la carga

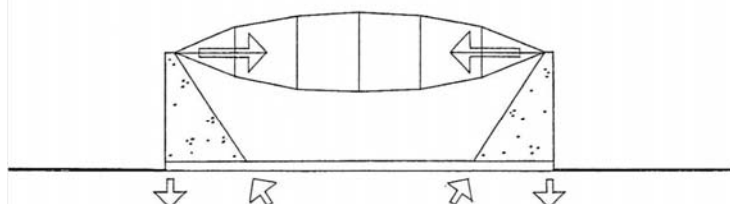
Formas geométricas de un cable



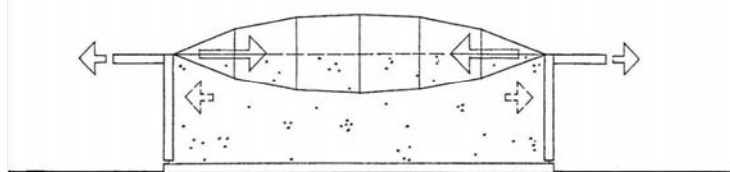
Sistemas de arriostramiento para estabilizar los puntos de suspensión



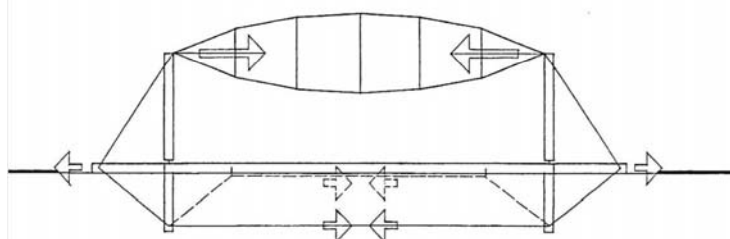
Tensado de los puntos de suspensión con anclaje de los tensores en el suelo



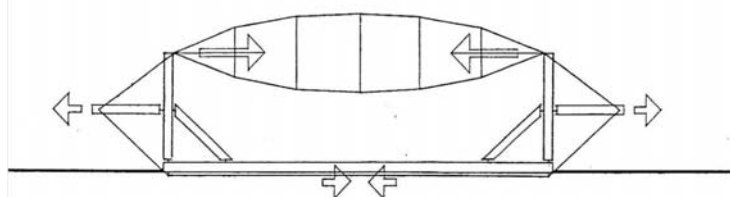
Reorientación de las fuerzas en los puntos de suspensión mediante contrafuertes o riostras



Transmisión de las fuerzas mediante vigas horizontales a unas paredes transversales o vigas a compresión



Tensado de los cables mediante un tirante a tracción bajo la losa del suelo



Tensado y arriostramiento mediante un tirante a tracción en la losa del suelo

Estructuras para los puntos de suspensión

de forma activa



pilar con cable oblicuo



pilar inclinado con cable

de vector activo



pilar de celosía

de sección activa



pilar empotrado



pórtico resistente a flexión

de superficie activa

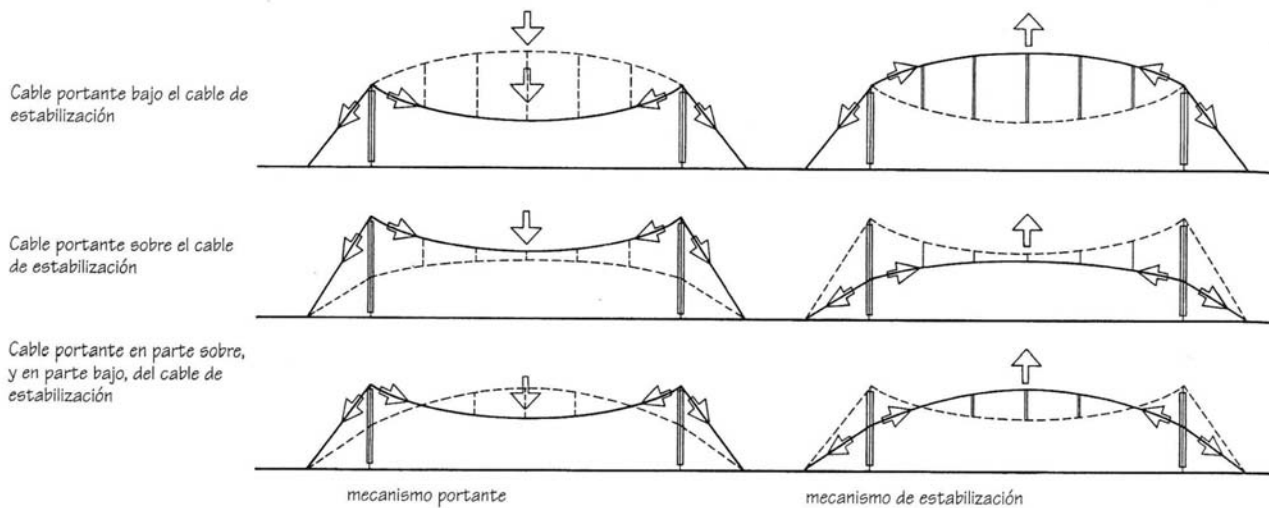


contrafuerte

1

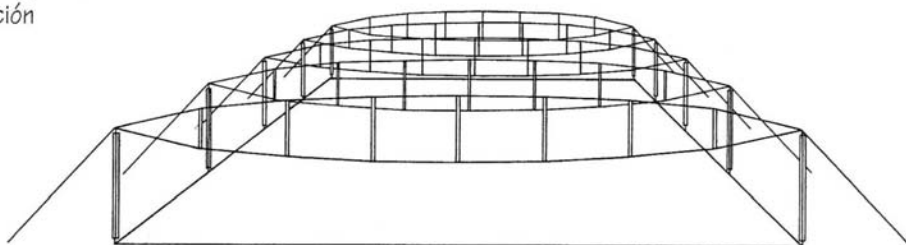
68

Mecanismo portante y de estabilización de los sistemas pretensados

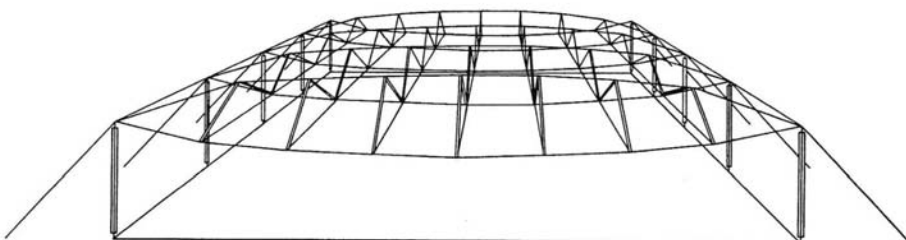


Sistemas con cables portantes y cables de estabilización en una dirección

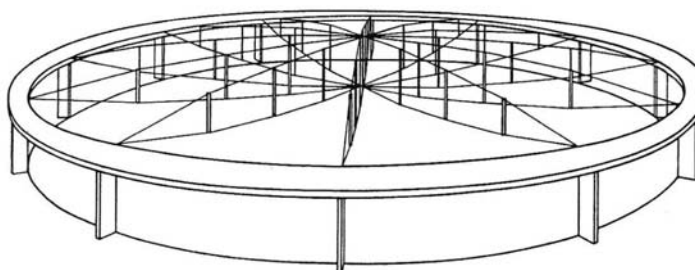
Sistema paralelo bidimensional



Sistema paralelo tridimensional



Sistema de revolución plano

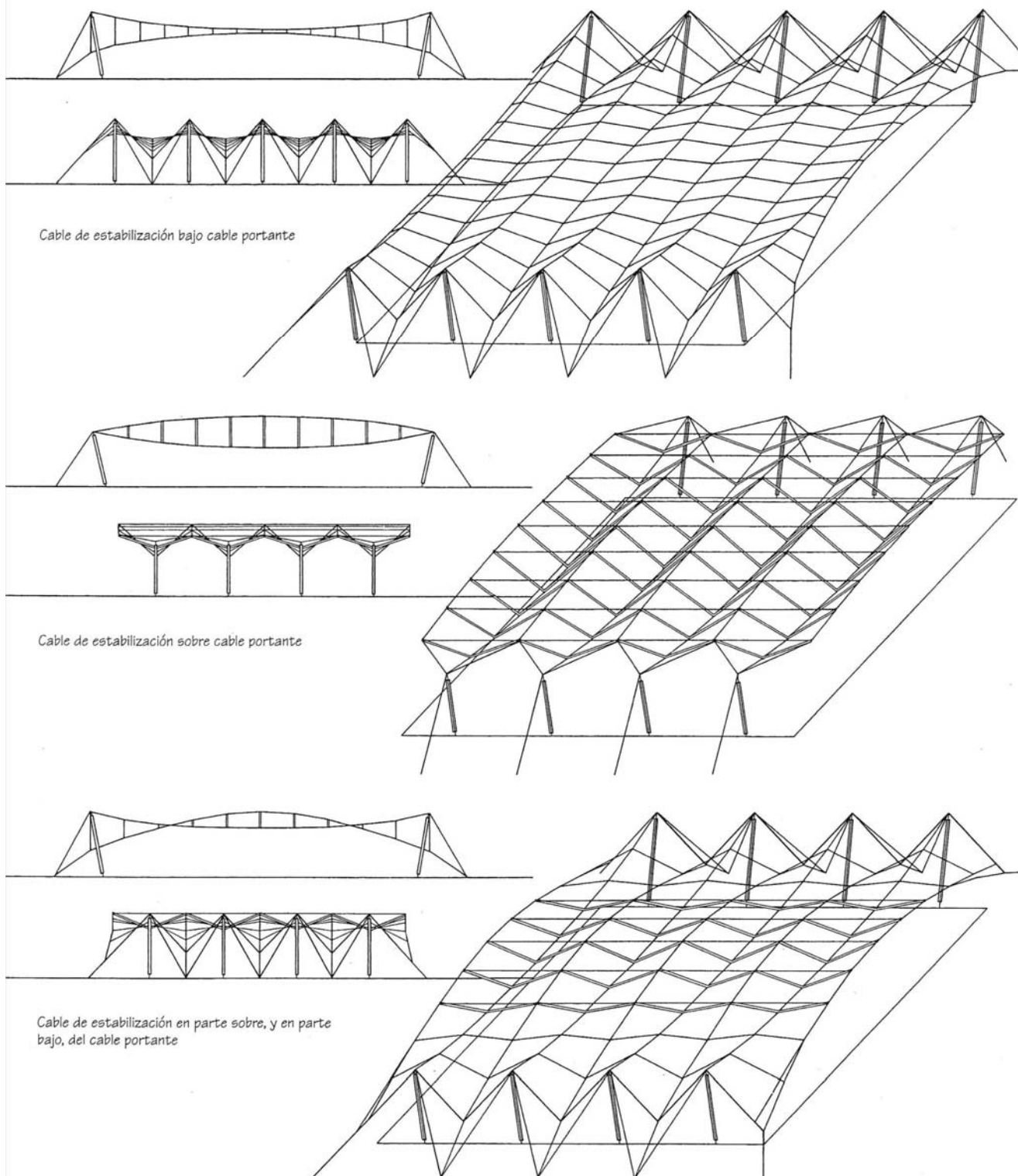


1

70

Sistemas paralelos espaciales estabilizados mediante cables de curvatura opuesta

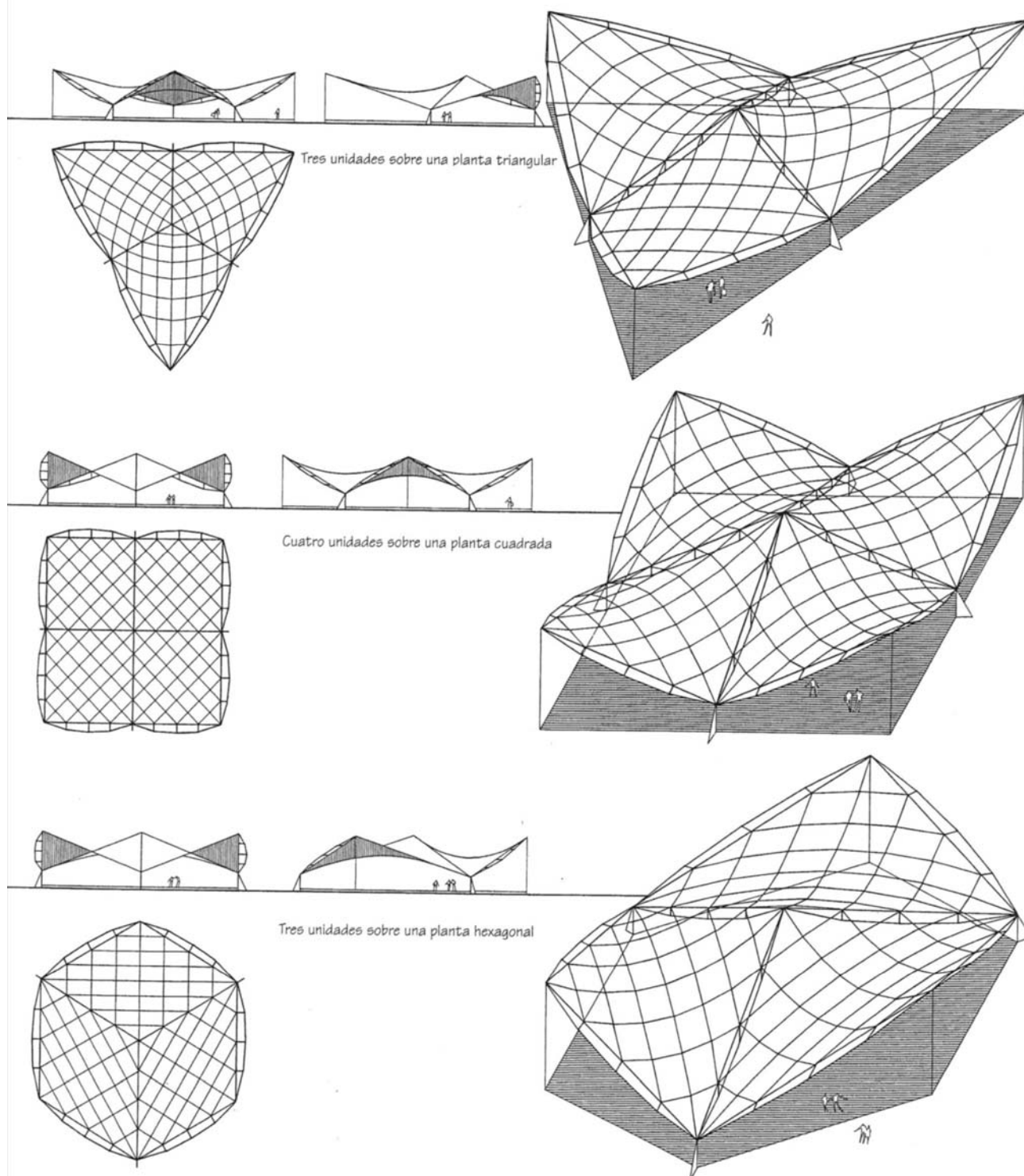
Cable portante y cable de estabilización en diferentes planos



1

84

Combinación de mallas de cables con curvatura
en dos direcciones con perímetro recto



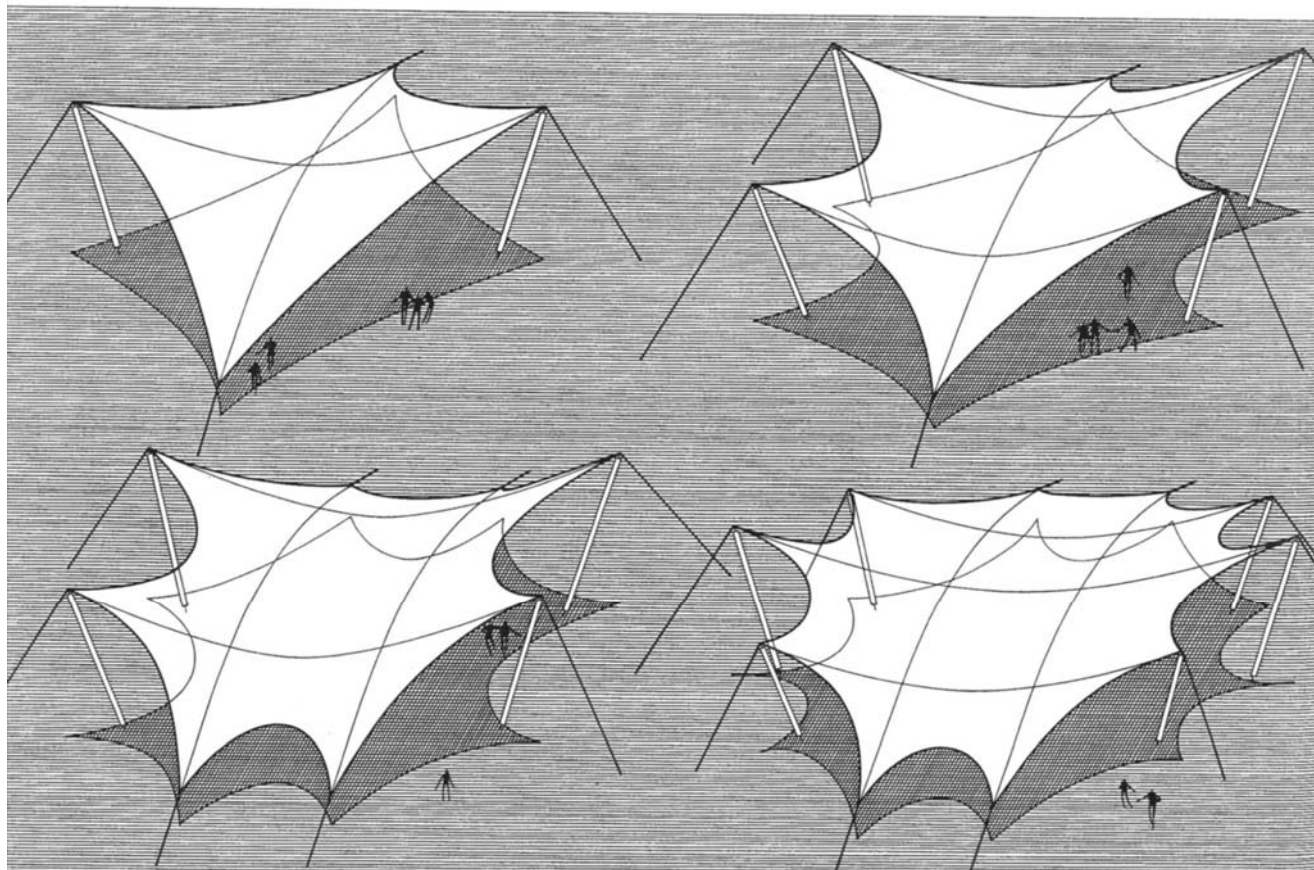
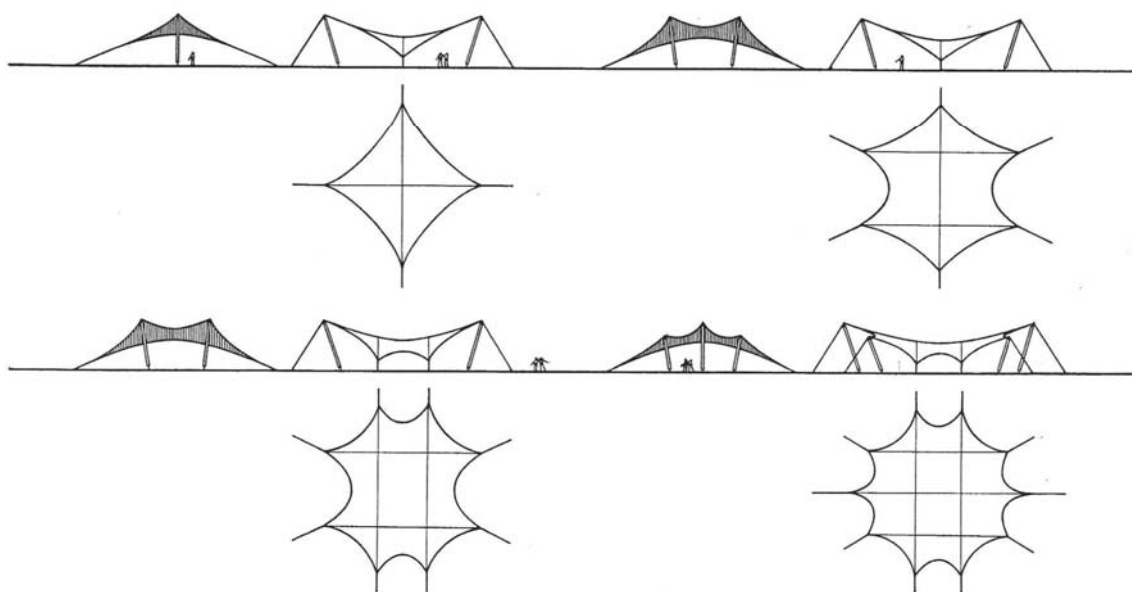
1

86

Sistemas de tenda

Sistemas en forma de tienda con soportes exteriores
mediante barras a compresión

Sistemas con superficies sencillas a dos aguas

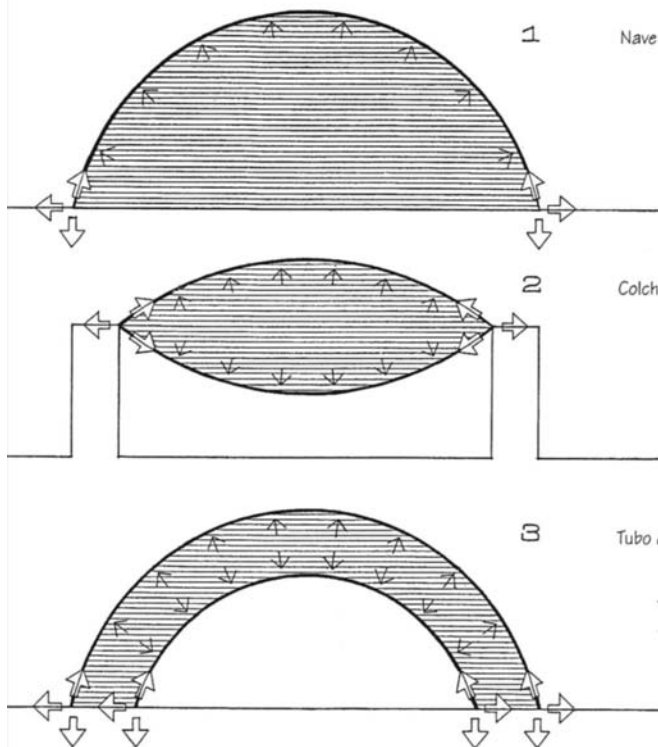


1

102

Sistemas básicos de las estructuras neumáticas

Sistemas a sobrepresión



1

Nave neumática / sistemas de interior bajo presión

La sobrepresión del aire en el espacio interior soporta la envolvente y estabiliza su forma frente a las fuerzas actuantes. El espacio con aire bajo presión es, al mismo tiempo, el "espacio útil" disponible. La membrana envolvente transmite los esfuerzos directamente al perímetro.

2

Colchón de aire / sistema de doble membrana

La sobrepresión del aire en el colchón sólo sirve para estabilizar la membrana portante y, junto con la membrana superior, forma una cubierta. Para absorber los esfuerzos en los extremos de la membrana se necesita una estructura auxiliar de anclaje.

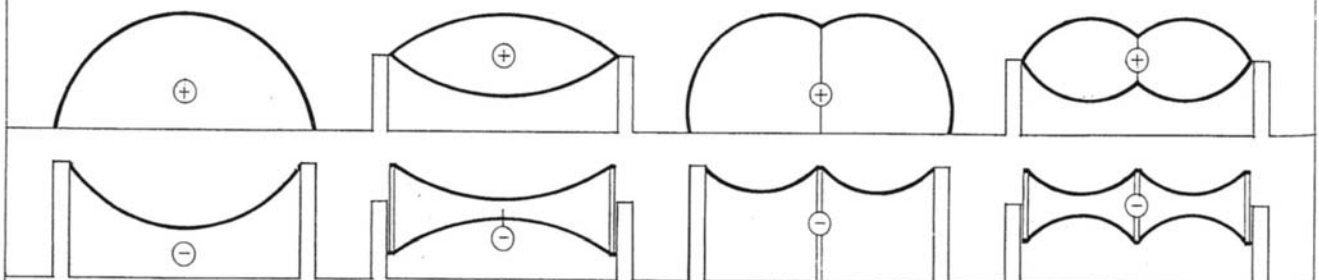
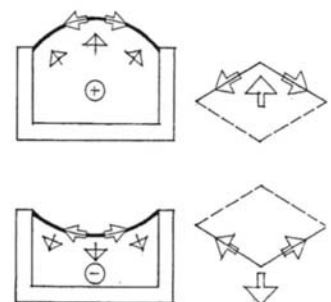
3

Tubo de aire / sistemas de envoltos lineales (sistemas de alta presión)

La sobrepresión estabiliza la forma del tubo para formar elementos portantes lineales que pueden cubrir un espacio de diferentes maneras. Los esfuerzos en la membrana, al igual que en el caso de la nave bajo presión, se transmiten directamente al perímetro.

Excepción: sistemas por depresión

La práctica de hacer derivar los sistemas portantes por depresión a partir del principio mecánico de la sobrepresión del aire y considerarlos como un tipo estructural independiente no es correcta. Pues, en este caso, el POTENCIAL PARA FORMAR SÓLIDOS del aire no se aprovecha, y ha de reemplazarse por complicadas estructuras de soporte adicionales. Los sistemas por depresión no constituyen un tipo de estructura, sino que son CONSTRUCCIONES PARA ESTABILIZAR membranas portantes (suspendidas).

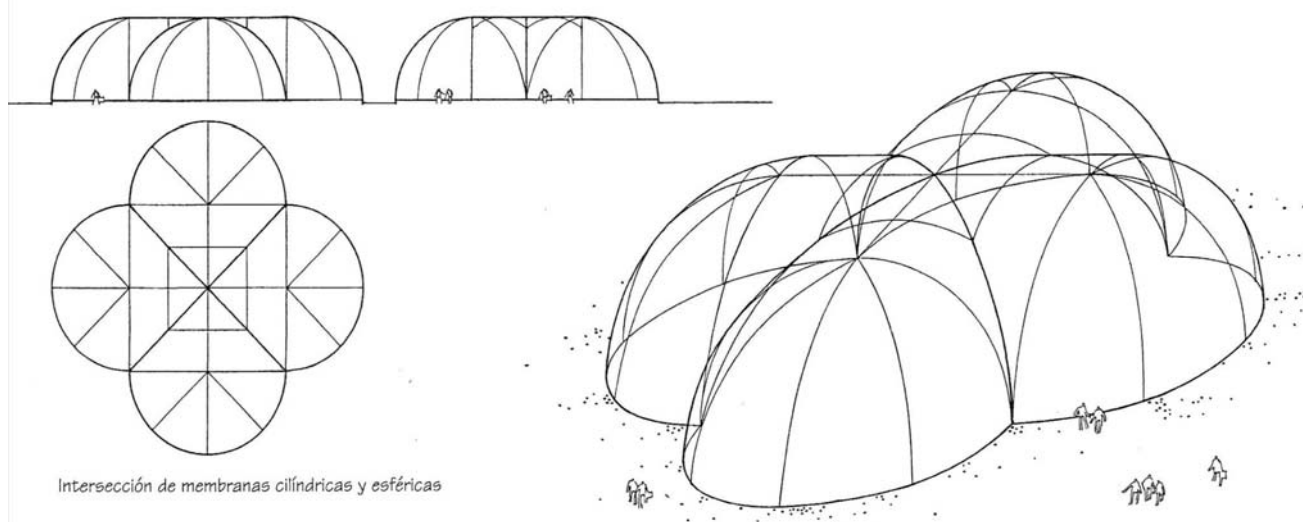
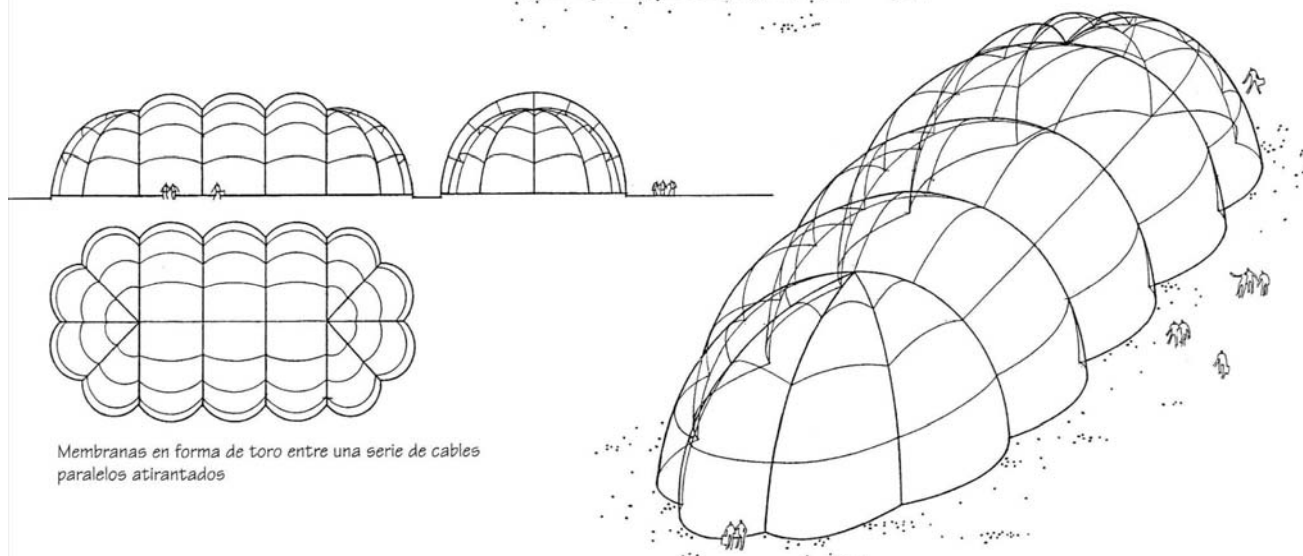
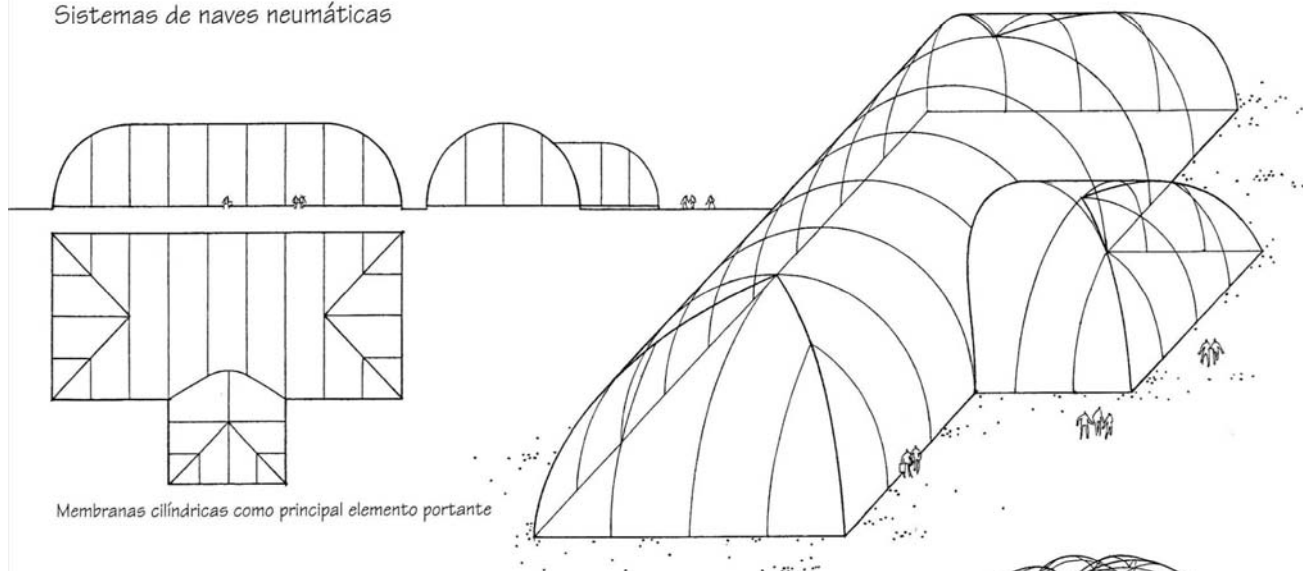


Comparación entre estructuras bajo presión y estructuras por depresión

1

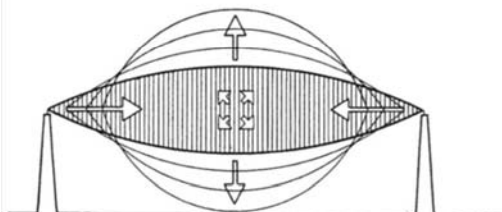
106

Sistemas de naves neumáticas



1

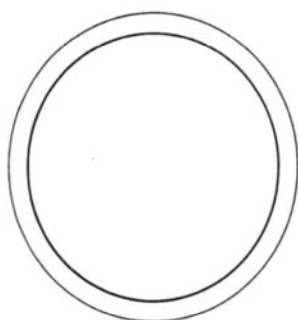
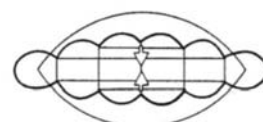
110



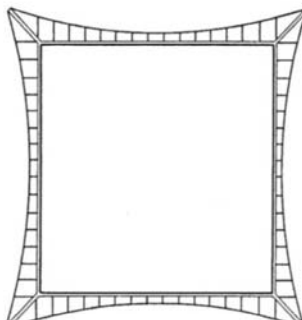
Sistemas de doble membrana

Cerrando el espacio bajo presión con una segunda membrana (en vez de llevarlo hasta el suelo) se puede cubrir espacio dejando los laterales abiertos hacia el exterior. Para el correcto funcionamiento del mecanismo portante es imprescindible evitar el abombamiento excesivo de la zona central.

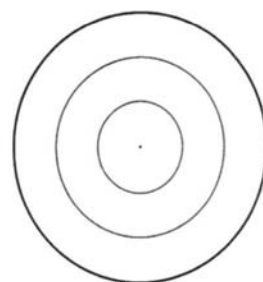
Sistemas de retención para los colchones de aire



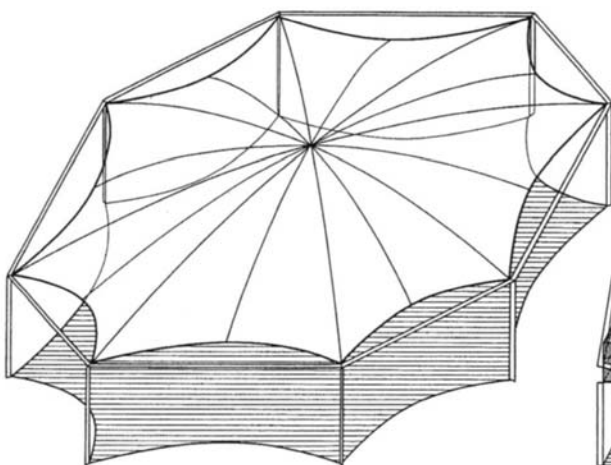
Fijación perimetral con anillo a compresión



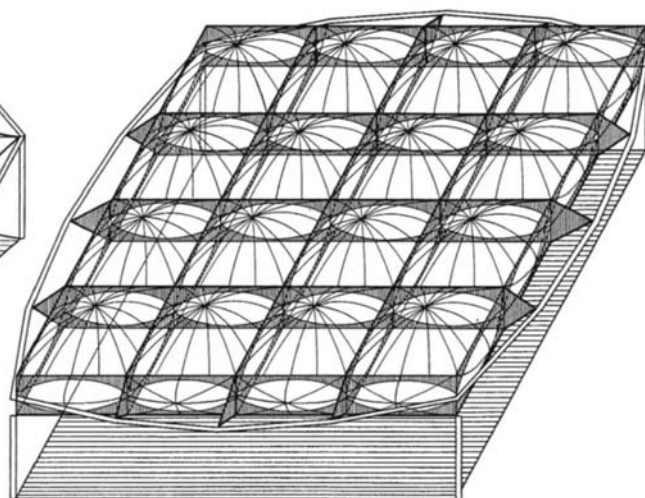
Fijación perimetral con barras a compresión y cables a tracción



Control de la altura mediante cables o nervios internos

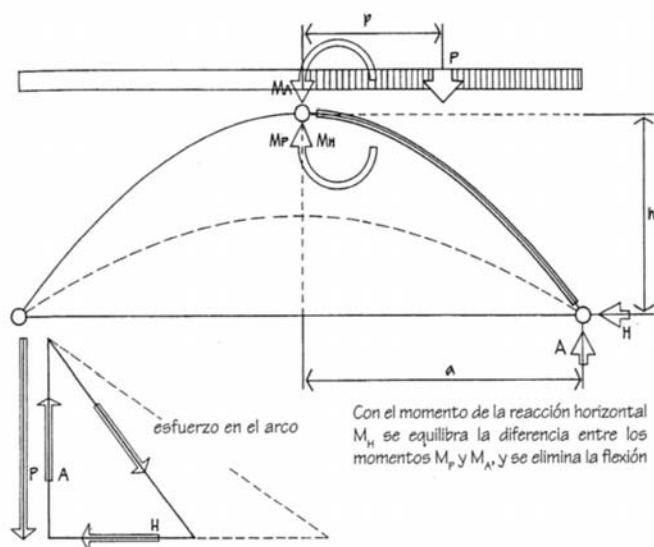


Sistema de cámara única con anillo de barras a compresión como mecanismo de retención

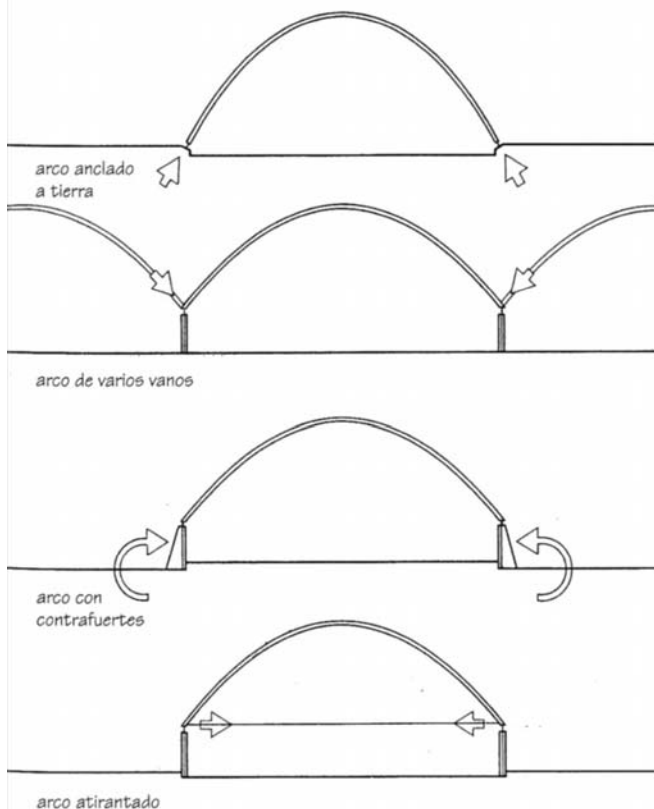


Sistema de múltiples cámaras con nervios y arcos a compresión como mecanismo de retención

Mecanismo de palanca del arco funicular

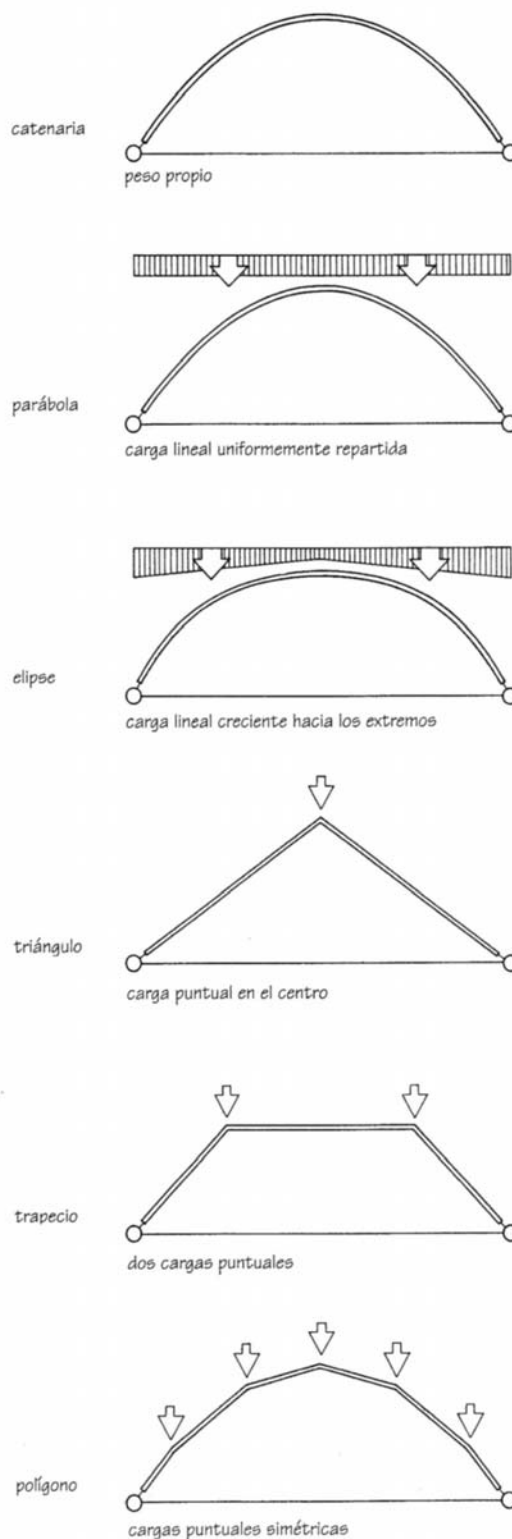


Sistemas de arcos caracterizados por el tipo de absorción de empujes horizontales



Formas geométricas

en función del estado de cargas

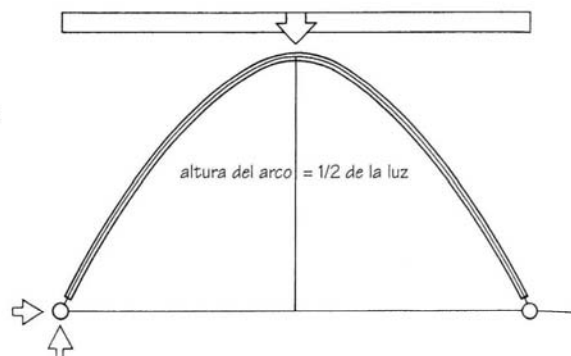


1

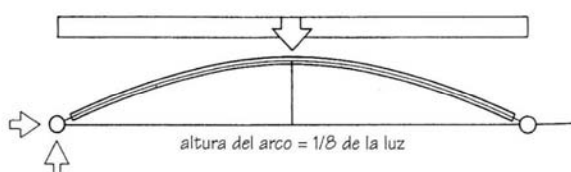
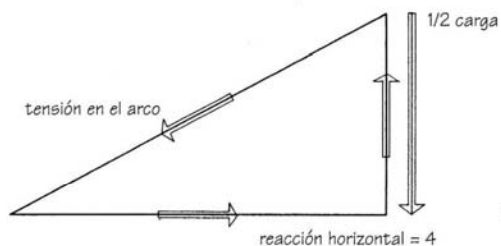
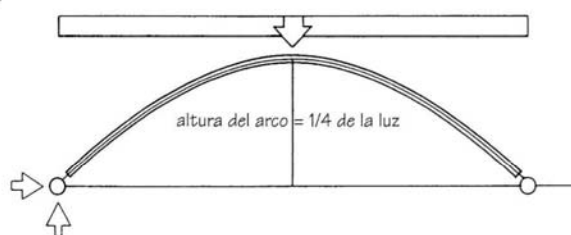
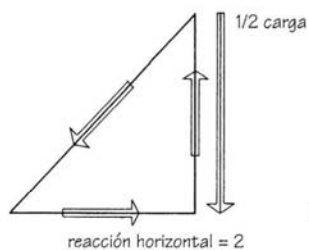
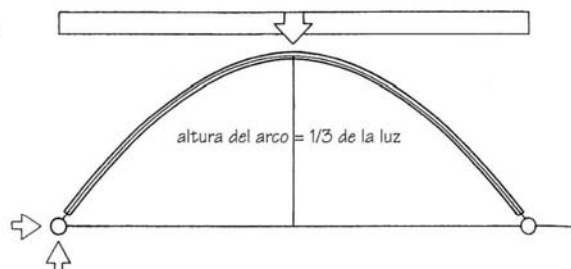
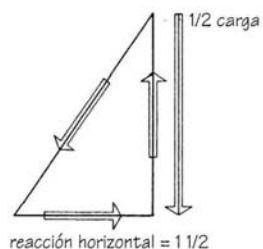
114

Sistemas de arco: arco funicular

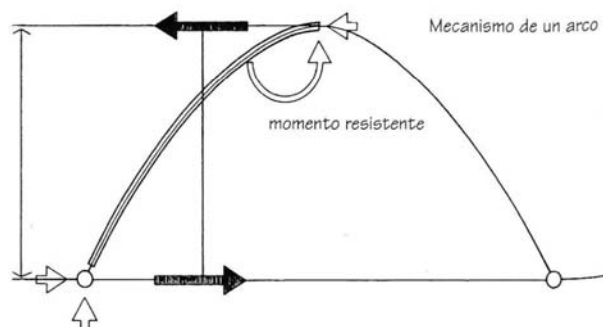
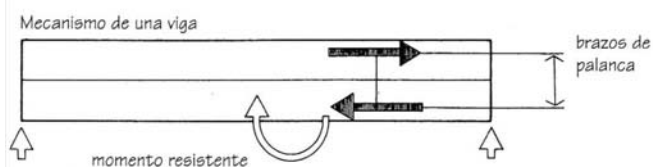
Influencia de la altura del arco en las reacciones en los puntos de apoyo



El empuje horizontal de un arco funicular es inversamente proporcional a su altura. Para reducir el empuje horizontal en los apoyos, el arco debería ser lo más alto posible



Comparación entre el mecanismo de una viga y de un arco



115

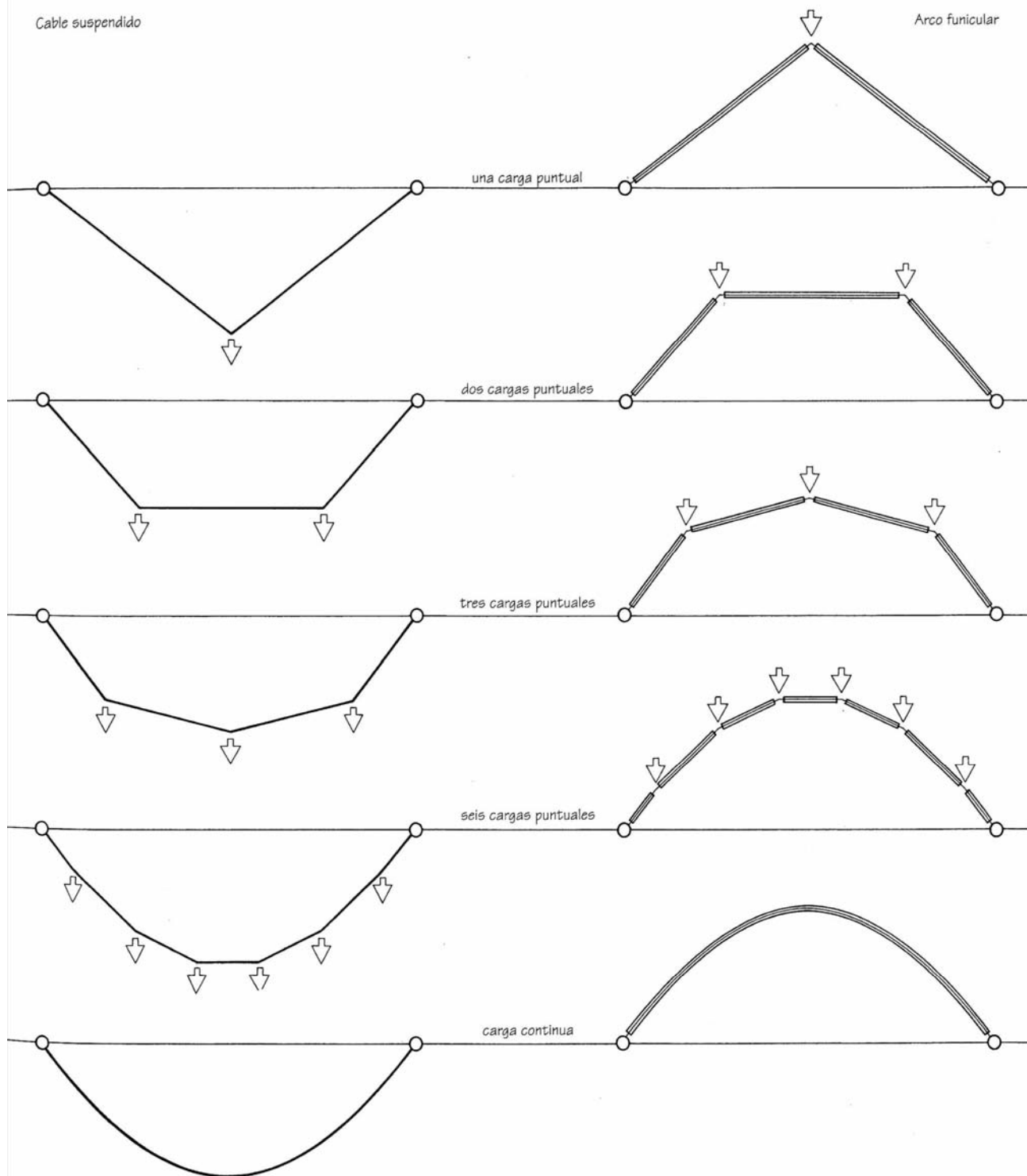
Estructuras de arcos: arco funicular

Forma activa **1**
Sistemas de estructuras de

Relaciones entre cable suspendido y arco funicular

Cable suspendido

Arco funicular

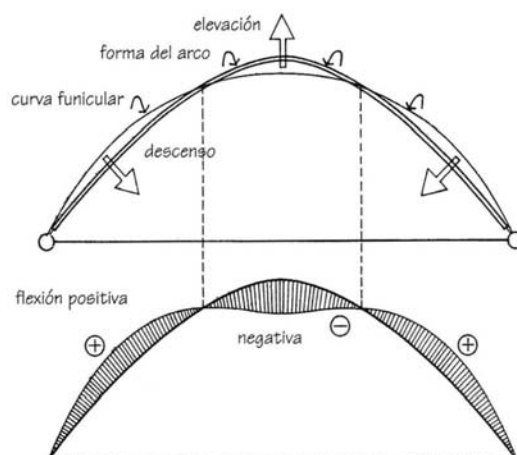
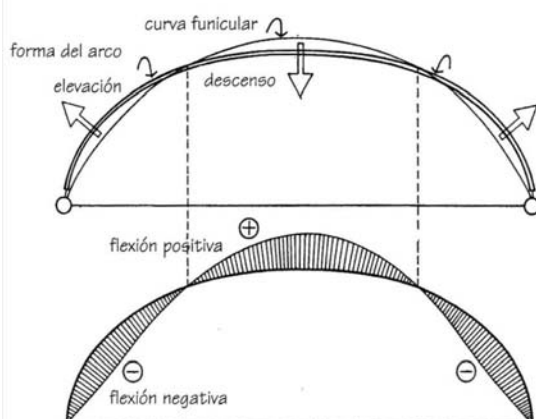


1

116

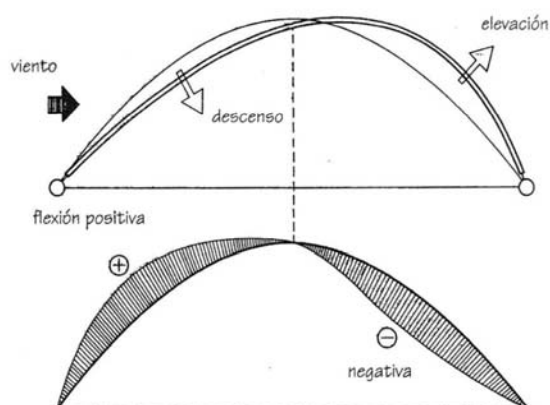
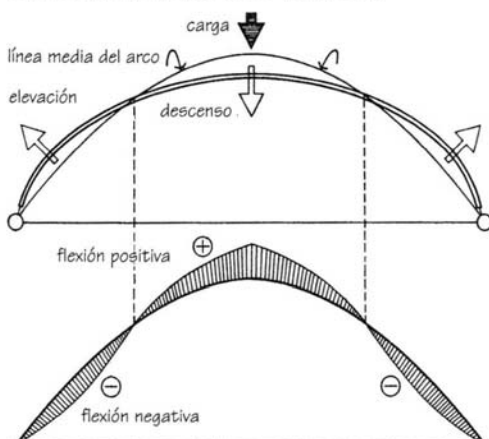
Sistemas de arco: arco funicular

Flexión debida al desplazamiento de la línea media del arco de la curva funicular



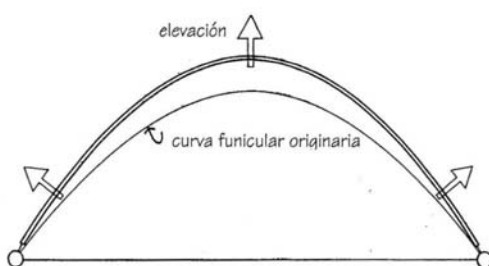
Cualquier desplazamiento de la línea media del arco de la curva funicular provoca una elevación o un descenso del arco, y con ello una flexión

Flexión debida a la aparición de cargas adicionales tanto horizontales como verticales



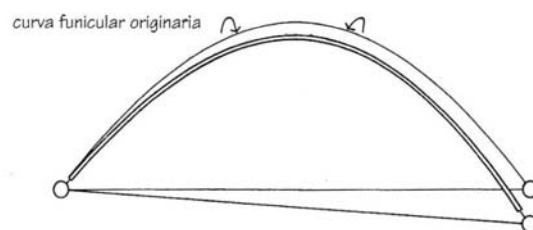
Cualquier carga adicional provoca una modificación en la forma del arco y con ello su línea media se aparta de la curva funicular, provocando una flexión

Cambios térmicos



Una dilatación (o contracción) debido a un cambio de temperatura provoca flexión

Asientos de la cimentación

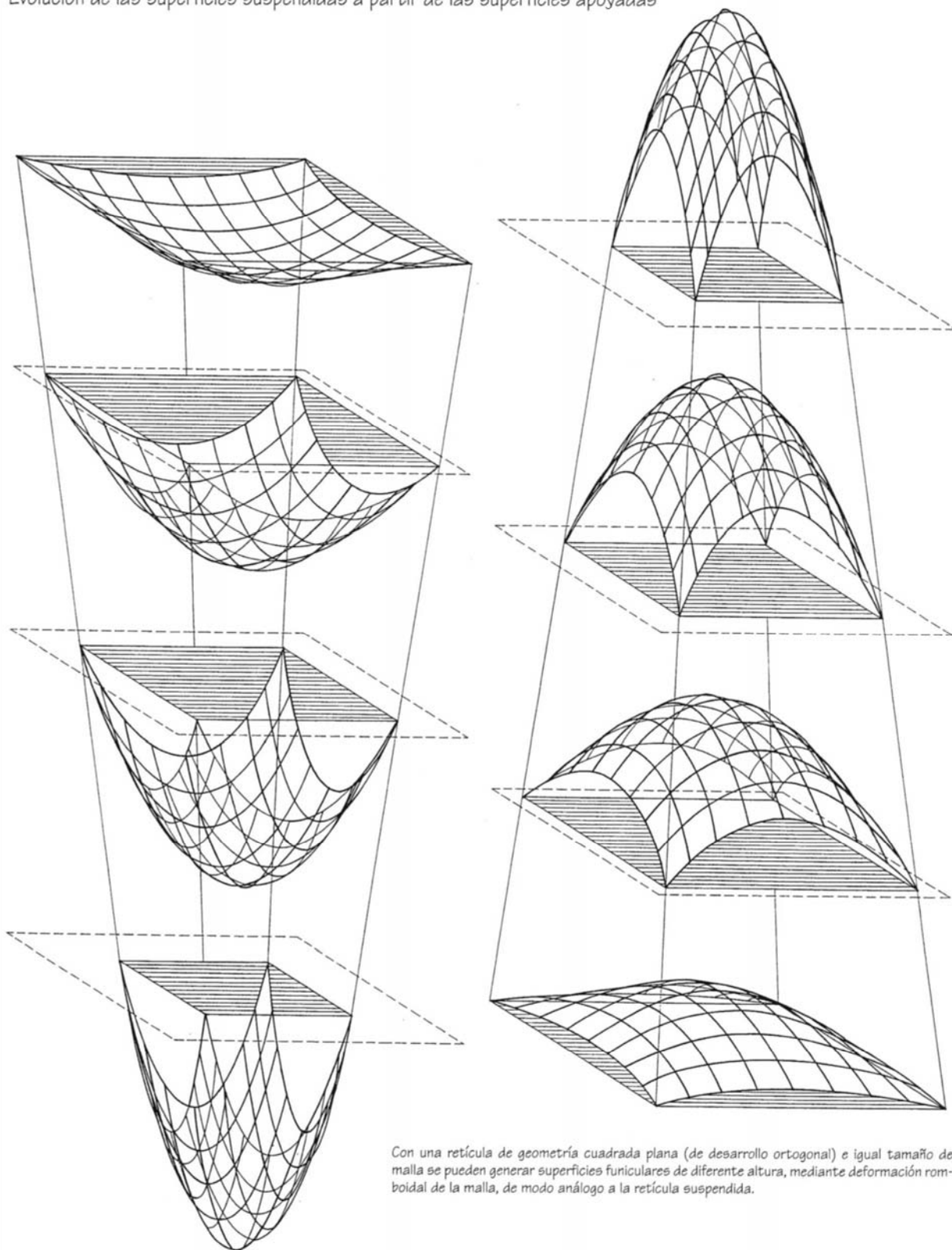


El desplazamiento de las sobrecargas a causa de un asiento diferencial origina flexión

1

122

Evolución de las superficies suspendidas a partir de las superficies apoyadas



Con una retícula de geometría cuadrada plana (de desarrollo ortogonal) e igual tamaño de malla se pueden generar superficies funiculares de diferente altura, mediante deformación romboidal de la malla, de modo análogo a la retícula suspendida.

Los elementos cortos, rígidos y rectos, es decir, las barras, son elementos estructurales que, por su reducida sección en comparación con su longitud, sólo pueden transmitir solicitaciones que actúan en la dirección de las barras, es decir, fuerzas normales (tracciones y compresiones): barras a tracción y barras a compresión.

Las barras traccionadas o comprimidas unidas de manera que formen un triángulo forman una unidad estable que, si se sustenta adecuadamente, puede transmitir diferentes cargas, incluso asimétricas, a los extremos.

Las barras traccionadas o comprimidas colocadas y unidas de una manera determinada para formar un sistema con nudos articulados forman mecanismos que pueden dirigir las fuerzas y transmitir las cargas a lo largo de grandes espacios sin pilares: sistemas de vector activo (vector = línea que representa la magnitud y el sentido de la fuerza).

La característica de los sistemas de estructuras de vector activo es la triangulación.

Los sistemas de estructuras de vector activo cambian la dirección de las fuerzas dividiendo las solicitaciones en diferentes direcciones a través de dos o más barras y las equilibran mediante las correspondientes reacciones, los vectores.

En los sistemas de estructuras de vector activo la posición de las barras en relación con la dirección de las solicitaciones determina la magnitud de las fuerzas vectoriales en las barras. Es conveniente un ángulo de 45° a 60° respecto a la dirección de la solicitación; así se consigue un cambio de dirección eficaz con fuerzas vectoriales relativamente pequeñas.

Los sistemas estructurales de vector activo son conjuntos de barras cuya eficacia se basa en el comportamiento conjunto de los diferentes elementos que trabajan a tracción o a compresión.

Conocer cómo cambia la dirección de las solicitaciones a través de su descomposición en vectores y cómo se puede controlar su magnitud es imprescindible para desarrollar ideas estructurales sobre una base de vector activo.

Dado que la composición y descomposición de las solicitaciones es el fundamento de cualquier

transformación físico-mecánica y, por ello, constituye la esencia de cualquier proyecto de estructura portante, las bases de los sistemas de estructuras de vector activo no sólo afectan a las estructuras trianguladas, sino a cualquier tipo de estructura destinada a cambiar la dirección de las solicitaciones para conseguir espacios diáfanos.

El cambio de dirección de las solicitaciones mediante elementos vectoriales no debe efectuarse en un sólo plano y la transmisión de esfuerzos no debe realizarse en un sólo eje. La descomposición puede efectuarse tanto en superficies curvas como en dirección tridimensional.

Disponiendo barras en superficies de curvatura simple o doble, se integra la ventaja del cambio de dirección de las solicitaciones de los sistemas estructurales de forma activa y con ello se crea un mecanismo portante capaz de soportar y transmitir cargas de manera coherente: celosías curvas.

La ampliación biaxial de las estructuras de barras trianguladas conduce a las mallas espaciales planas.

Conocer la geometría espacial, las propiedades de los poliedros y las leyes de la trigonometría esférica es imprescindible para aplicar las múltiples posibilidades de las mallas espaciales.

La descomposición vectorial de las solicitaciones también se puede emplear en otros sistemas estructurales, sobre todo si, debido al peso propio elevado, se aproximan a los límites de las posibilidades de ejecución. Por lo tanto, los arcos, pórticos o láminas también se pueden proyectar y construir como elementos reticulares.

Los sistemas de estructuras de vector activo también pueden compararse, en cuanto a la distribución de tensiones, con aquellas estructuras compactas cuya forma exterior es parecida: en una viga de celosía apoyada en sus dos extremos y con barras paralelas, las tensiones en cada una de las barras se asemejan, en sentido y magnitud, a las tensiones internas de una viga apoyada en sus dos extremos.

Debido a la elevada eficacia respecto a estados de cargas variables y a la yuxtaposición de pe-

queños elementos rectilíneos, los sistemas de estructuras de vector activo son especialmente apropiados como sistemas portantes para edificios de gran altura.

Los sistemas de estructuras de vector activo presentan grandes ventajas como estructuras verticales para edificios de gran altura. Diseñados adecuadamente, pueden combinar las funciones estáticas de agrupamiento de cargas lineal, transmisión directa de las cargas y rigidización lateral frente al viento.

Debido a sus posibilidades ilimitadas para extenderse en tres dimensiones mediante elementos estandarizados, sin obstaculizar apenas el espacio, los sistemas de estructuras de vector activo son la estructura portante adecuada para las ciudades dinámicas del futuro.

Los sistemas de estructuras de vector activo son el requisito necesario para desarrollar a fondo el urbanismo de la ciudad en su tercera dimensión: la altura. Sólo a través de estructuras espaciales de vector activo se puede resolver técnicamente la construcción de espacios tridimensionales a escala urbana.

Por lo tanto, conocer los sistemas de estructuras de vector activo no sólo es imprescindible para los proyectistas de edificios de gran altura, sino también para los futuros proyectistas de estructuras urbanas tridimensionales.

Los sistemas de estructuras de vector activo, debido a su transparencia, expresan convincentemente la capacidad humana de inventiva para manipular las fuerzas y dominar la gravedad.

Como hasta ahora las celosías sólo se han tratado desde un punto de vista meramente ingenieril, el potencial estético de los sistemas de vector activo no se ha explotado. En consecuencia, su aplicación en los edificios de gran altura se caracteriza, por un lado, por su gran eficiencia estructural y por el otro, por el descuido (desprecio) de sus posibilidades formales.

En el futuro, con el desarrollo de nudos claros y enfatizados y barras de sección sencilla y esbelta, también las celosías y mallas espaciales se podrán dominar estéticamente y jugar el papel formal que les corresponde por su potencial formal y capacidad portante.

Definición

LOS SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE VECTOR ACTIVO son sistemas portantes formados por elementos lineales (barras), en los que la transmisión de las fuerzas se realiza por DESCOMPOSICIÓN VECTORIAL, es decir, a través de una SUBDIVISIÓN MULTIDIRECCIONAL DE LAS FUERZAS

Fuerzas

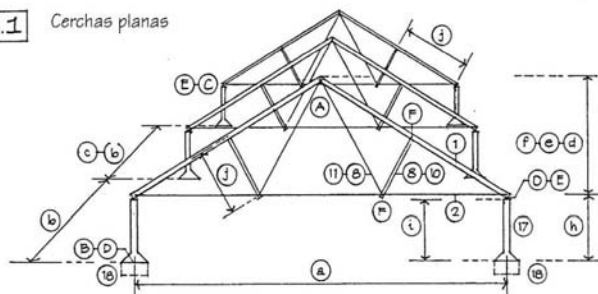
Los elementos del sistema (cordones, barras) están sometidos a compresiones o bien a tracciones:
SISTEMAS MIXTOS DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN

Características

Las características estructurales típicas son:
TRIANGULACIÓN y UNIÓN MEDIANTE NUDOS

Componentes y denominaciones

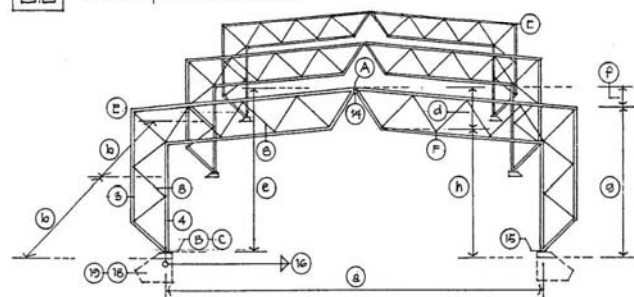
2.1 Cerchas planas



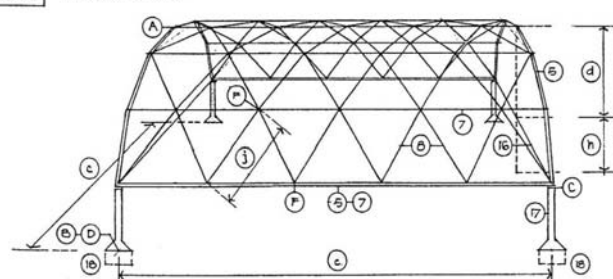
Elemento del sistema

- ① Cordón superior
- ② Cordón inferior
- ③ Cordón exterior
- ④ Cordón interior
- ⑤ Cordón perimetral
- ⑥ Cordón transversal
- ⑦ Cordón longitudinal
- ⑧ Barra
- ⑨ Barra diagonal, jalcón
- ⑩ Barra a compresión
- ⑪ Barra a tracción
- ⑫ Nudo, unión puntual
- ⑬ Articulación
- ⑭ Articulación de cumbrera
- ⑮ Articulación de base
- ⑯ Tirante
- ⑰ Pilar
- ⑱ Cimentación
- ⑲ Estribo / Contrafuerte
- ⑳ Apoyo
- ㉑ Empotramiento

2.2 Cerchas planas combinadas



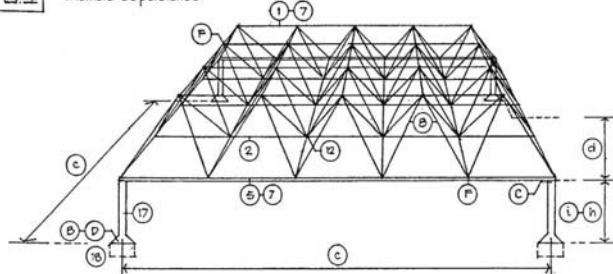
2.3 Cerchas curvas



Puntos topográficos del sistema

- A Cumbrera
- B Base
- C Apoyo
- D Empotramiento
- E Alero
- F Nudo

2.4 Mallas espaciales

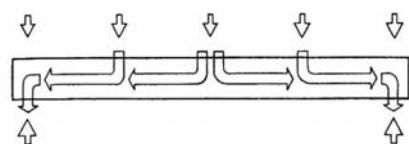


Dimensiones del sistema

- a Luz
- b Separación entre pórticos
- c Separación entre pilares
- d Altura de la estructura
- e Altura de las cerchas
- f Pendiente
- g Altura del alero
- h Altura libre
- i Altura pilares, longitud pilares
- j Longitud de las barras

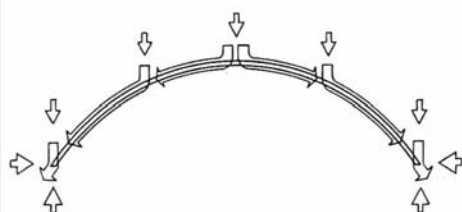
Mecanismo de cercha / Comparación con otros mecanismos de reconducción de fuerzas

Arriostramiento de cercha mediante triangulación del bastidor



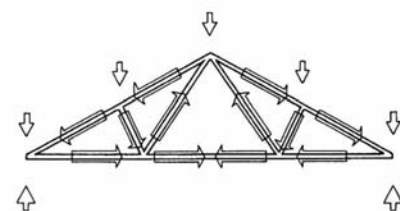
Mecanismo de viga

Transmisión de fuerzas mediante la sección del material.



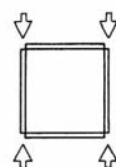
Mecanismo de arco

Transmisión de fuerzas exteriores mediante forma material adecuada.

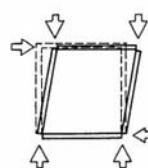


Mecanismo de cercha

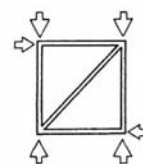
Transmisión de fuerzas exteriores mediante el esquema adecuado de barras individuales.



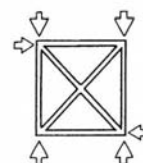
Un bastidor con cuatro articulaciones en las esquinas sólo está en equilibrio en teoría.



Con una carga asimétrica, el sistema no funciona si las esquinas no se rigidizan.

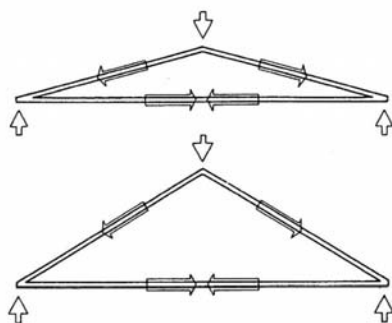


Las barras diagonales impiden la deformación. El bastidor se convierte en cercha.

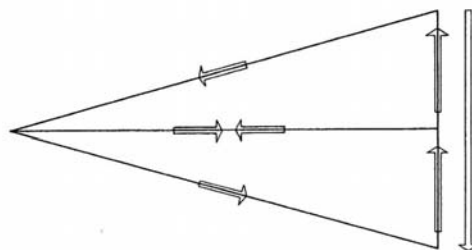


Una segunda barra diagonal aumenta el arriostramiento, pero no es imprescindible para el efecto vectorial.

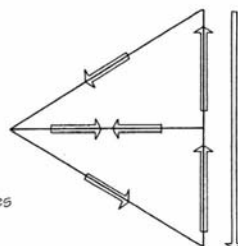
Sistema de separación de vectores



Cada fuerza exterior se conserva en equilibrio mediante dos o más fuerzas vectoriales



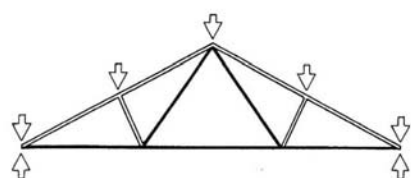
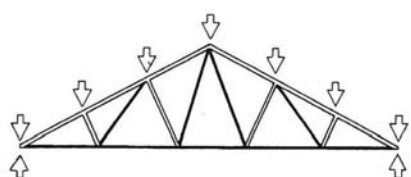
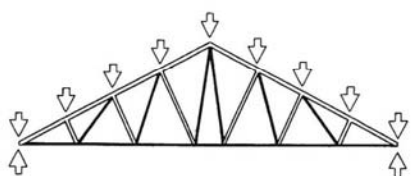
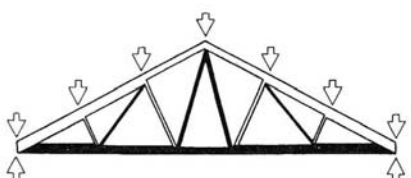
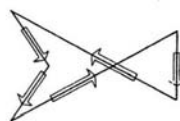
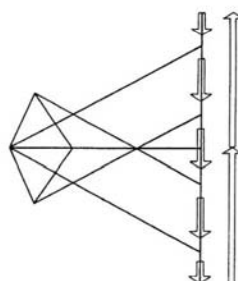
El canto se reduce: los esfuerzos en las barras aumentan, porque su componente en dirección de la acción exterior se reduce, perdiendo así efectividad.



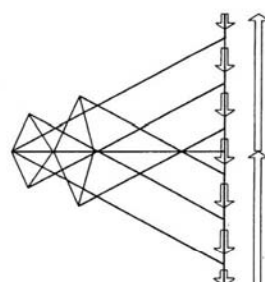
El canto aumenta: los esfuerzos en las barras se reducen, porque su componente en dirección de la acción exterior aumenta, resultando más efectiva.

141

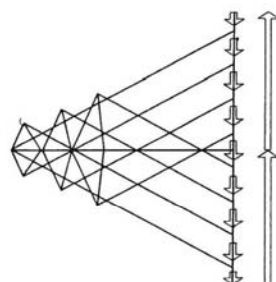
Cerchas planas

Vector activo **2**
Sistemas de estructuras deInfluencia de la división del esquema de barras
sobre la distribución de tensionesesquema de barras
en 4 áreasesquema de barras
en 6 áreasesquema de barras
en 8 áreasComparación de dimensiones tensionales en las
barras individualesInfluencia de la distribución de las barras en la distribución
de tensiones en los nudosA pesar de la introducción de una barra adicional, las tensiones
aumentan en las barras del vértice por la disposición poco efectiva de
los ángulos en las barras intermedias.

cuatro módulos

Tensiones principales (compresión) en las
barras del cordón superior.

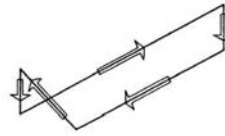
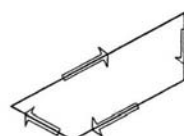
seis módulos

Reducción considerable de las longitudes
de pandeo en el cordón superior. Notable
bajada de tensiones en las barras diagonales.

ocho módulos

Reducción menor de las longitudes de
pandeo del cordón superior. La tensión en
las barras diagonales apenas baja.

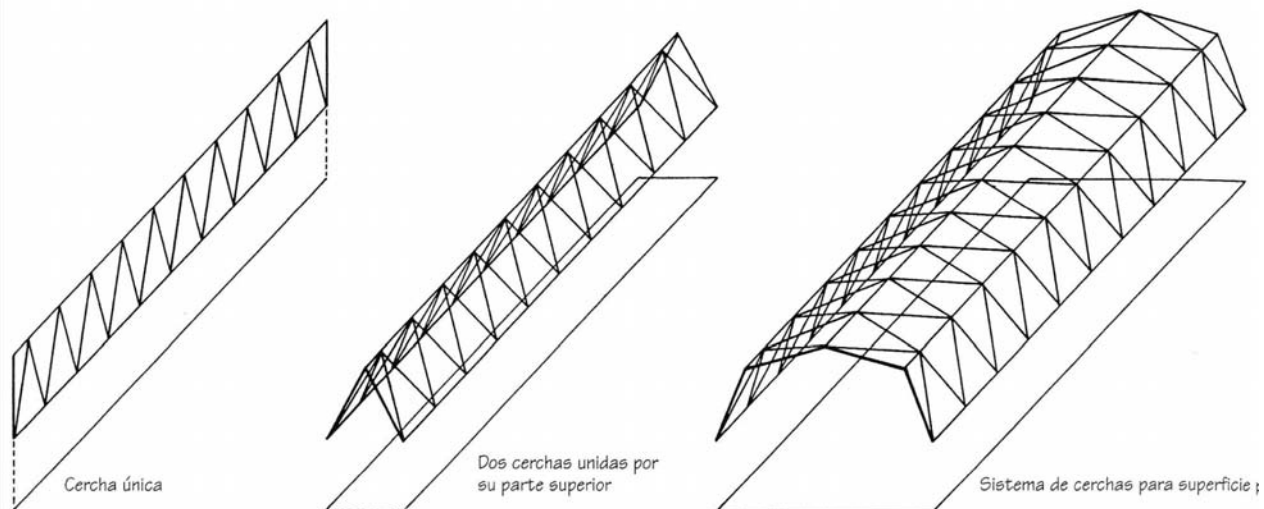
Estado de carga uniforme

A pesar del aumento de barras, las tensiones en el nudo apenas se
reducen debido al cambio de ángulos de las barras intermedias.

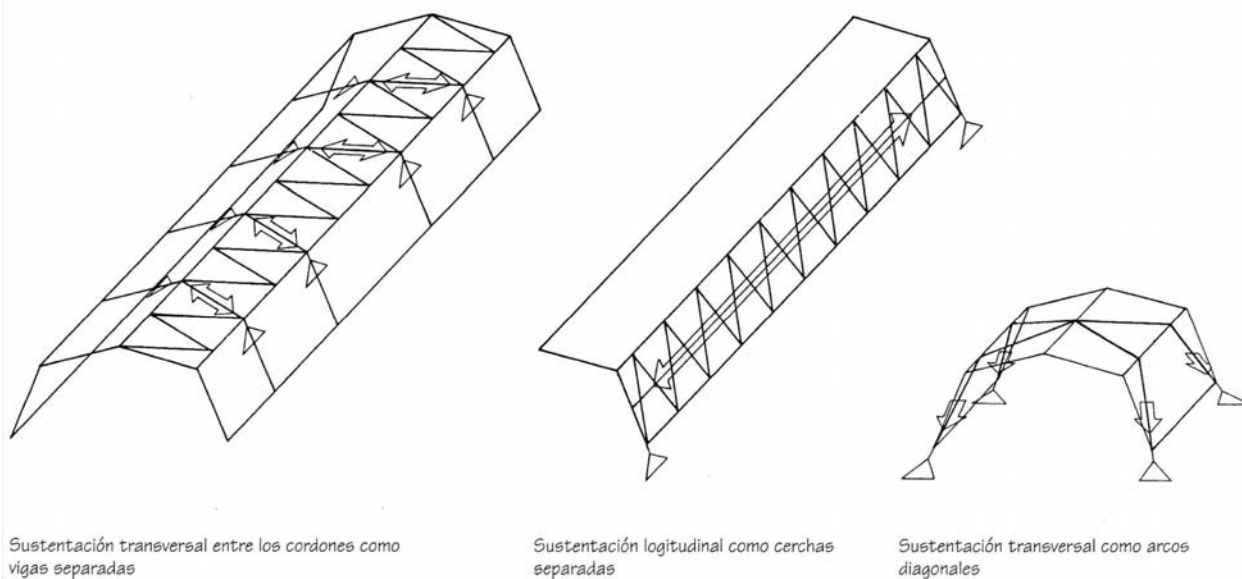
2

148

Combinación de cerchas bidimensionales para la creación de sistemas de cerchas en planos plegados o curvados



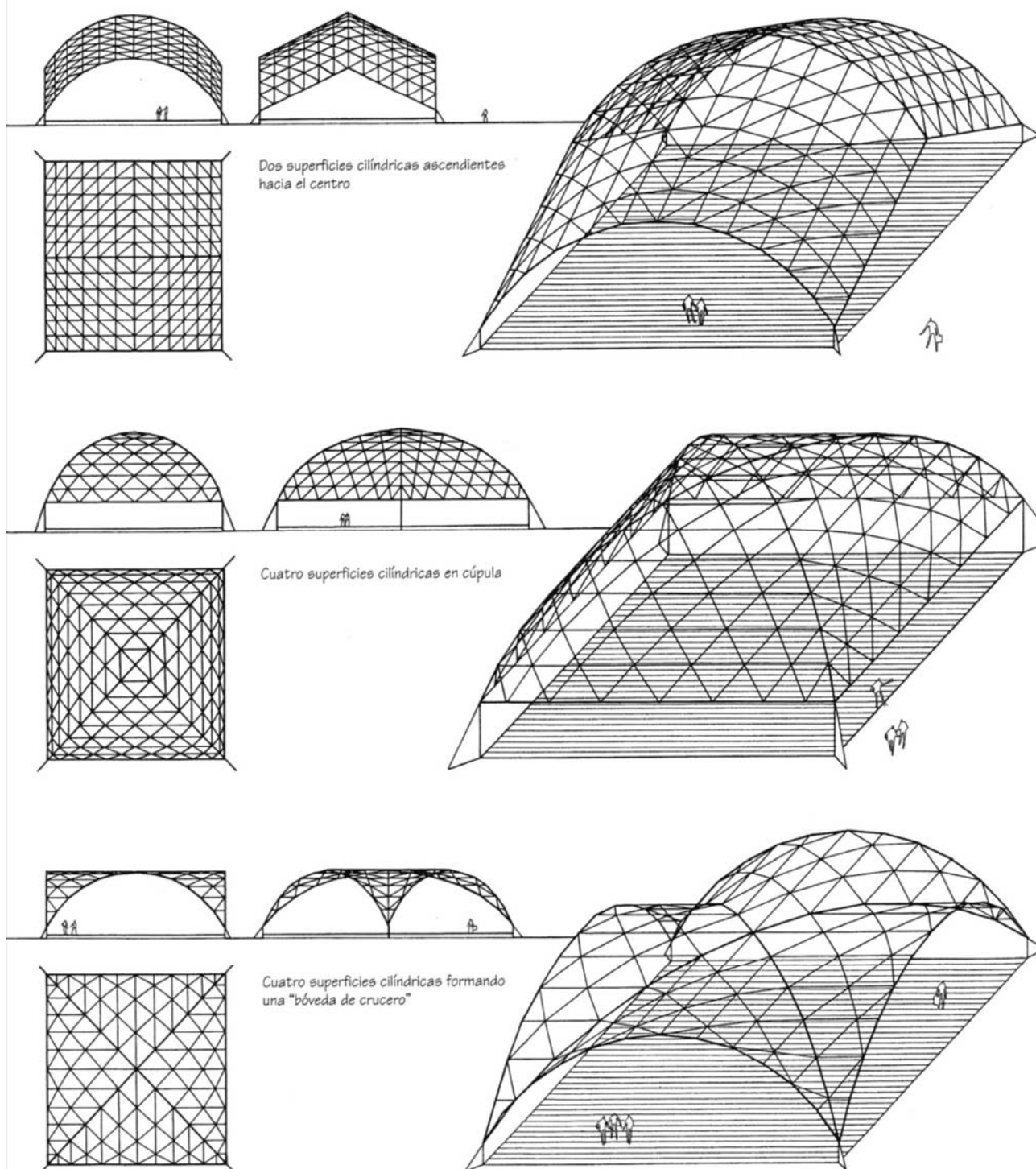
Sustentación triple de la cercha espacial prismática



2

150

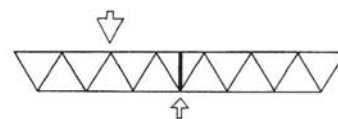
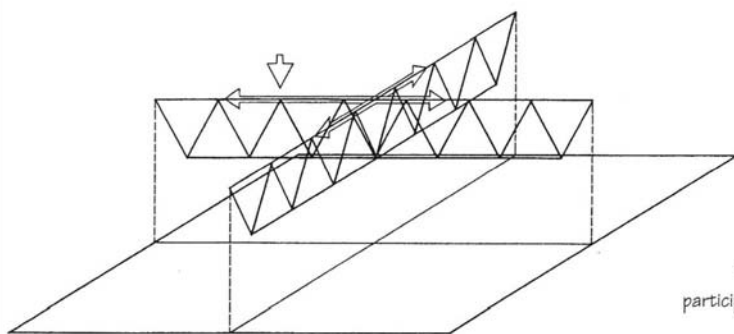
Sistemas de cerchas para superficies de curvatura simple



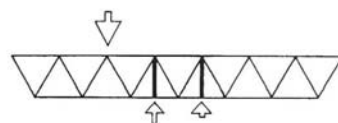
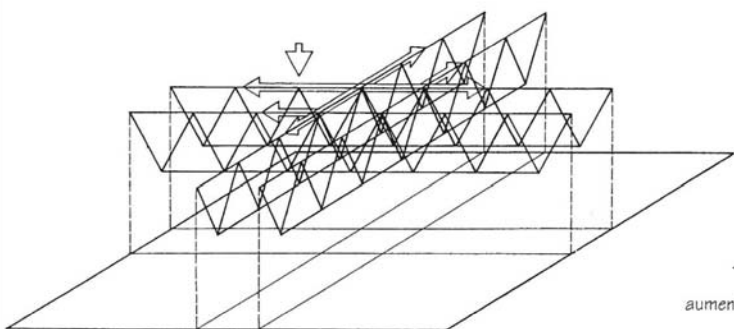
2

156

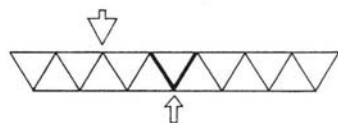
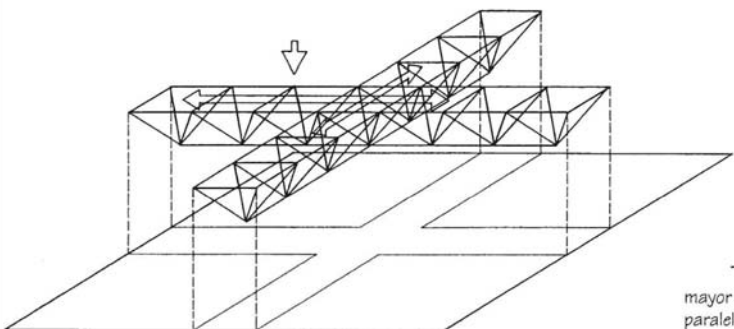
Sistema de sustentación de una cercha espacial



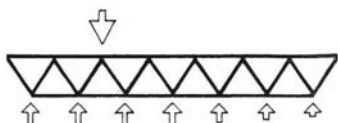
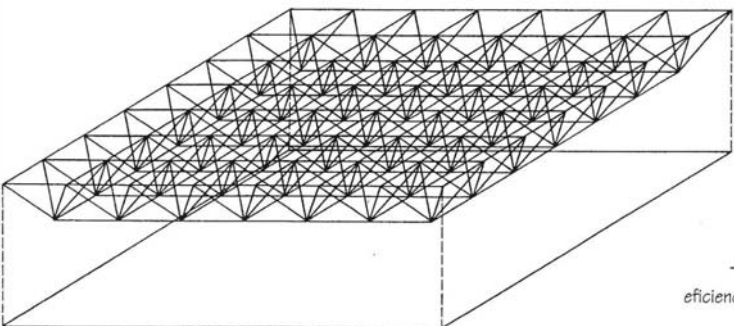
participación en el efecto resistente de la cercha sin carga directa



aumento de la eficiencia por juxtaposición de cerchas paralelas



mayor aumento de la eficiencia mediante combinación de cerchas paralelas



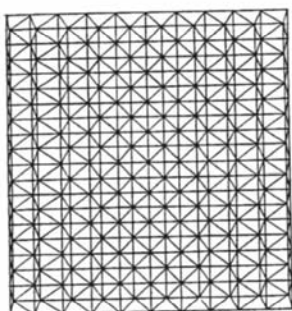
eficiencia máxima mediante continuidad en longitud y anchura

167

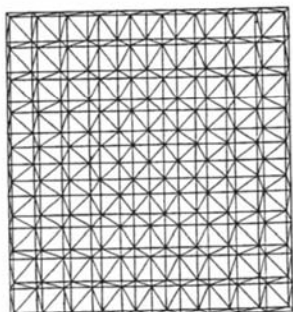
Mallas espaciales

Vector activo
Sistemas de estructuras de **2**

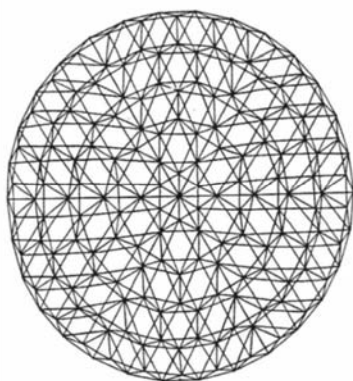
Mallas curvadas espaciales de dos capas
para cubrir grandes luces



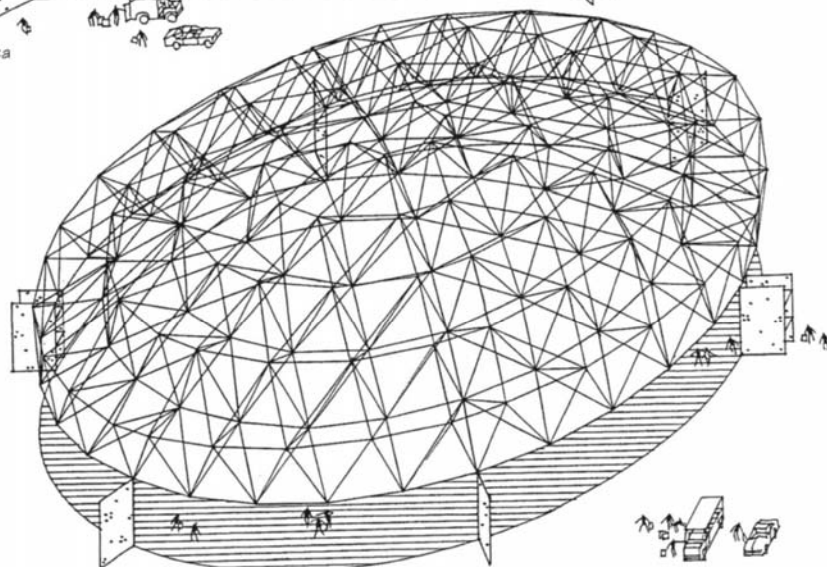
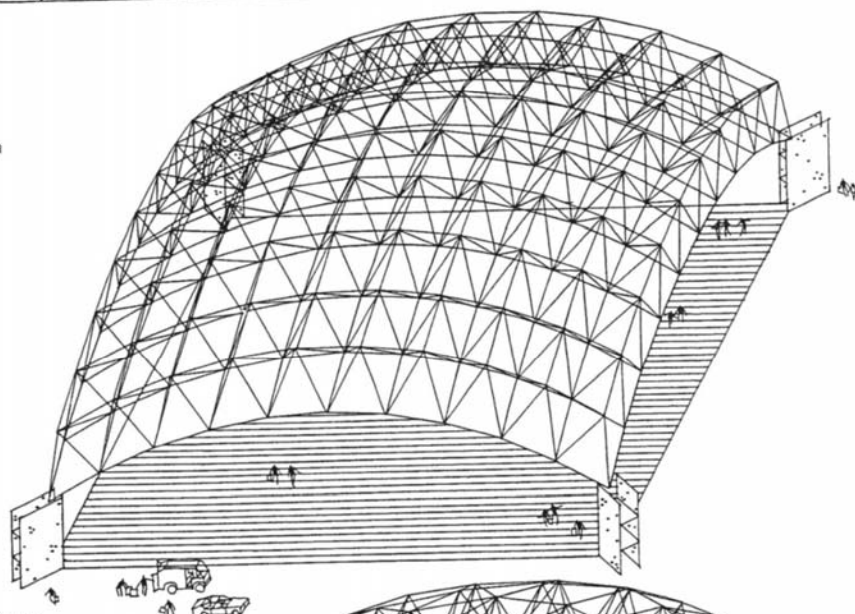
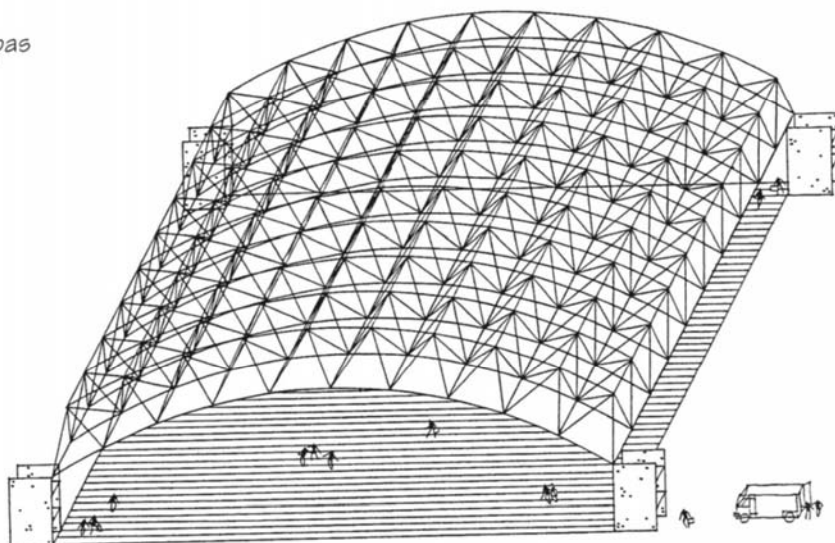
Base de semioctaedro para formas de sección cilíndrica



Base de semioctaedro para formas de traslación sinclástica



Base de tetraedro para forma esférica



Los elementos lineales, rectos y de longitud fija son medios geométricos para definir planos y establecer relaciones tridimensionales mediante su situación en el espacio.

Los elementos lineales rectos pueden determinar ejes y dimensiones: longitud, altura y profundidad. Debido a esta característica, los elementos lineales son un requisito previo para delimitar geométricamente un espacio tridimensional.

Los elementos lineales rectos pueden cumplir funciones estáticas si poseen resistencia material. En el caso de esfuerzos de compresión pueden emplearse como barras a compresión y en el caso de esfuerzos de tracción como barras a tracción. Si además son resistentes a la flexión se pueden emplear como vigas lineales.

Las vigas lineales son elementos de construcción rectilíneos y resistentes a flexión que no sólo absorben fuerzas en la dirección de su eje, sino que también pueden desviar fuerzas perpendiculares a su eje mediante tensiones internas en su sección y transmitir las en la dirección de su eje hasta los extremos. Las vigas lineales son el elemento básico de los sistemas de estructuras de sección activa.

El prototipo de los sistemas de estructuras de sección activa es la viga lineal sobre dos apoyos. A través del material de su sección desvía las fuerzas noventa grados y las transmite a los apoyos.

La viga lineal apoyada es un símbolo del conflicto entre direcciones que se ha de solucionar al proyectar una estructura: dinámica vertical de las cargas frente a la dinámica horizontal del espacio a utilizar. La viga lineal se enfrenta a esta colisión entre la ley de la naturaleza y la voluntad humana de manera directa y con su masa.

La viga lineal es el elemento estructural más empleado en la construcción gracias a la característica de transmitir lateralmente las cargas verticales, manteniendo la delimitación horizontal óptima para crear espacios tridimensionales.

Mediante uniones rígidas se pueden unir vigas y pilares aislados para formar un sistema global de múltiples elementos, en el que cada componente participa en el mecanismo de resistencia frente a la deformación mediante una curvatura de su eje: sistemas de estructuras de sección activa.

La curvatura del eje central, es decir, la flexión, es la característica del comportamiento de las estructuras de sección activa, provocada en parte por el giro parcial del elemento lineal debido a la presencia de una fuerza externa que no actúa en una sola dirección.

El mecanismo portante de las estructuras de sección activa se compone de la actuación conjunta de esfuerzos de compresión y de tracción en la sección de la viga junto con los esfuerzos cortantes: resistencia a flexión. A consecuencia de la flecha se activa un momento de giro interno que equilibra el momento de giro externo.

La sección de la viga, es decir, la distribución de su masa en relación al eje neutro, es decisiva para el mecanismo resistente de las estructuras de sección activa. Cuanto más alejada esté la masa del eje neutro, mayor será la resistencia a flexión.

Debido a la distribución desigual de las solicitaciones a flexión a lo largo de una viga y a causa de la diferencia resultante en la dimensión de la sección necesaria, las estructuras de sección activa pueden expresar la distribución de las tensiones internas de flexión a través de una variación en la altura de su sección. Por ello, las estructuras de sección activa pueden ser una expresión viva de la lucha por el equilibrio entre el momento de giro interior y exterior.

A través de uniones rígidas con los pilares, no sólo se reduce la flecha vertical, sino que también se crea un mecanismo para desviar las fuerzas horizontales. La continuidad de la rigidez en dos o en tres dimensiones es la segunda característica de las estructuras de sección activa.

Las estructuras de sección activa han llevado hasta las últimas consecuencias el mecanismo de la continuidad en forma de vigas continuas, pórticos articulados, pórticos rígidos, pórticos de varios vanos y pórticos de varias plantas. Con estas estructuras se pueden conseguir grandes luces y espacios diáfanos, sin tener que renunciar a las ventajas de la geometría ortogonal.

Las vigas lineales biaxiales de sección activa, ordenadas según una retícula y unidas rigidamente entre sí, activan mecanismos de resistencia adicionales que permiten reducir el canto y la cantidad de material: vigas reticulares.

La densificación de la disposición biaxial de las vigas lineales conduce a la losa. La losa es un elemento plano de sección activa que integra la mecánica de flexión más diversa y por ello presenta una gran eficacia para unas luces determinadas.

Los sistemas estructurales de sección activa poseen, sobre todo, una forma rectangular, tanto en planta como en alzado. La simplicidad de la geometría rectangular para resolver los problemas estáticos y formales es la gran ventaja de las estructuras de sección activa y el motivo de su empleo universal en la construcción.

Los mecanismos portantes de sección activa, debido a la superioridad de la geometría rectangular en la construcción, se pueden emplear como megaestructuras para definir espacios a construir con unidades de otros sistemas estructurales. Por consiguiente, las estructuras de sección activa son aquellas estructuras de rango superior en las que se pueden incorporar otros mecanismos portantes.

El futuro desarrollo de los sistemas portantes de sección activa se enfrentará a la desventaja de la pequeña relación entre peso y luz, no sólo utilizando técnicas de pretensado, sino también sustituyendo la sección maciza de la viga lineal por configuraciones de forma, vector o superficie activas.

El conocimiento de la mecánica de sección activa, de los diferentes procesos que provoca la flexión de elementos lineales, así como sus consecuencias, es imprescindible para el arquitecto, no sólo para proyectar entramados portantes, sino también para el diseño dentro de la geometría rectangular.

173

Definición / Resumen / Luces

Sección activa

Sistemas de estructuras de

3

Definición

ESTRUCTURAS DE SECCIÓN ACTIVA

son sistemas estructurales de elementos lineales rígidos y sólidos –incluyendo su forma compacta de losa– en los que la transmisión de cargas se efectúa por MOBILIZACIÓN DE FUERZAS SECCIONALES

Fuerzas

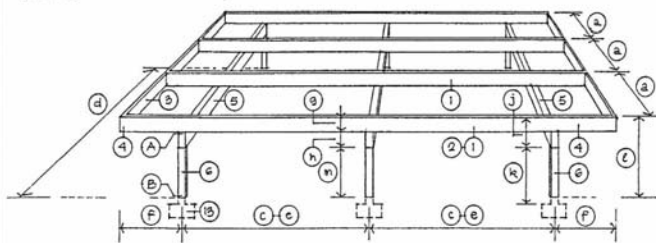
Los componentes de la estructura están sometidos en primer lugar a flexión, es decir, a esfuerzos internos de compresión, tracción y cortantes: ESTRUCTURAS EN ESTADO DE FLEXIÓN

Características

Las características estructurales más típicas son:
PERFIL DE LA SECCIÓN y CONTINUIDAD DE LA MASA

Componentes y denominaciones

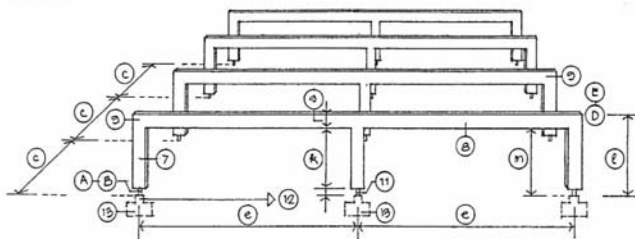
3.1 Estructuras de vigas



Componentes del sistema

- ① Viga (viga continua)
- ② Viga de borde
- ③ Viga de testero
- ④ Voladizo
- ⑤ Jácena
- ⑥ Pilar
- ⑦ Pilar de pórtico
- ⑧ Jácena del pórtico
- ⑨ Esquina del pórtico
- ⑩ Retícula de vigas
- ⑪ Apoyo articulado
- ⑫ Anclaje a tracción
- ⑬ Cimiento
- ⑭ Apoyo
- ⑮ Perímetro de la losa

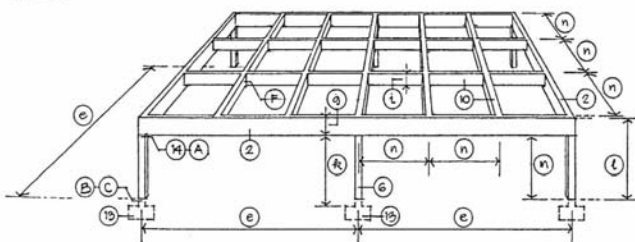
3.2 Estructuras de pórticos



Puntos topográficos del sistema

- Ⓐ Punto de suspensión
- Ⓑ Punto de base
- Ⓒ Punto de anclaje
- Ⓓ Punto de la esquina del pórtico
- Ⓔ Punto alero
- Ⓕ Punto de intersección

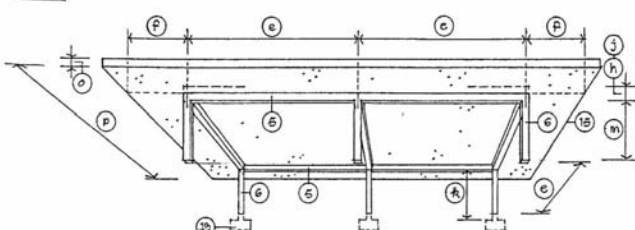
3.3 Estructuras de retículas de vigas



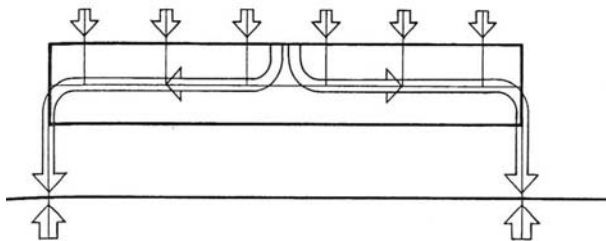
Dimensiones del sistema

- Ⓐ Separación entre vigas
- Ⓑ Luz de la viga
- Ⓒ Separación entre pórticos
- Ⓓ Luz de la jácena
- Ⓔ Separación entre pilares
- Ⓕ Longitud del voladizo
- Ⓖ Canto de la viga
- Ⓗ Canto de la jácena
- Ⓘ Canto de la retícula de vigas
- Ⓢ Canto total
- Ⓚ Altura del pilar
- Ⓛ Altura del alero
- Ⓝ Altura libre
- Ⓞ Módulo de la retícula
- Ⓟ Espesor de la losa
- Ⓟ Anchura losa (longitud losa)

3.4 Estructuras de losas



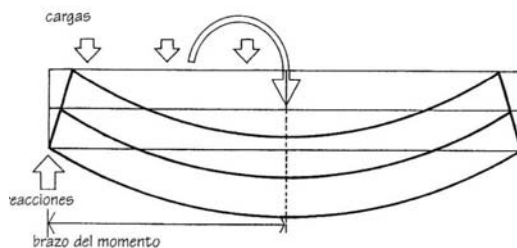
Definición de las estructuras de sección activa



Sistema de transmisión de las fuerzas

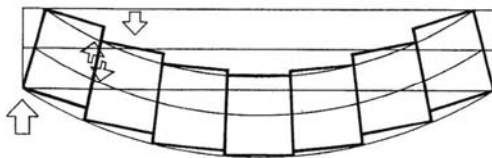
Las fuerzas externas se transmiten a través del material de la sección (fuerzas seccionales)

Mecanismo de flexión y de resistencia a la flexión



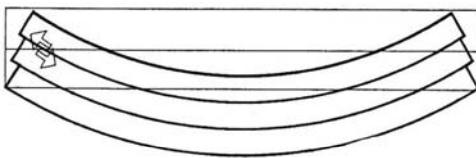
Momento exterior de giro (flexión)

La suma de las fuerzas exteriores (cargas y reacciones) hace girar los extremos libres (puntos de apoyo) y ocasiona una curvatura en el eje longitudinal: flexión.



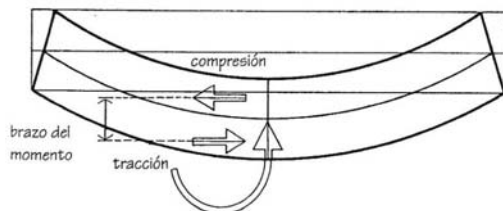
Fuerzas verticales (cortantes)

Dado que la dirección de la carga y su reacción no actúan a lo largo de la misma cara de los diferentes planos, las fuerzas externas tienden a desplazar las fibras verticales de un plano respecto a las fibras verticales del plano contiguo.



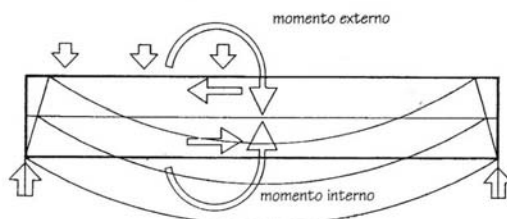
Fuerzas cortantes horizontales

La flexión provoca una contracción de la cara superior y un estiramiento de la inferior, con lo que se desplazan las fibras horizontales de un plano respecto a las de su contiguo.



Momento interno de giro (reacción)

Debido a la flexión surgen fuerzas de tracción y de compresión, a través de la transmisión de esfuerzos cortantes, que provocan un momento de giro interno.



Flexión y resistencia a la flexión

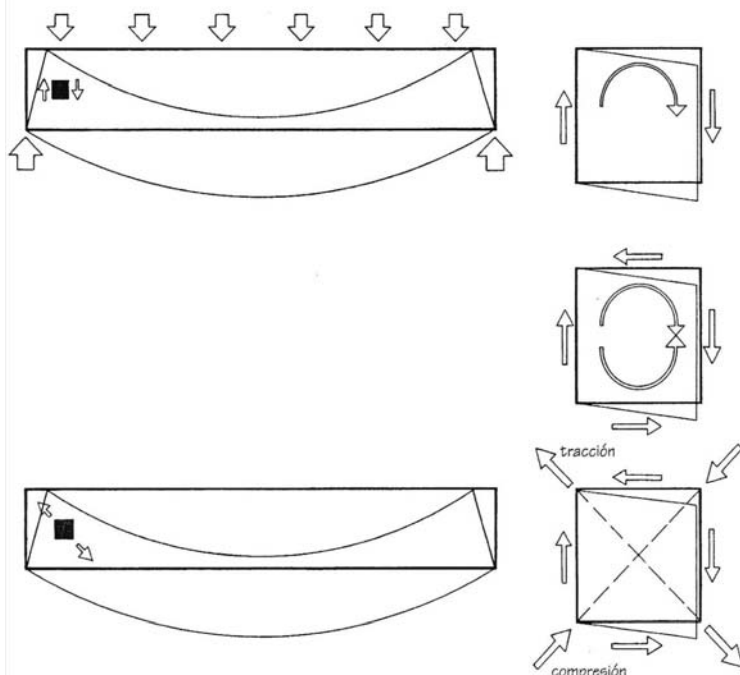
El momento de giro de las fuerzas externas provoca una flexión hasta alcanzar el punto en el que el momento de giro interno es lo suficientemente grande como para equilibrarlo.

3

178

Sistemas de vigas

Relación entre esfuerzos cortantes, de tracción y de compresión en la flexión

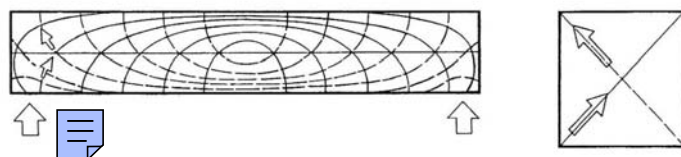


Las fuerzas verticales exteriores originan esfuerzos cortantes que intentan girar cada diferencial del material de la viga, provocando una deformación por flexión.

Debido a la deformación por flexión se originan tensiones cortantes horizontales que intentan girar cada diferencial en sentido contrario y con ello establecen un equilibrio por rotación.

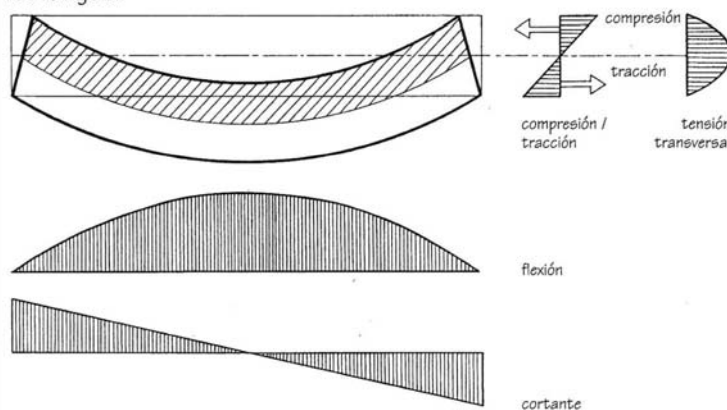
Las tensiones transversales y las tensiones cortantes horizontales se unifican en esfuerzos de tracción y compresión que deforman cada diferencial hasta convertirlo en rombo. La rigidez del material se opone a esta deformación.

Líneas de las principales direcciones de las tensiones: retícula de líneas isostáticas



Las direcciones de las tensiones en una viga forman dos grupos que siempre se cruzan en ángulo recto: la dirección de las tensiones de compresión tiene forma de arco funicular mientras que la dirección de las tensiones de tracción tiene forma de catenaria.

Distribución de tensiones en una viga de sección rectangular



Distribución de las tensiones en la sección de una viga.

En el caso de una carga uniforme, las tensiones de flexión se distribuyen en forma de parábola a lo largo de la viga y alcanzan su valor máximo en el centro de la misma.

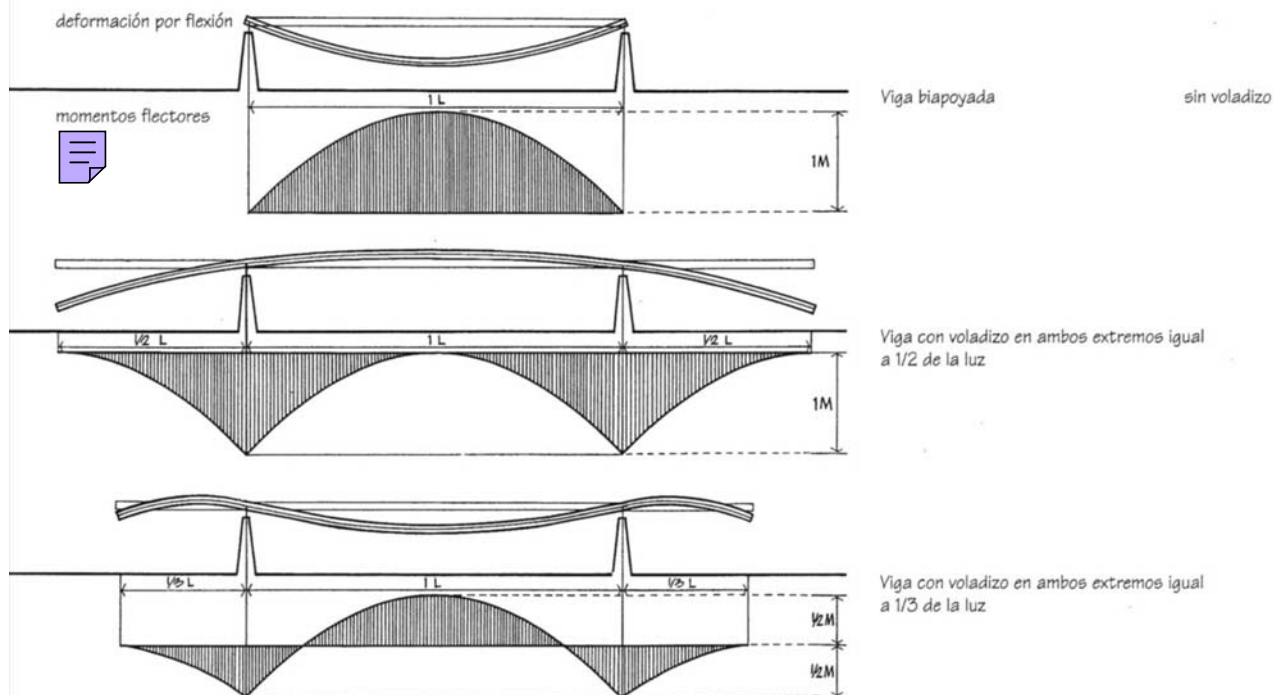
En cambio, los esfuerzos cortantes alcanzan su máximo valor junto a los apoyos y decrecen hacia el centro. En el centro de la viga son nulos.

3

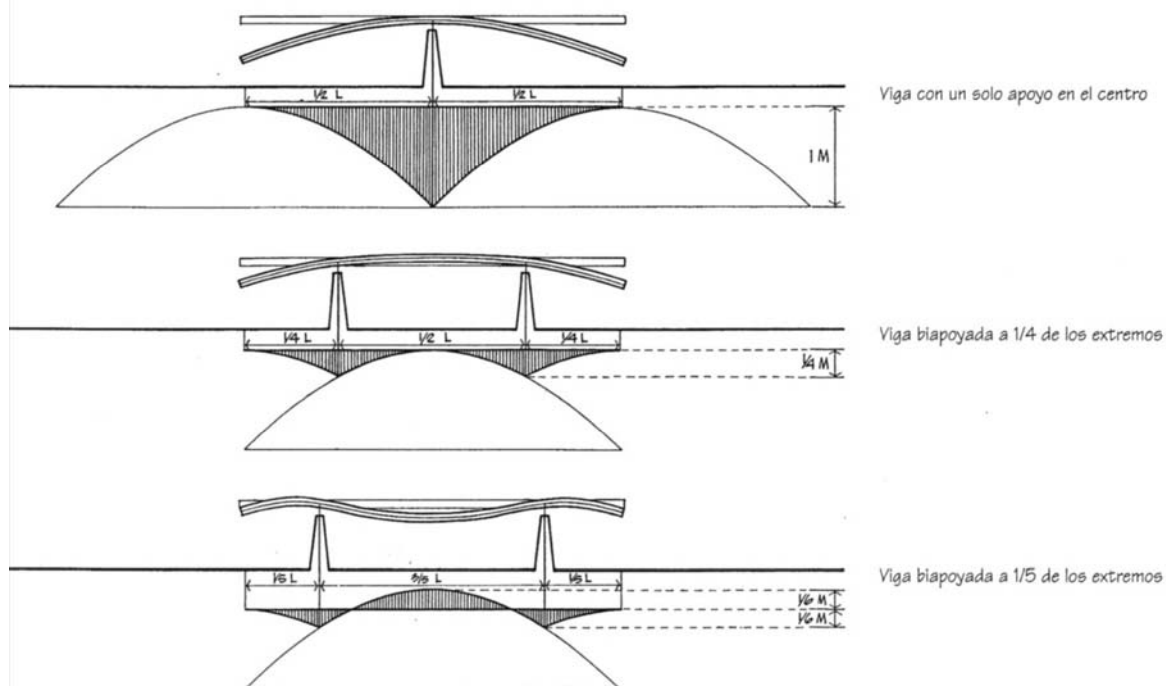
180

Sistemas de vigas

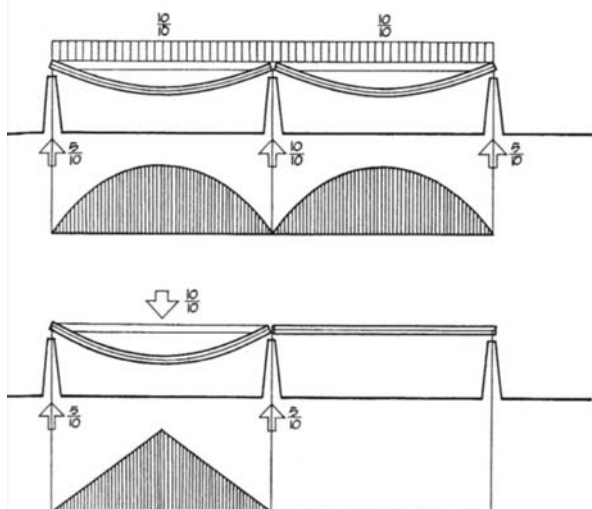
Influencia del voladizo en la eficacia de una viga



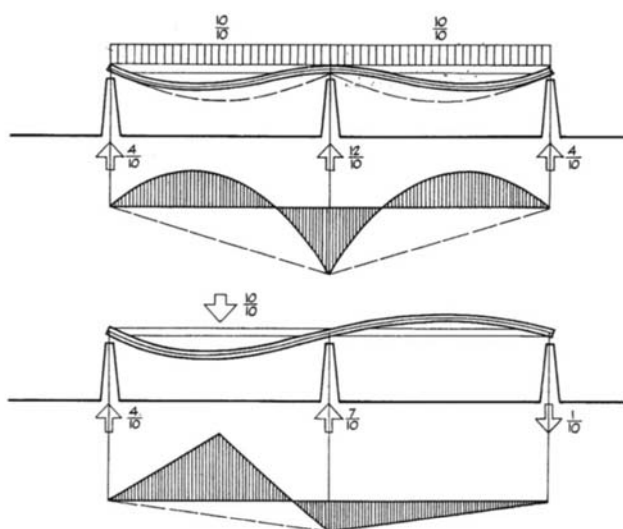
Influencia del tipo de apoyo en la eficacia de una viga



Comparación entre vigas continuas y discontinuas



Viga discontinua: la deformación en uno de los vanos no se transmite al otro. Las cargas afectan independientemente a cada vano

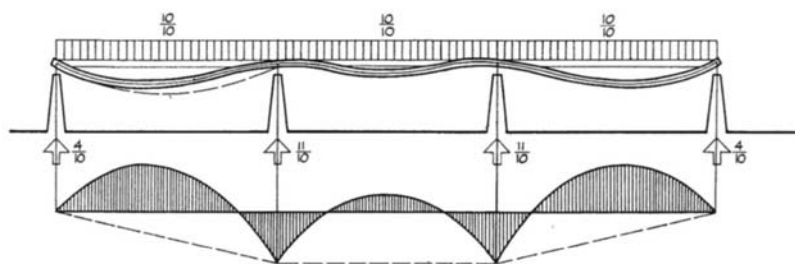


Viga continua: la deformación en uno de los vanos se transmite al otro. Las cargas en un vano se soportan en toda la longitud de la viga

Influencia de la continuidad en el mecanismo portante

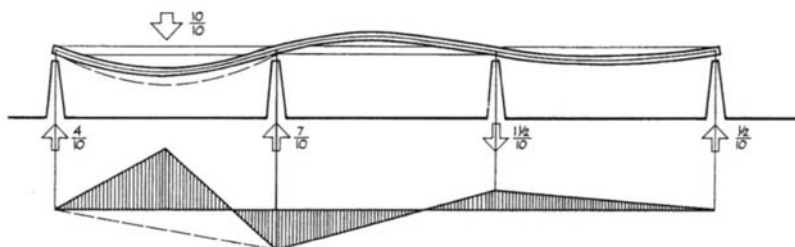
Carga uniforme a lo largo de toda la viga

Debido a la continuidad, se reduce el giro de la viga en los apoyos. La máxima flexión se produce en los extremos libres de los últimos vanos, donde no se impide el giro



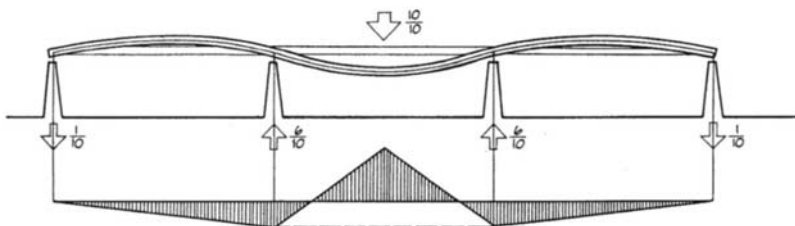
Carga puntual en el último vano

La flexión en el vano donde actúa la carga queda reducida ya que el giro está obstaculizado en uno de los lados. Los vanos sin carga también participan en la absorción de la carga



Carga puntual en el vano central

La continuidad de la viga reduce el giro en los apoyos del vano cargado y toda la viga participa en el mecanismo portante

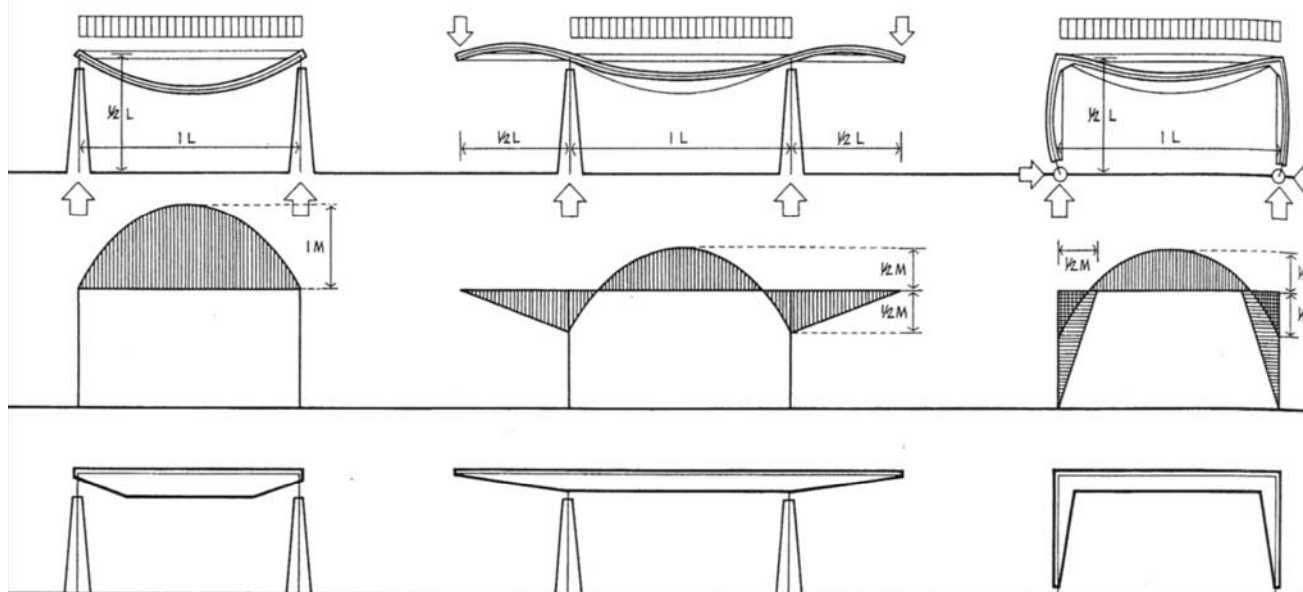


3

186

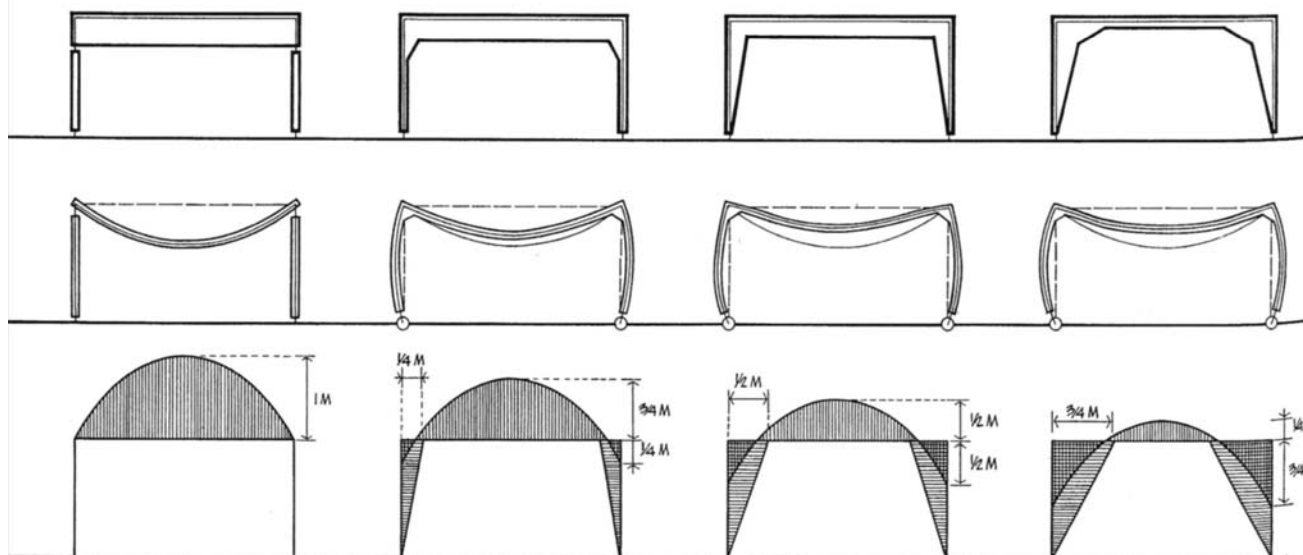
Sistemas de pórticos

Mecanismo de pórtico y su relación con la viga con voladizos



Las reacciones horizontales en los puntos de apoyo del pórtico limitan el giro en las esquinas y reducen la deformación por flexión de la viga del pórtico de la misma manera que lo hace una carga puntual en los extremos de una viga con voladizos.

Influencia de la rigidez del pórtico en la distribución de tensiones y forma de la estructura

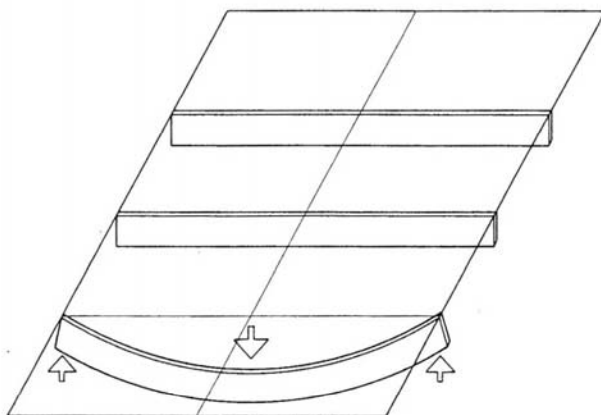


3

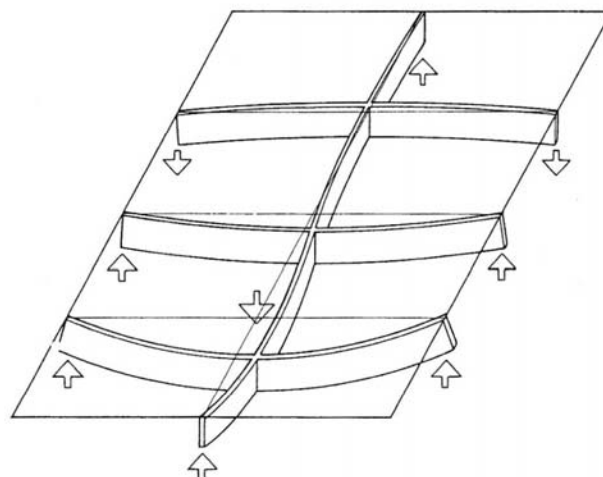
200

Relación entre vigas paralelas aisladas y una retícula de vigas

Transmisión biaxial de cargas

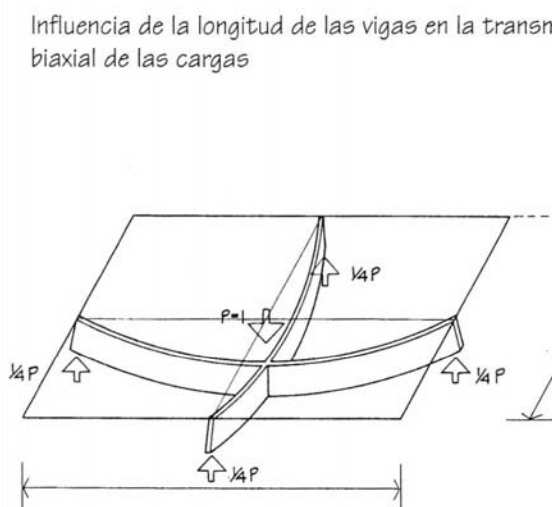


En las estructuras de vigas paralelas sólo se deforma la viga sometida a la carga puntual. Las demás vigas no participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

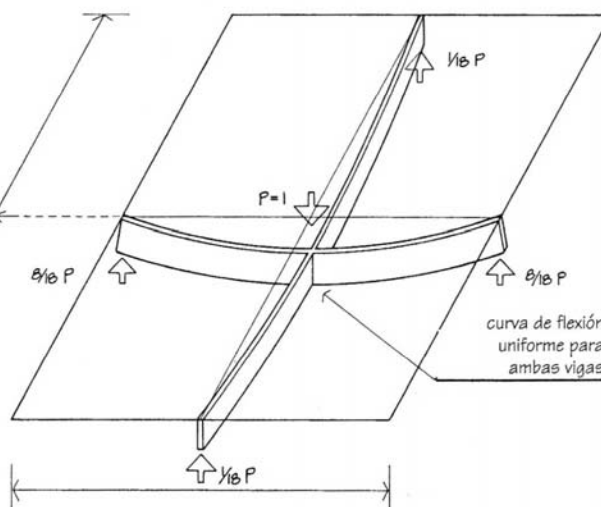


Insertando una viga transversal, perpendicularmente a las vigas paralelas, una parte de la carga se transmite a las demás vigas paralelas. Todos los elementos de la estructura participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

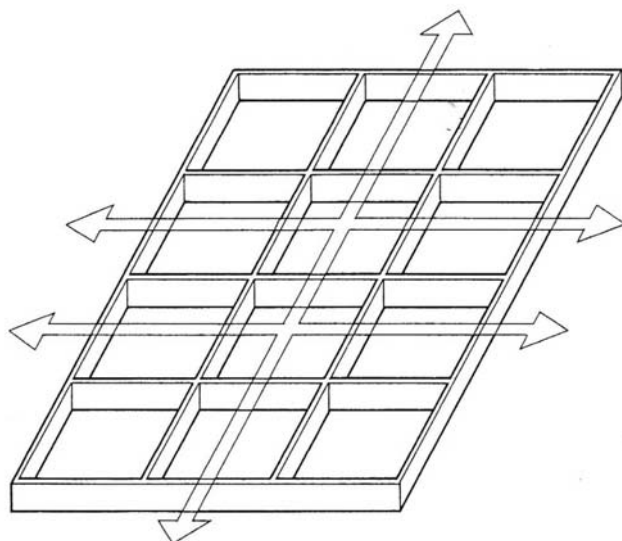
Influencia de la longitud de las vigas en la transmisión biaxial de las cargas



Dos vigas idénticas que se cruzan formando un ángulo recto transmiten cada una de ellas la mitad de la carga. Por lo tanto, la reacción en cada uno de los apoyos es $1/4$ de la carga total.

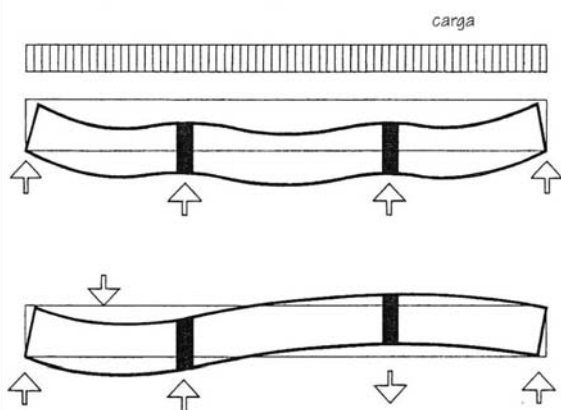


En el caso de dos vigas de igual sección, pero diferente longitud, la viga más rígida (la más corta) soportará la carga principal. Si la proporción entre la longitud de las vigas es de 1:2, la proporción entre la rigidez de ambas vigas será de $1/8$. Por lo tanto, la más corta transmitirá $8/9$ partes de la carga total.



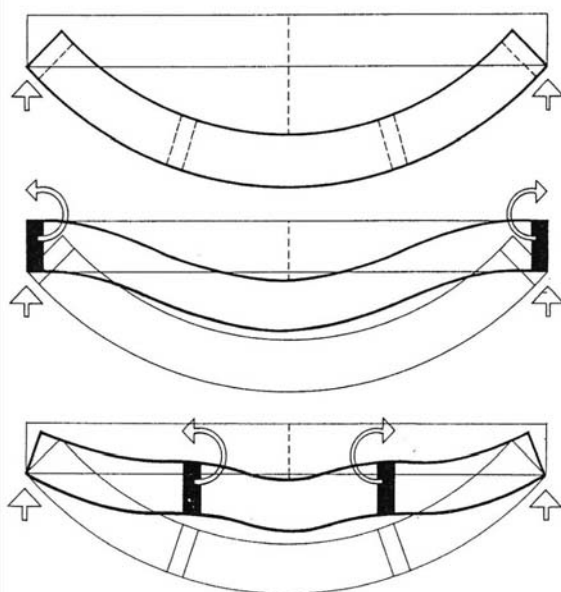
Transmisión biaxial de la carga en una retícula con uniones rígidas

Supuesto que las dos filas de vigas tengan aproximadamente la misma rigidez, la carga se transmitirá según los dos ejes mediante el mecanismo de flexión. En el caso de cargas puntuales, debido a la mutua interrelación, también se deforman las vigas sobre las que no actúa ninguna carga. Con ello aumenta la resistencia.



Comportamiento de los elementos como viga continua sobre pilares flexibles

La viga aislada de una retícula se comporta como una viga continua cuyos pilares son flexibles. En el caso de una carga asimétrica puede aparecer una flexión hacia arriba (negativa).



Acción portante adicional debido a la resistencia frente al giro

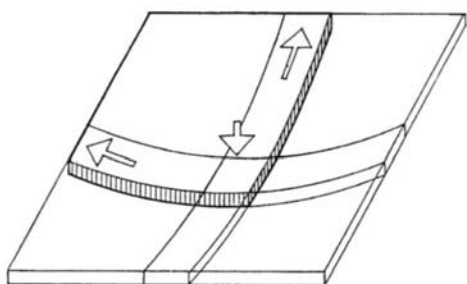
Debido a la rigidez de los puntos de unión, la viga de borde gira cuando flecha la viga transversal. La resistencia de la viga de borde frente al giro tiene el efecto de empotramiento y reduce la flexión en la viga transversal.

Debido a la rigidez de los puntos de unión, la flexión de una de las vigas comporta el giro de las vigas transversales. Con ello se activa otro mecanismo más de resistencia.

3

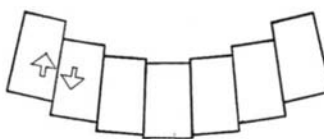
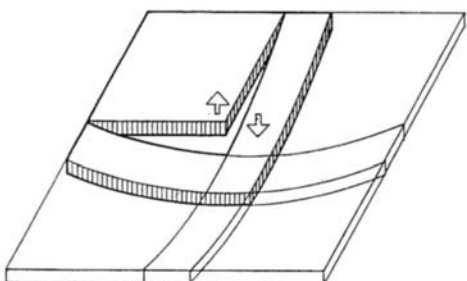
206

Mecánica portante de una losa plana apoyada por sus cuatro lados



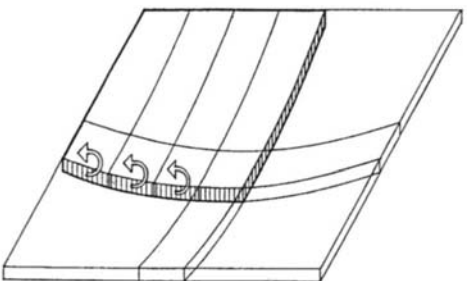
Efecto viga

Mediante la mecánica de flexión (combinación de tracción, compresión y esfuerzo cortante) se transmiten las cargas a los apoyos igual que en una viga



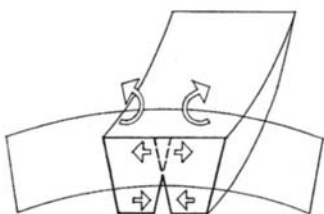
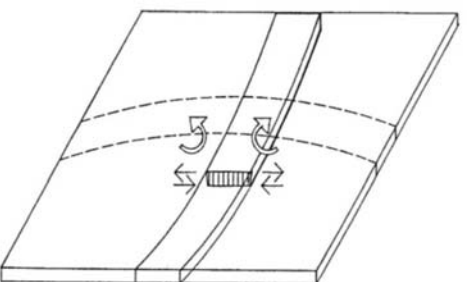
Reacción conjunta del sistema

Mediante fuerzas cortantes verticales se transmite la carga de la franja arqueada a la franja contigua. Con ello toda la estructura participa en la mecánica de resistencia, incluso en el caso de cargas puntuales



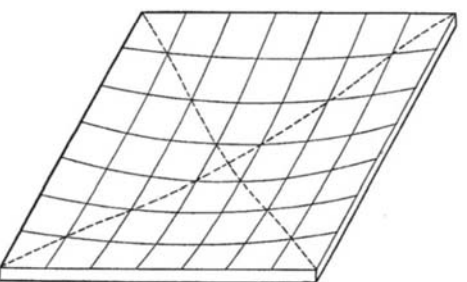
Mecánica de las fuerzas de torsión

A consecuencia de la deformación por flexión, las franjas de la losa giran en sentido perpendicular al eje portante: momento torsor. Mediante rigidez frente a la torsión se puede transmitir hasta la mitad de la carga a los apoyos



Flexión perpendicular negativa

Como el volumen del material se mantiene constante, la flexión de una franja de la losa produce un alargamiento de la zona comprimida y un acortamiento de la zona traccionada. Este proceso produce un momento de giro inverso en el eje transversal



Efecto de empotramiento en las diagonales

Las zonas de las esquinas, debido a la intersección en ángulo recto de dos apoyos, poseen una elevada rigidez. Con ello, las franjas diagonales de la losa no pueden girar libremente encima de los apoyos. Se comportan como vigas empotradas con una deformación por flexión invertida en los extremos y con una mayor capacidad portante

Las superficies delimitadas y de forma determinada se constituyen en instrumento y criterio para definir un espacio. Las superficies sirven para subdividir y delimitar el espacio. Al subdividirlo, lo delimitan, y con ello crean un nuevo espacio.

Las superficies son el medio geométrico más eficaz y claro para definir un espacio desde el interior hacia el exterior, de nivel a nivel y de espacio a espacio.

Las superficies, debido a su propiedad de formar y determinar un espacio, son la abstracción más elemental con la que se manifiesta la arquitectura, en tanto que idea y realidad.

En la construcción, las superficies pueden satisfacer una función portante bajo determinadas condiciones: superficies estructurales. Las superficies estructurales pueden cubrir un espacio y soportar cargas sin otros medios auxiliares.

Las superficies estructurales se pueden unir para formar mecanismos que transmitan fuerzas: sistemas de estructuras de superficie activa. La continuidad constructiva de los elementos en dos ejes, es decir, la resistencia superficial frente a compresiones, tracciones y esfuerzos cortantes, son el requisito previo y la primera característica de las estructuras de superficie activa.

La capacidad de las superficies portantes para desviar fuerzas, es decir, transmitir cargas, depende de la situación de la superficie respecto a la dirección de la fuerza actuante.

El mecanismo portante de una superficie estructural es más eficaz si la superficie es paralela a la dirección de actuación de la fuerza externa (en el caso de la gravedad, en vertical); y es menos eficaz cuando la superficie es perpendicular a la dirección de la fuerza externa (en el caso de la gravedad, en horizontal).

Según cual sea la dirección de actuación de la fuerza externa en las superficies portantes, se activan dos mecanismos resistentes diferenciados o simultáneos: mecanismo de losa, en el caso de solicitaciones perpendiculares al plano, y mecanismo laminar en el caso de solicitaciones paralelas al plano.

Mientras que en las superficies estructurales horizontales, la capacidad portante, en el caso de cargas por gravedad, disminuye al aumentar la superficie (mecanismo de losa), en las superficies estructurales verticales crece la capacidad portante al aumentar la superficie (mecanismo de lámina).

Inclinando la superficie respecto a la dirección de la fuerza externa, doblándola o curvándola, es posible combinar la eficacia horizontal para cubrir un espacio y la eficacia vertical en la resistencia de la superficie frente a la gravedad.

La forma de la superficie es determinante para el mecanismo portante de las estructuras de superficie activa. El diseño de una forma correcta, junto con la continuidad de la superficie, es el segundo requisito previo y la segunda característica de las estructuras de superficie activa.

En los sistemas de estructuras de superficie activa es fundamental una forma correcta que transmita las fuerzas externas y las distribuya uniformemente en pequeñas unidades por toda la superficie. Dar con la forma apropiada para una superficie –desde el punto de vista estructural, funcional y estético– es un acto creativo: es arte.

Al diseñar la forma apropiada se integra el mecanismo de las estructuras de forma activa: la eficacia sustentante del arco y la eficacia de suspensión del cable.

También los mecanismos de las estructuras de sección activa, como la viga continua o el pórtico articulado, se pueden expresar con el vocabulario de las superficies portantes, igual que los mecanismos de las estructuras de forma o vector activos. Esto significa que todas las estructuras se pueden interpretar con elementos de superficie activa y con ello se convierten en megaestructuras para las estructuras de superficie activa.

Para que funcione el mecanismo portante es imprescindible que se conserve la forma portante rigidizando el perímetro y el perfil de la superficie. El problema consiste en diseñar los elementos de rigidización de manera que no se produzca un cambio brusco en el grado de rigidez entre la superficie y el rigidizador, para evitar que en la zona de unión aparezcan tensiones excesivas.

Los sistemas de estructuras de superficie activa son al mismo tiempo envolvente del espacio interior y piel externa del edificio; en consecuencia, determinan tanto la forma del espacio interior como la imagen exterior. Por ello, son parte esencial del aspecto definitivo de un edificio y un criterio para valorar su calidad como máquina funcional y eficiente, y como forma con un significado estético.

Debido a la identidad entre estructura y edificio construido, los sistemas de estructuras de superficie activa no permiten tolerancia ni distinción entre estructura y edificio. Como la forma portante no es arbitraria, el espacio y la forma del edificio, y con ellos la voluntad del arquitecto, están sujetos a las leyes de la mecánica.

Por lo tanto, proyectar con superficies portantes implica una disciplina. Cualquier desviación de la forma correcta influye en la rentabilidad del mecanismo e incluso puede afectar a su funcionamiento.

A pesar de las leyes comunes a las que está sometido cualquier sistema de superficies estructurales, los mecanismos de las estructuras de superficie activa conocidos son muy numerosos. A pesar de ello, cualquiera de estos mecanismos, independientemente de su "manera de trabajo" típica y de su forma básica característica contiene innumerables posibilidades para realizar un proyecto inventivo y original.

Construir con superficies portantes presupone, por tanto, un conocimiento de los sistemas portantes de superficie activa: su "manera de trabajar", su geometría y su importancia para la forma y el espacio en la construcción.

Así pues, conocer las posibilidades de cómo se puede desarrollar un conjunto autoportante y capaz de soportar cargas mediante superficies configuradoras de espacios, es imprescindible para cualquier arquitecto o ingeniero proyectista.

213

Superficie activa

4

Sistemas de estructuras de

Definición / Resumen / Luces

Definición

Los SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE SUPERFICIE ACTIVA son sistemas de superficies flexibles que, a pesar de no resistir flexiones, resisten esfuerzos cortantes, de tracción y de compresión en los que la redirección de las fuerzas se efectúa mediante la RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE y una FORMA ADECUADA DE LA SUPERFICIE

Fuerzas

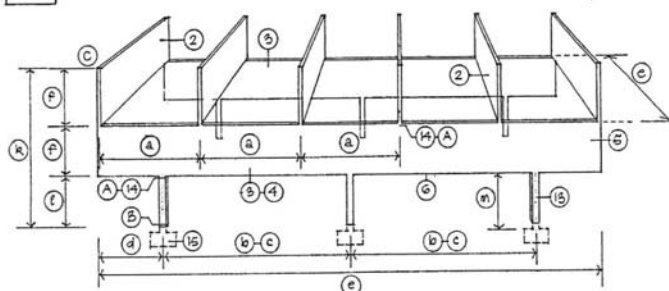
Los elementos del sistema están sometidos, en primer lugar, a sollicitaciones de membrana, es decir, a fuerzas que actúan en paralelo a la superficie: SISTEMAS EN UN ESTADO DE TENSIONES CARACTERÍSTICO DE LAS MEMBRANAS

Características

Las características estructurales básicas son: ESTRUCTURA PORTANTE como DELIMITACIÓN ESPACIAL y CONFIGURACIÓN DE LAS SUPERFICIES

Componentes y denominaciones

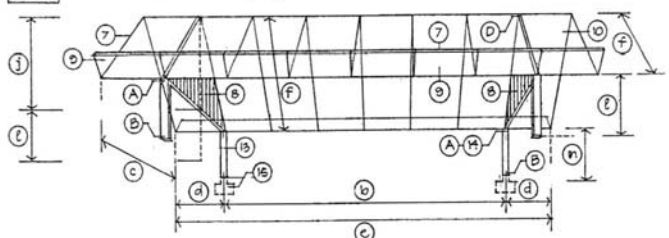
4.1 Sistemas de láminas



Componentes del sistema

- ① Lámina (portante), paño
- ② Lámina perpendicular, transversal
- ③ Lámina longitudinal
- ④ Cordón inferior de lámina, viga de lámina
- ⑤ Voladizo
- ⑥ Perímetro de lámina
- ⑦ Perímetro de membrana
- ⑧ Rigidización perpendicular, lámina perpendicular
- ⑨ Rigidizador perimetral
- ⑩ Membrana laminar, membrana portante
- ⑪ Zuncho perimetral, anillo de base, anillo a tracción
- ⑫ Anillo a compresión
- ⑬ Pilares
- ⑭ Apoyos
- ⑮ Cimentación

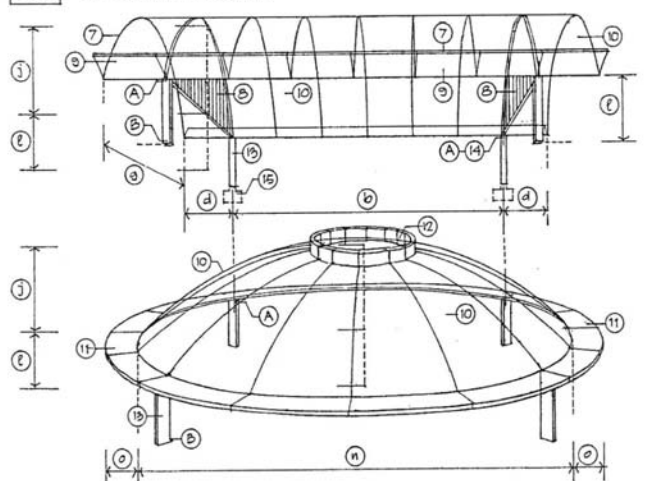
4.2 Sistemas de láminas plegadas



Puntos topográficos del sistema

- Ⓐ Punto de apoyo
- Ⓑ Apoyo, punto de base
- Ⓒ Punto de alero
- Ⓓ Punto de cumbrera, vértice
- Ⓔ Punto fijo de remate

4.3 Sistemas de membranas

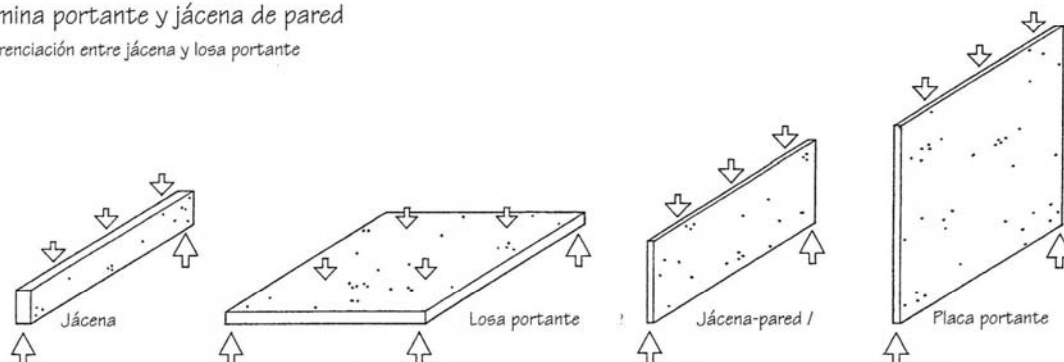


Dimensiones del sistema

- Ⓐ Separación entre láminas
- Ⓑ Luz entre láminas o membranas
- Ⓒ Separación entre pilares
- Ⓓ Longitud del voladizo
- Ⓔ Longitud de la lámina
- Ⓕ Altura de la lámina
- Ⓖ Anchura de la membrana
- Ⓗ Longitud de la membrana
- Ⓙ Altura de construcción
- Ⓚ Altura de los pilares
- Ⓛ Altura del alero
- Ⓜ Altura libre
- Ⓝ Altura de los pilares
- Ⓟ Diámetro de la membrana
- Ⓡ Anchura del zuncho perimetral

Lámina portante y jácena de pared

Diferenciación entre jácena y losa portante



Las láminas son elementos estructurales planos que, a diferencia de las losas portantes, están solicitadas por cargas PARALELAS a la superficie de la jácena.

Por su mecánica portante pueden compararse a las jácenas, aunque la distribución de tensiones de la lámina difiere de la de la jácena cuando aumenta la altura de la estructura (sólo a partir de aprox. 1/2 de la luz!).

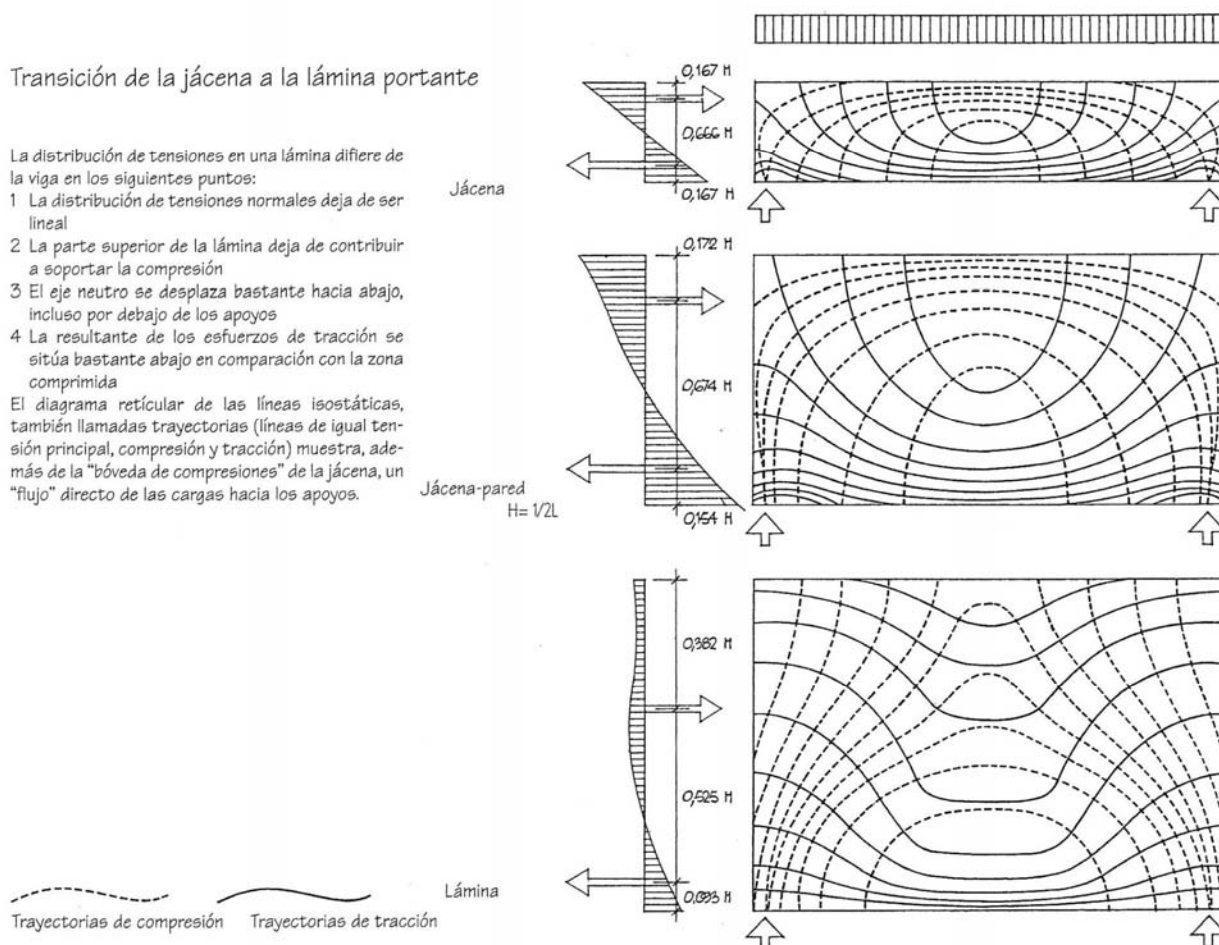
Las jácenas pared –también llamadas “placas murales” debido a su forma– cuya altura sea inferior a la mitad de la luz se comportan como una jácena. En sentido estático no pueden considerarse como láminas.

Transición de la jácena a la lámina portante

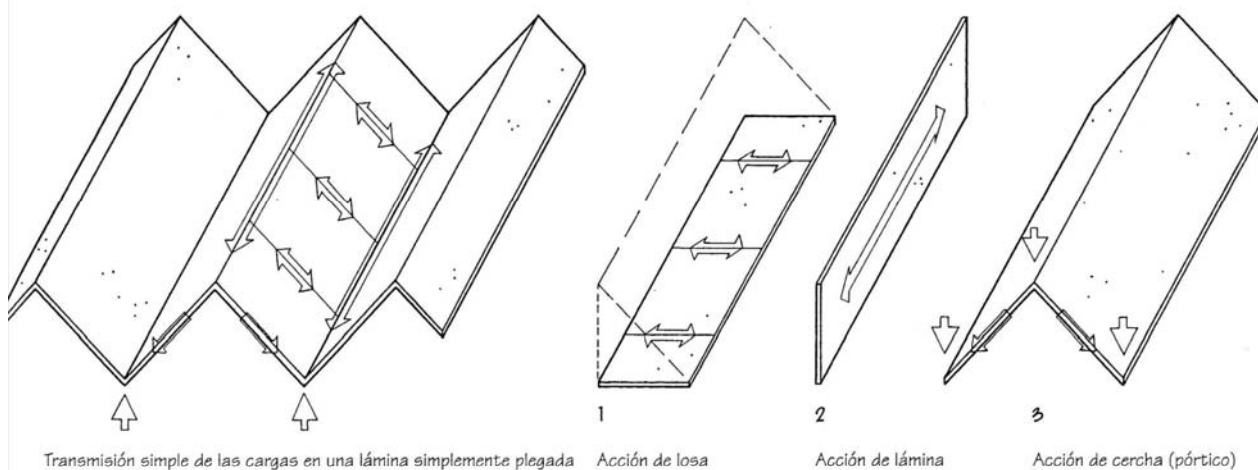
La distribución de tensiones en una lámina difiere de la viga en los siguientes puntos:

- 1 La distribución de tensiones normales deja de ser lineal
- 2 La parte superior de la lámina deja de contribuir a soportar la compresión
- 3 El eje neutro se desplaza bastante hacia abajo, incluso por debajo de los apoyos
- 4 La resultante de los esfuerzos de tracción se sitúa bastante abajo en comparación con la zona comprimida

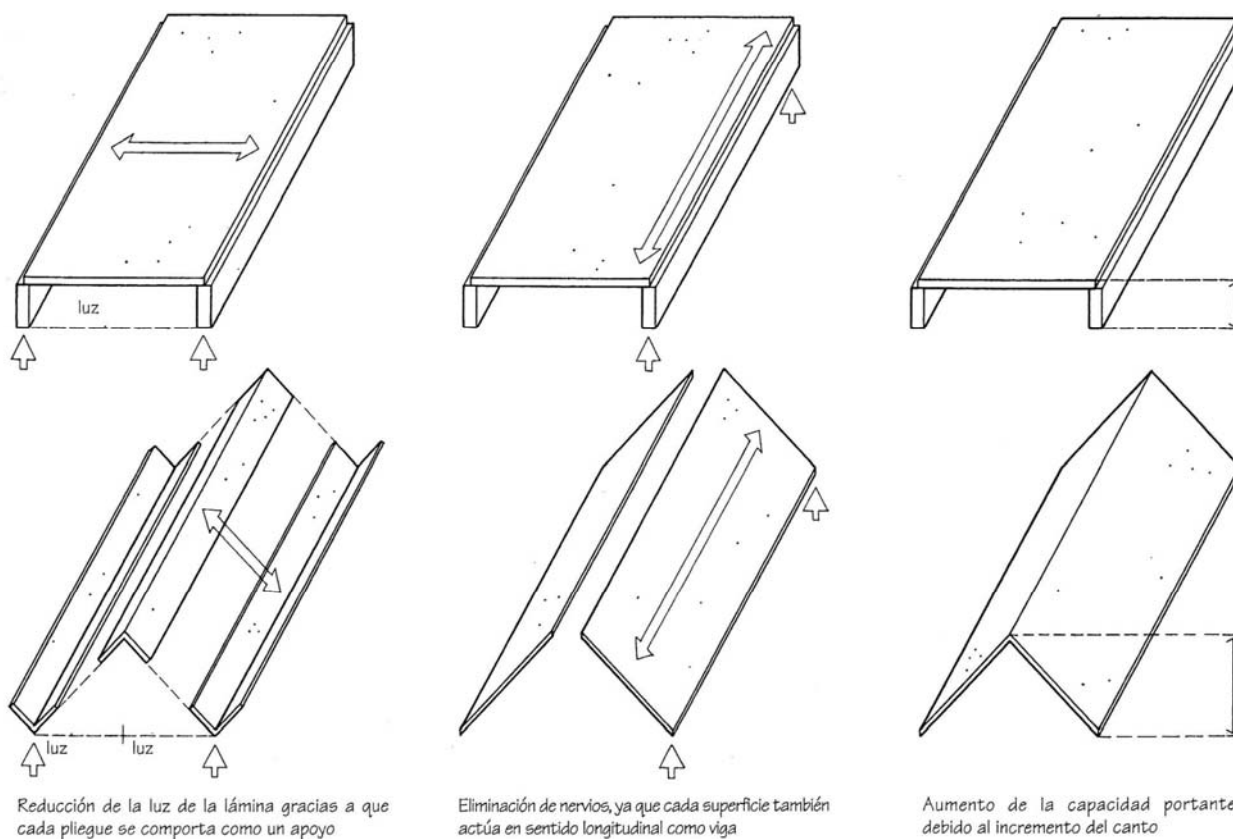
El diagrama reticular de las líneas isostáticas, también llamadas trayectorias (líneas de igual tensión principal, compresión y tracción) muestra, además de la “bóveda de compresiones” de la jácena, un “flujo” directo de las cargas hacia los apoyos.



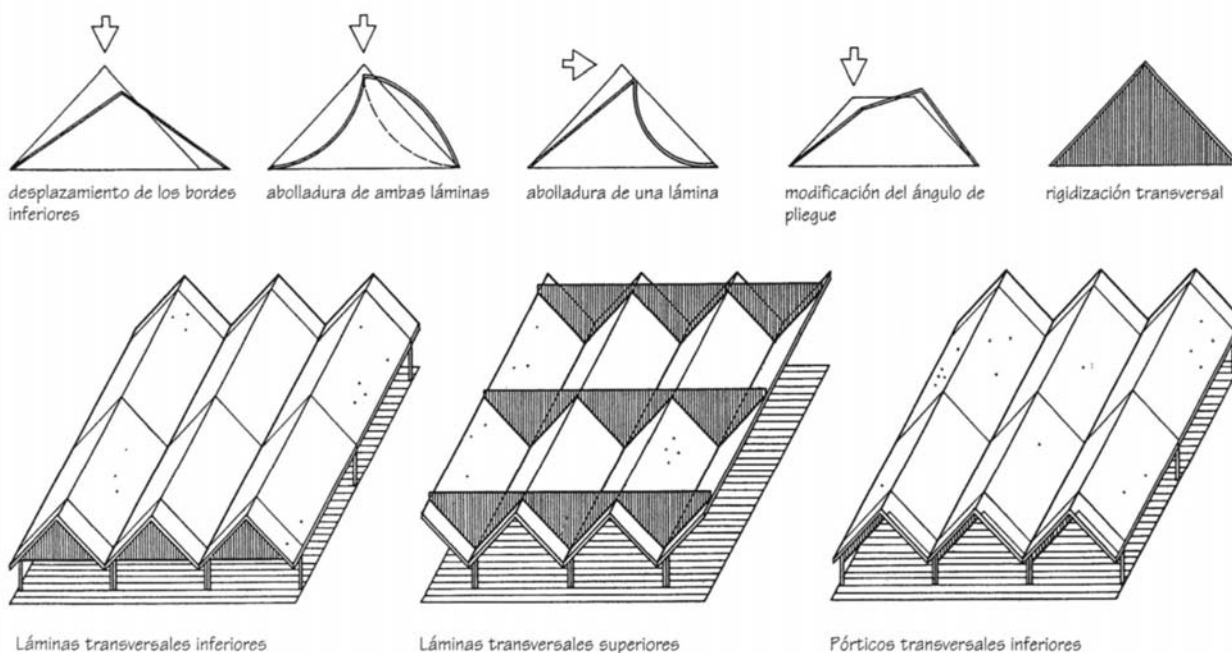
Acción portante triple de la lámina simplemente plegada



Ventajas de la lámina simplemente plegada respecto a una losa nervada

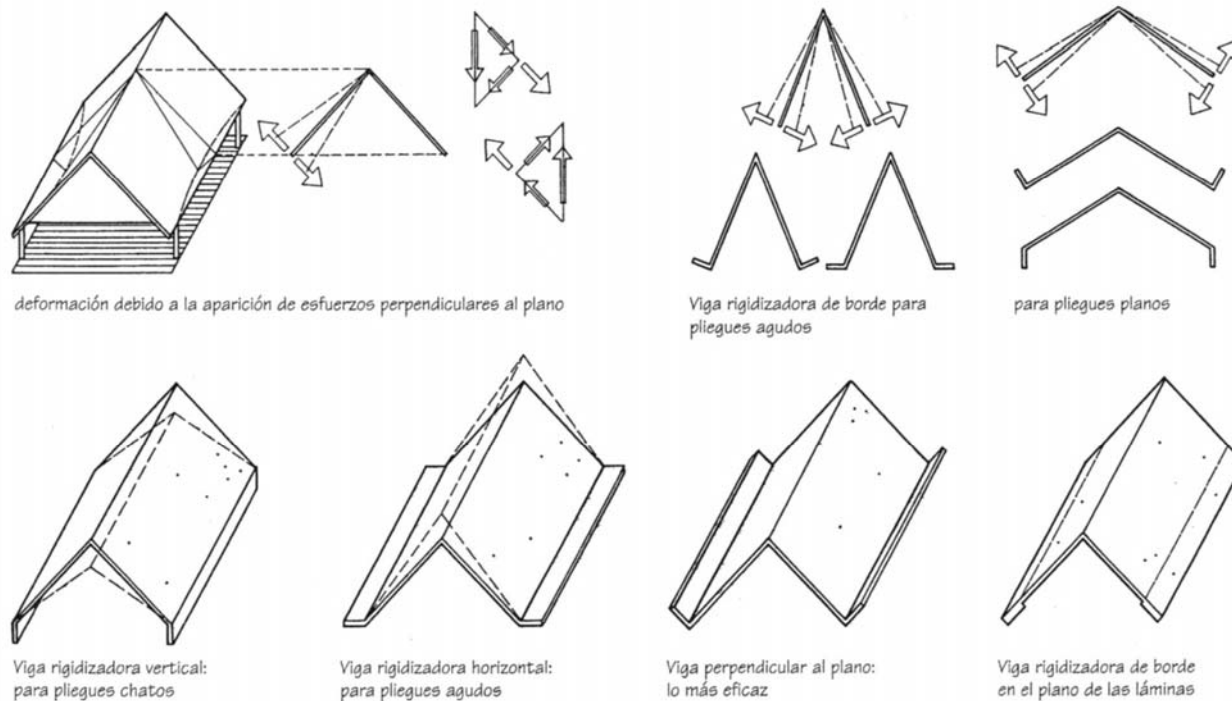


Rigidización frente a una deformación crítica del perfil plegado; formas típicas de rigidizadores transversales



Rigidización frente a una deformación crítica del borde exterior / formas típicas de rigidizadores de borde

Enrijecimento contra as deformações críticas da borda livre / formas típicas de vigas de borda



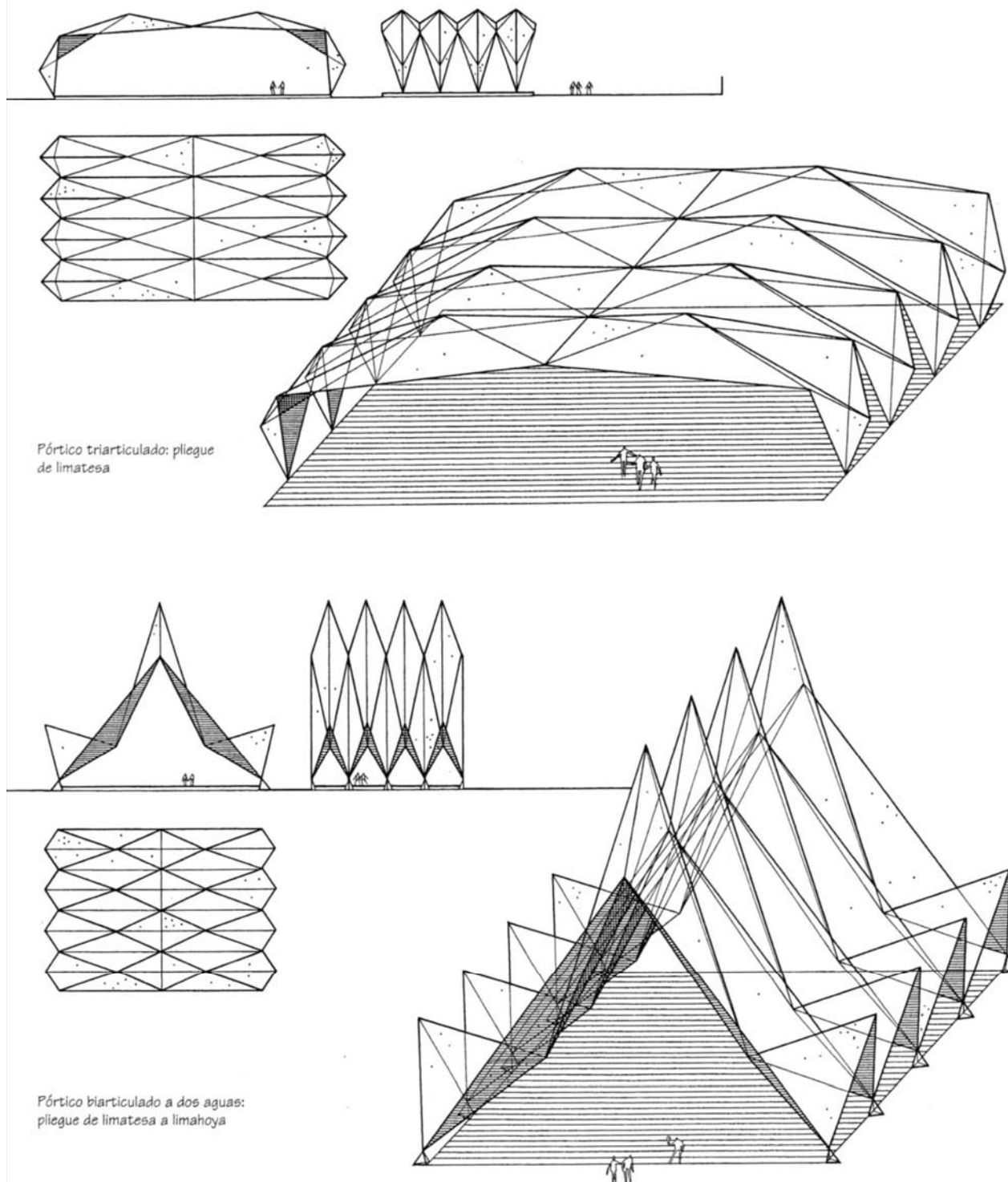
4 Superfície-ativa

Sistemas estruturais de

226

Sistemas de placas dobradas

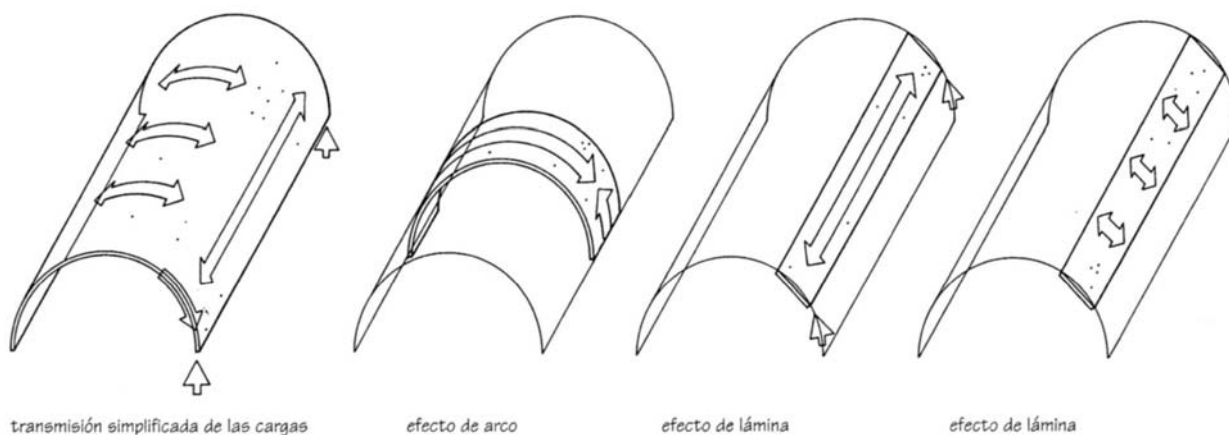
Sistemas estruturales lineales formados por superficies plegadas



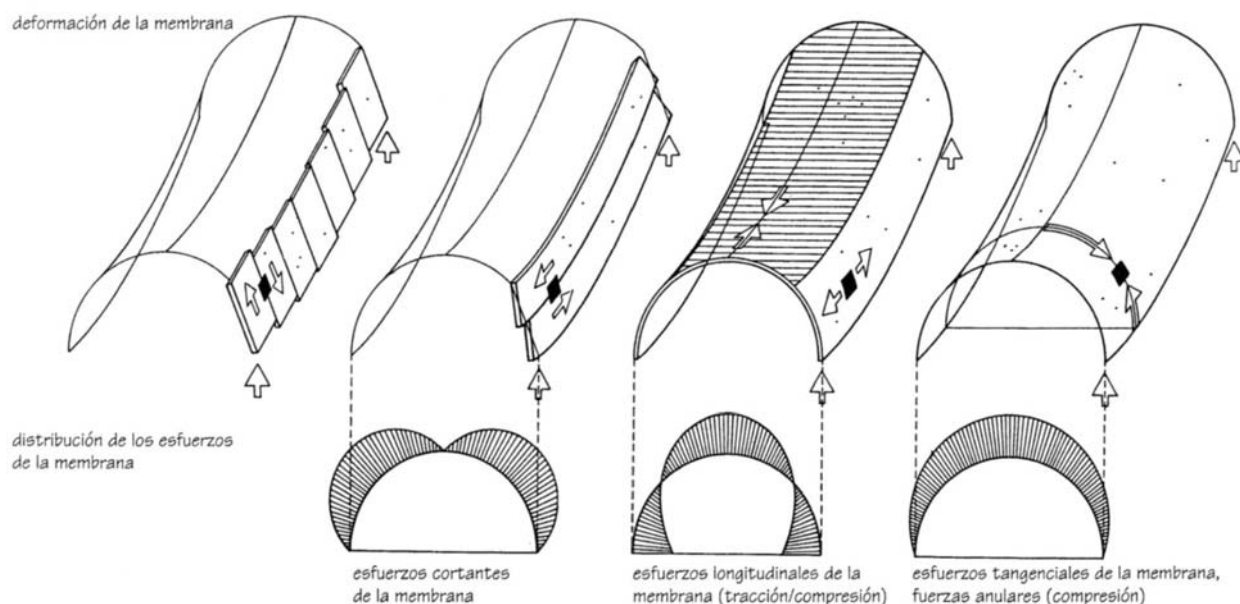
4

234

Acción portante triple de una lámina de curvatura simple



Mecanismo portante de la lámina de curvatura simple.
Esfuerzos de la membrana



Los elementos superficiales se deforman, igual que una lona atirantada entre dos arcos finales rígidos, hasta activar suficientes esfuerzos cortantes y normales en el interior de la superficie, para poder transmitir la carga a los arcos extremos.

235

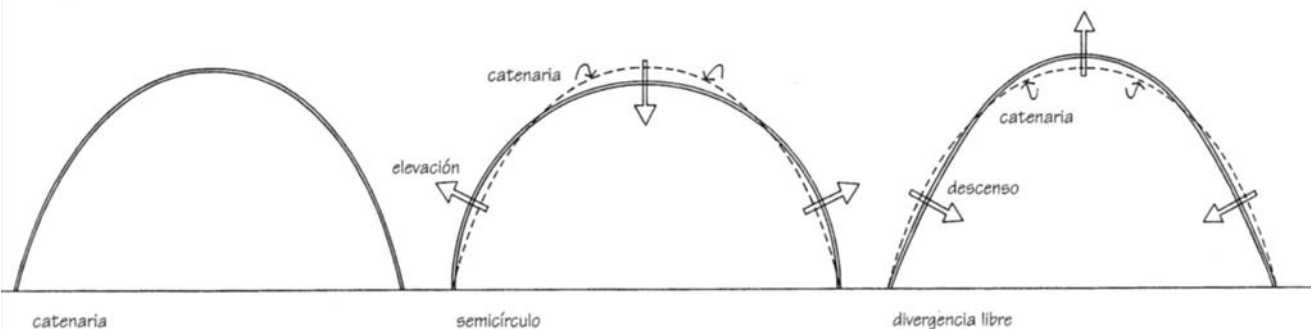
Superficie activa

4

Estructuras de membranas: de curvatura simple

Sistemas de estructuras de

Influencia de la curvatura transversal en la acción longitudinal de la membrana



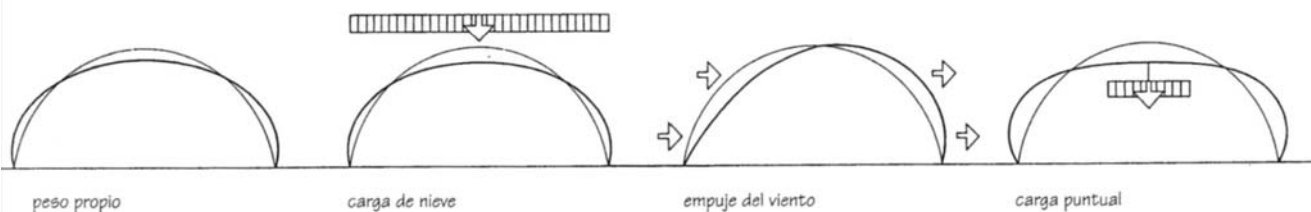
catenaria

semicírculo

divergencia libre

Si la curvatura transversal es una catenaria, todo el peso propio se transmite a los bordes de la membrana y no se emplea la capacidad portante de la membrana en sentido longitudinal (esfuerzos longitudinales y cortantes = 0). Sólo al elegir una curva transversal que se aparte de la catenaria se solicita la membrana en sentido longitudinal y, además, en proporción al grado de divergencia.

Rigidización frente a una deformación crítica del perfil transversal. Formas típicas de rigidizadores transversales

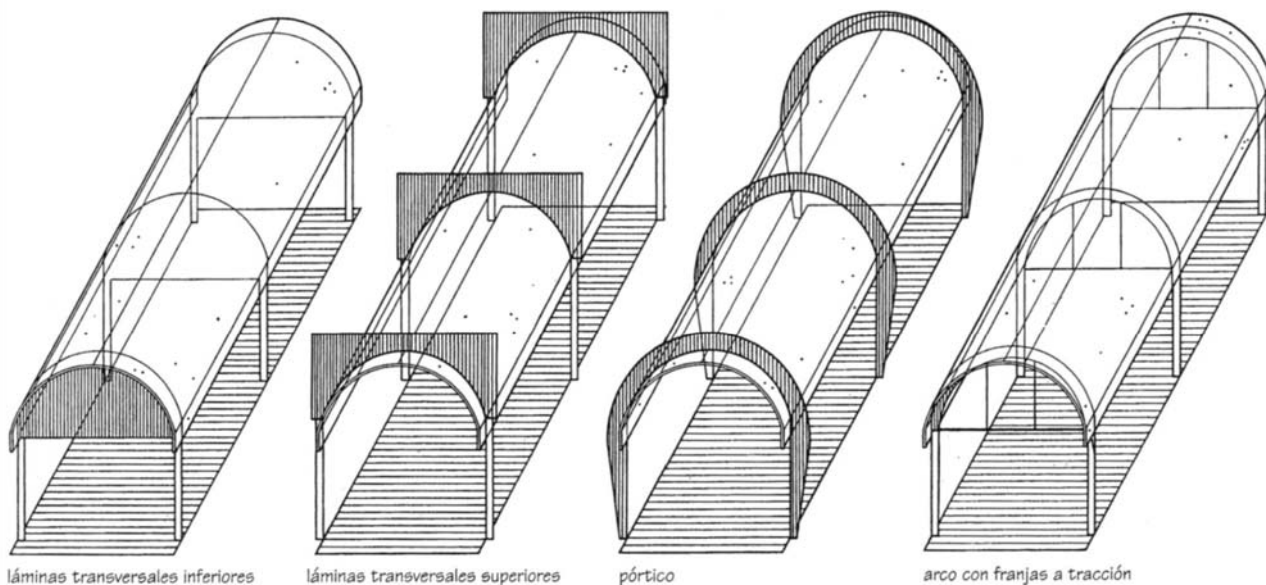


peso propio

carga de nieve

empuje del viento

carga puntual



láminas transversales inferiores

láminas transversales superiores

pórtico

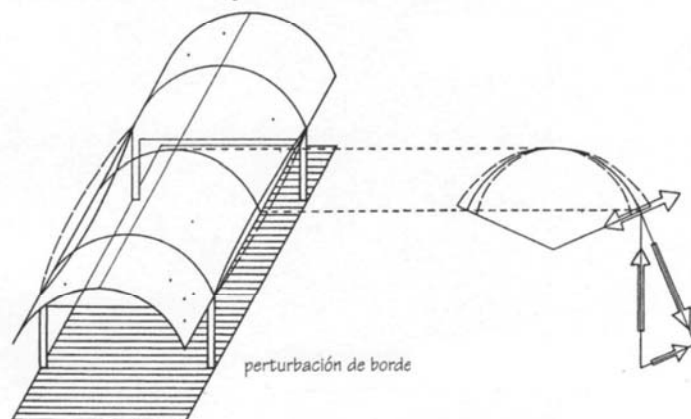
arco con franjas a tracción

4

236

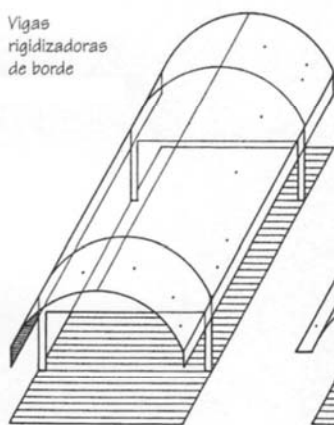
Rigidización longitudinal del borde libre de la membrana

Formas estandarizadas de rigidizadores de borde

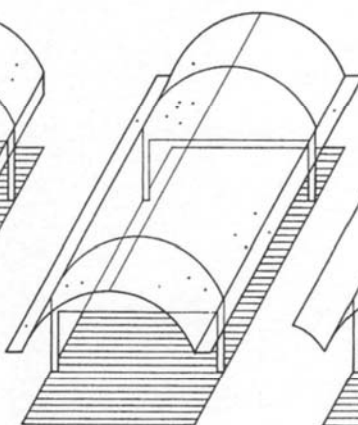


Si la tangente del extremo no es vertical, una reacción en el punto de apoyo del borde de la membrana generará un momento flector de borde. Rigidizando el borde de la membrana se puede absorber este esfuerzo, aunque aparece una perturbación de flexión debido a la diferencia de rigidez entre la membrana y el elemento de borde.

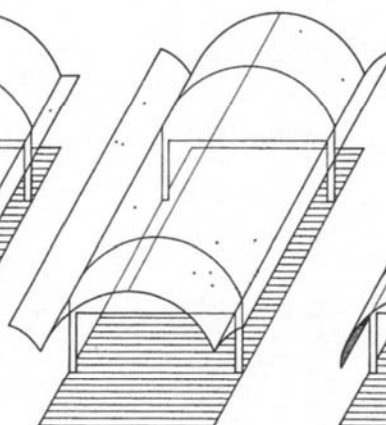
Vigas rigidizadoras de borde



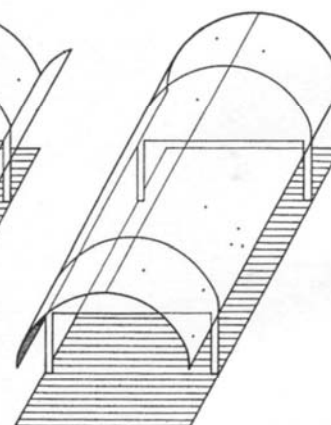
Viga de borde vertical



Viga de borde horizontal



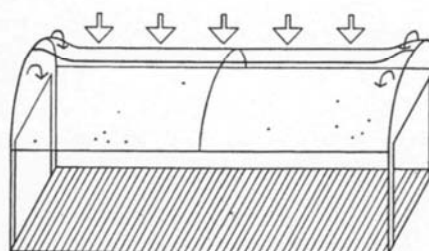
Membrana adyacente



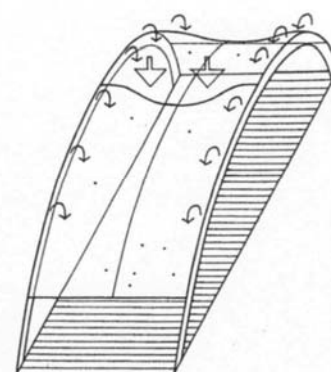
Arco de transición hacia el borde vertical

Perturbación a flexión en el rigidizador transversal en membranas cilíndricas largas y cortas

Los esfuerzos de arco (compresiones) provocan una reducción de las fibras transversales y un descenso de la parte superior del arco. En la proximidad de los rigidizadores transversales, el arco no puede deformarse y aparece una flexión. En las membranas largas con forma de bóveda de cañón, la perturbación por flexión sólo afecta a una franja estrecha junto a los extremos. En cambio, en las membranas cortas, la perturbación por flexión se extiende, debido al mayor radio y a la mayor proximidad de los rigidizadores, por una superficie proporcionalmente mayor.

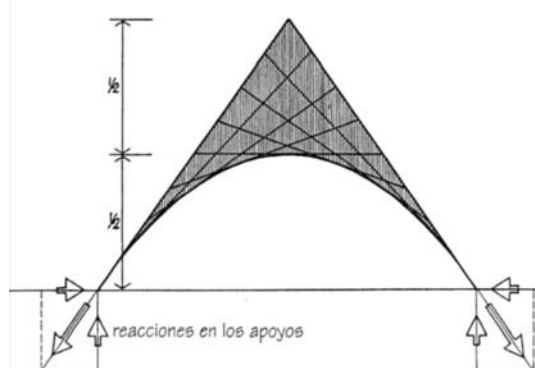


Membrana cilíndrica larga

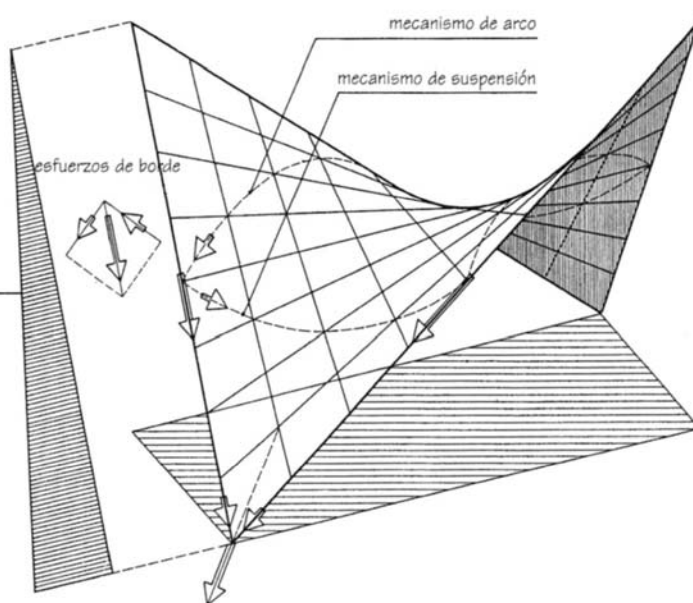


Membrana cilíndrica corta

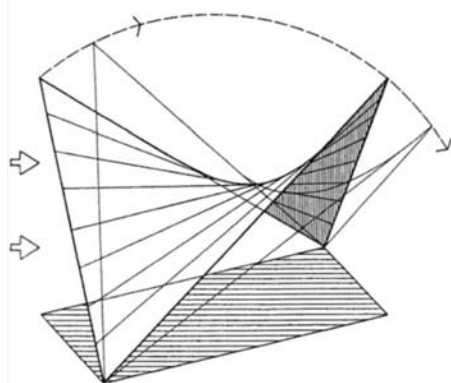
Mecanismo portante de la superficie del paraboloide hiperbólico



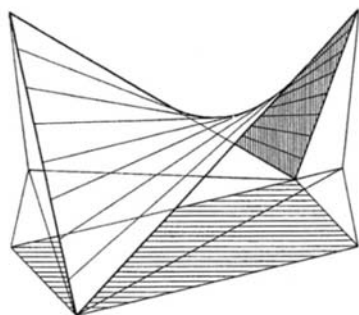
debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de absorber también el empuje horizontal



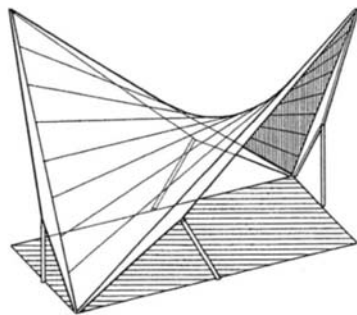
La membrana del paraboloide hiperbólico funciona a lo largo de un eje como un mecanismo de arco y, a lo largo del otro, como un mecanismo suspendido. Mientras que los esfuerzos de compresión tienden a deformar la membrana según un eje, los esfuerzos de tracción según el otro eje tienden a contrarrestar esta deformación.



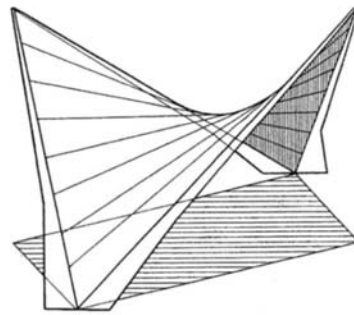
Estabilización contra el vuelco de la membrana



Atirantamiento con cables de los puntos más elevados



Apoyo de las vigas de borde sobre pilares



Conexión rígida de los puntos de apoyo en la cimentación

259

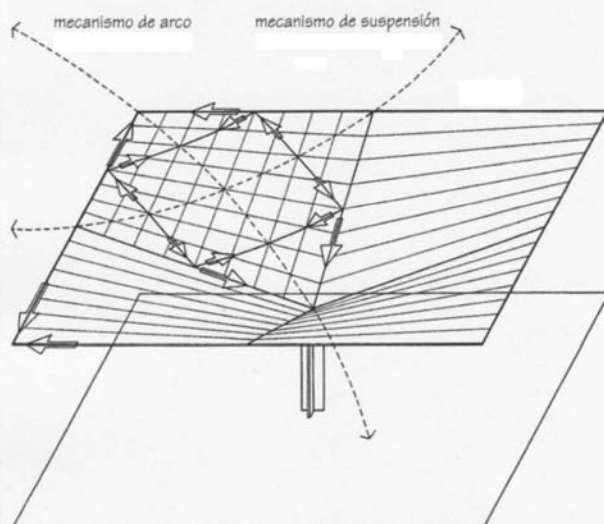
Estructuras de membranas: en forma de silla de montar

Superficie activa

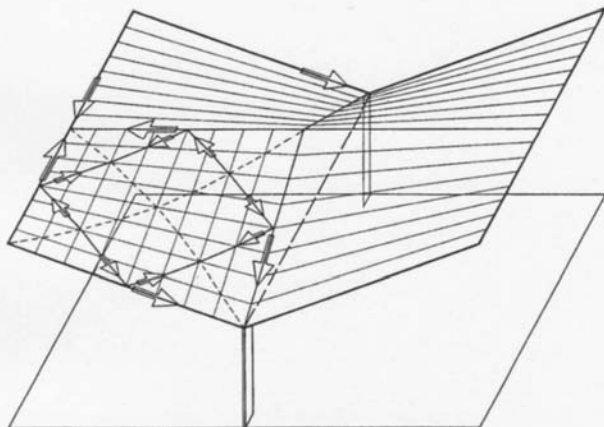
Sistemas de estructuras de

4

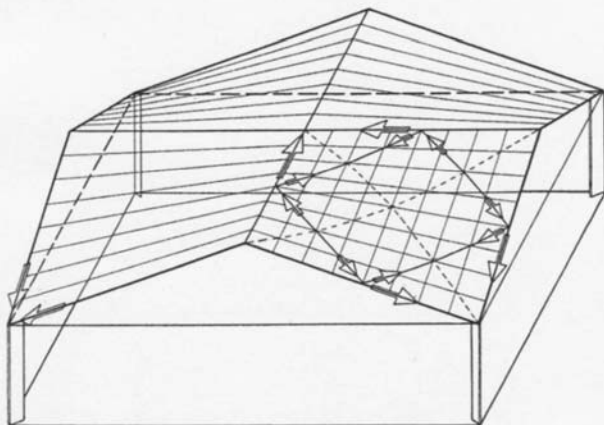
Mecanismo portante de los sistemas formados por 4 hiperboloides parabólicos



Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión someten a los bordes a tracción y a la limahoya a compresión. En el apoyo, las componentes horizontales de las resultantes finales se contrarrestan mutuamente.



Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión someten a la limahoya a compresión y a la cumbre a tracción. En los apoyos, una franja a tracción absorbe las componentes horizontales de las resultantes.



Las resultantes del mecanismo de arco y del mecanismo de suspensión solicitan tanto los bordes como la cumbre a compresión. En los apoyos, una franja a tracción absorbe las componentes horizontales de las resultantes finales.

263

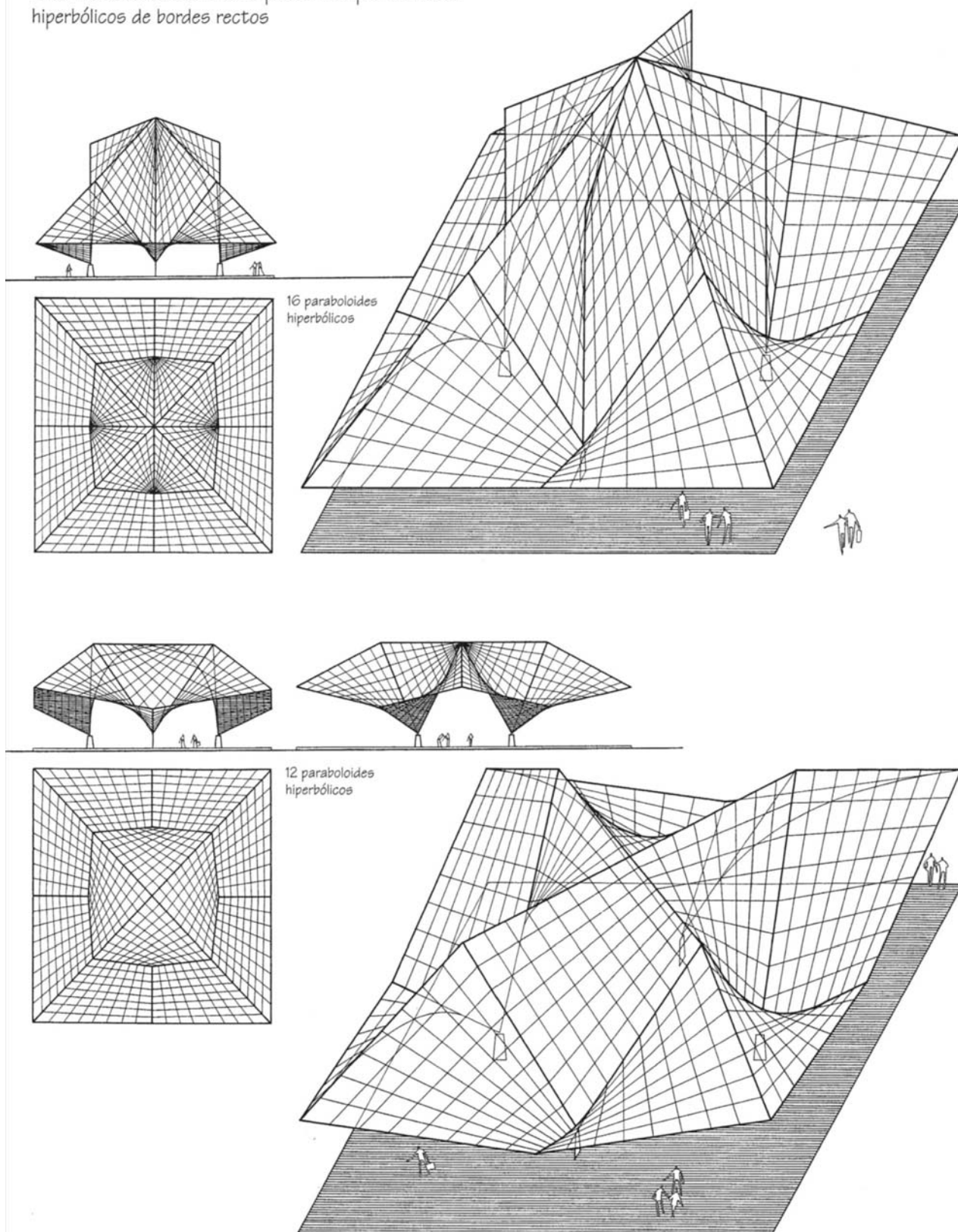
Estructuras de membranas: en forma de silla de montar

Superficie activa

Sistemas de estructuras de

4

Sistemas de definición de espacios con paraboloides
hiperbólicos de bordes rectos



Los elementos sólidos y rígidos que se desarrollan principalmente en sentido vertical y están rigidizados frente a las cargas laterales y anclados firmemente a tierra, pueden recoger cargas sobre superficies útiles situadas a gran altura sobre el suelo y transmitir las a la cimentación: sistemas de estructuras de altura activa, es decir, rascacielos.

Los sistemas portantes cuya tarea principal consiste en recoger cargas sobre planos horizontales situados unos encima de otros y transmitir las verticalmente al suelo son sistemas de estructuras de altura activa, es decir, rascacielos.

Los rascacielos se caracterizan por el sistema especial de absorber y transmitir las cargas y por su rigidización lateral.

Para transmitir las cargas, los rascacielos utilizan los mecanismos de los sistemas de forma, vector y sección activa para transmitir las cargas. No poseen ningún mecanismo propio.

Los rascacielos no son una simple suma de sistemas de una planta y su comportamiento estructural tampoco puede explicarse como un gran voladizo colocado en vertical. Son sistemas homogéneos con problemas específicos y soluciones particulares.

Dada su extensión en altura y, por ello, su gran exposición a cargas horizontales, la rigidización lateral es un elemento esencial al proyectar sistemas de estructuras verticales. A partir de una determinada altura por encima del suelo, la transmisión de los esfuerzos horizontales puede convertirse en una característica que determine la forma del edificio.

Los sistemas de estructuras de altura activa son el instrumento y el orden estructural para la construcción de rascacielos. Por este motivo, son determinantes para conformar los edificios y ciudades más modernos.

Los rascacielos son un requisito y un medio para el aprovechamiento de la tercera dimensión en altura del urbanismo. Por lo tanto, en el futuro, el empleo de rascacielos no se limitará a edificios aislados, sino que se expandirá para hacer accesible el espacio urbano no sólo en altura, sino también en anchura.

Los rascacielos exigen la continuidad de los elementos que transmiten las cargas hasta el suelo y, por ello, la concordancia de los puntos de concentración de cargas en cada planta. Por consiguiente, la distribución de los puntos de concentración de cargas no puede basarse sólo en criterios estáticos, sino también en una reflexión sobre la utilización de la superficie útil.

Los rascacielos se pueden diferenciar según el sistema de concentración de cargas en las plantas. En el sistema reticular los puntos de concentración de cargas están distribuidos uniformemente por toda la planta, en el sistema perimetral están situados en el perímetro, en el sistema nuclear, la zona de concentración de cargas se encuentra en el centro, y en el sistema puente las cargas se recogen a través de una estructura de mayor magnitud.

En los rascacielos, los sistemas de concentración de cargas están estrechamente vinculados con la forma y distribución de la planta. Esta interdependencia es tan grande que los sistemas de concentración de cargas condicionan los sistemas de distribución en planta de los rascacielos.

Para conseguir un punto de partida flexible a la hora de distribuir las plantas de los pisos, y buenas posibilidades para modificaciones posteriores de cada uno de los espacios, el proyecto de estructuras de altura activa debería aspirar a reducir al máximo los elementos de transmisión de cargas, tanto en sección como en número.

Debido a la necesaria continuidad en la transmisión vertical de las cargas, los rascacielos suelen caracterizarse por elementos verticales continuos que provocan fachadas no articuladas en altura. La diferenciación en altura es uno de los problemas de diseño no resueltos en la construcción de rascacielos.

Los sistemas de estructuras de altura activa, a pesar de la lógica verticalidad de los elementos de transmisión de cargas, se pueden proyectar de manera rentable con elementos no verticales. Esto significa que la monotonía del contorno recto en vertical no es una propiedad coercitiva de los sistemas de estructuras de altura activa.

Investigar las posibilidades para diferenciar y estructurar la geometría en alzado de los siste-

mas estructurales verticales es una tarea imprescindible en la actualidad.

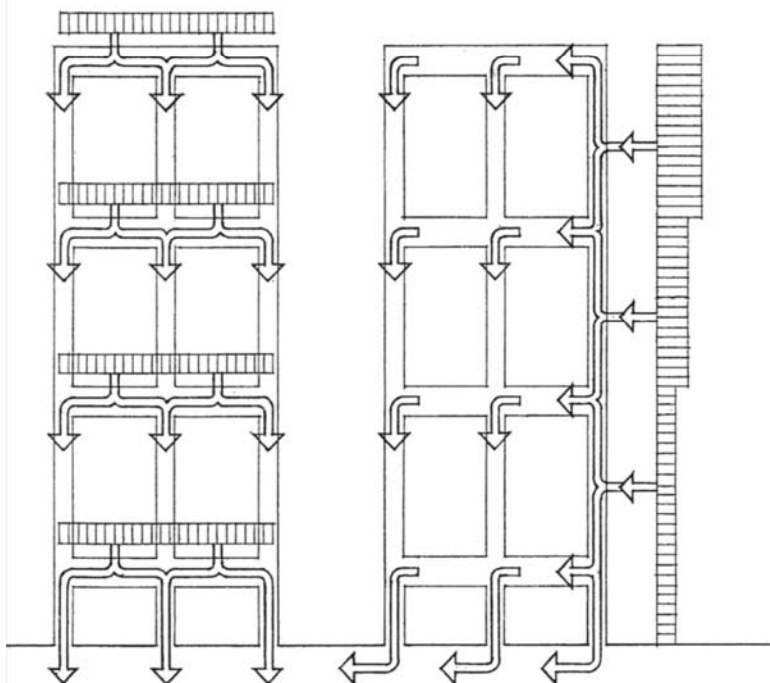
Para transmitir las cargas en vertical, los rascacielos necesitan que los pilares tengan una sección considerable, lo cual limita la superficie útil de las plantas. Si en vez de estar apoyadas, las plantas se suspenden, se puede reducir bastante la sección de los elementos portantes, aunque esta transmisión indirecta de las cargas exige un sistema estructural de mayor magnitud para la transmisión definitiva de las cargas a tierra.

Los rascacielos en los que las superficies horizontales están apoyadas o suspendidas de una estructura de mayor magnitud para reducir la sección de los elementos portantes, se asemejan a puentes en los que la concentración y transmisión final de las cargas se realiza mediante pilones: rascacielos-puente.

Debido a la necesidad de reducir al mínimo la sección de los elementos de transmisión de cargas para aprovechar al máximo la superficie útil, todos los elementos que definen el espacio y son necesarios para el funcionamiento del rascacielos son elementos estructurales en potencia: cajas de escalera y ascensores, conductos de instalaciones y piel exterior.

El proyecto óptimo de un sistema estructural de altura activa debería integrar los muros necesarios para la comunicación vertical en el rascacielos. Por ello, los sistemas estructurales de altura activa son inseparables de las arterias técnico-funcionales del rascacielos.

Por lo tanto, para proyectar una estructura de altura activa no sólo es necesario un amplio conocimiento de los mecanismos de todos los sistemas estructurales, sino también de las relaciones de interdependencia de todos los factores que determinan la obra, debido a la dependencia de la estructura de la distribución en planta y de la integración de los elementos técnicos.



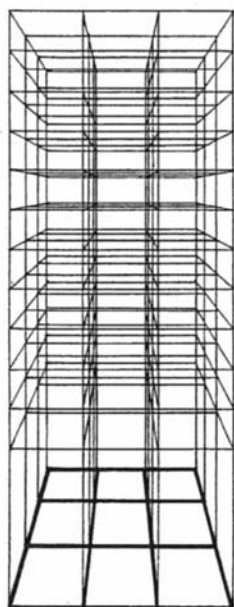
Función de los sistemas de estructuras de altura activa

Los sistemas de estructuras de altura activa son estructuras para controlar las cargas altas, es decir, su recepción, su transmisión a tierra y su posterior descarga (= cimentación de las cargas).

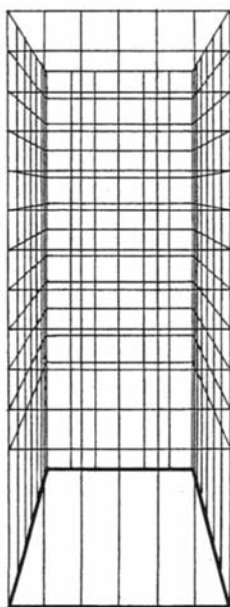
- 1 Las cargas verticales en altura, es decir, por encima del nivel del suelo: cargas de la cubierta y de las plantas.
- 2 Las cargas horizontales debidas a la altura: empuje del viento y vibraciones.

Las cargas altas están presentes en todas las obras. Cuanto más alto es el edificio, mayor es la influencia de la estructura portante en su forma.

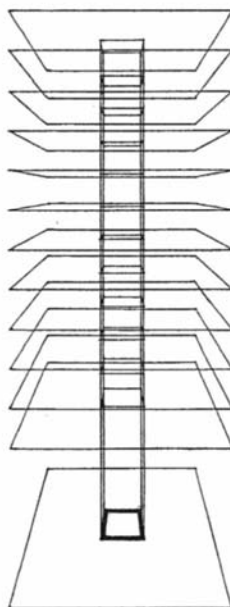
La característica de los rascacielos no depende sólo de un MECANISMO específico para transmitir las cargas como en la otras 4 "familias" de estructuras, sino en la FUNCIÓN preponderante de los rascacielos (véase más arriba). Para cumplir esta función, los rascacielos se sirven de los mecanismos de las otras 4 "familias" de estructuras.



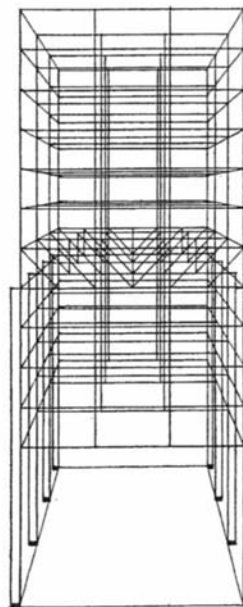
1



2



3



4

Clasificación de los sistemas estructurales de altura activa / Prototipos

- 1 Rascacielos RETICULARES
- 2 Rascacielos PERIMETRALES
- 3 Rascacielos NUCLEARES
- 4 Rascacielos PUENTE

5

270

Definición

LOS SISTEMAS DE ESTRUCTURAS DE ALTURA ACTIVA son sistemas portantes de elementos sólidos y rígidos que se extienden, sobre todo, en vertical, y en los que la transmisión de las cargas –la concentración y cimentación de las cargas en altura (cargas de planta y de viento)– se realiza a través de elementos resistentes en altura, RASCACIELOS.

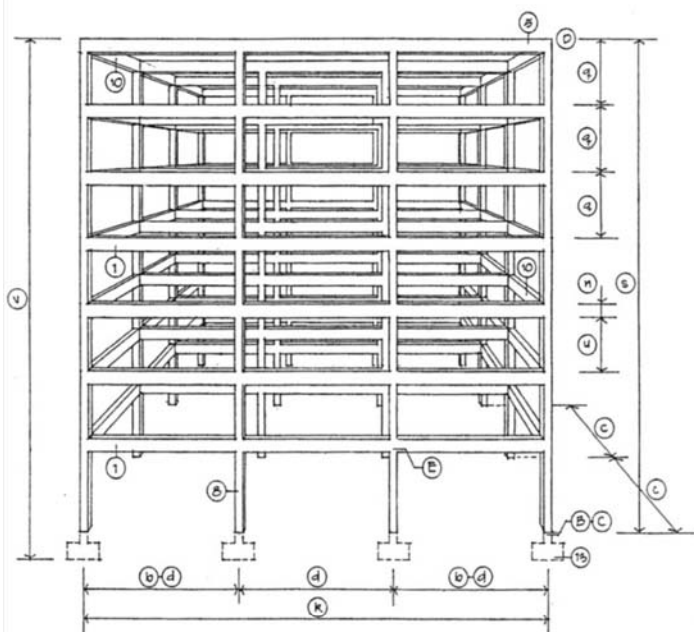
Fuerzas

Los elementos del sistema, es decir, los transmisores de cargas y los estabilizadores, suelen estar sometidos a fuerzas diferentes y variables: SISTEMAS CON UN ESTADO DE TENSIONES COMPLEJO

Características

Las características típicas de la estructura son:
CONCENTRACIÓN DE CARGAS / CIMENTACIÓN DE LAS CARGAS / ESTABILIZACIÓN

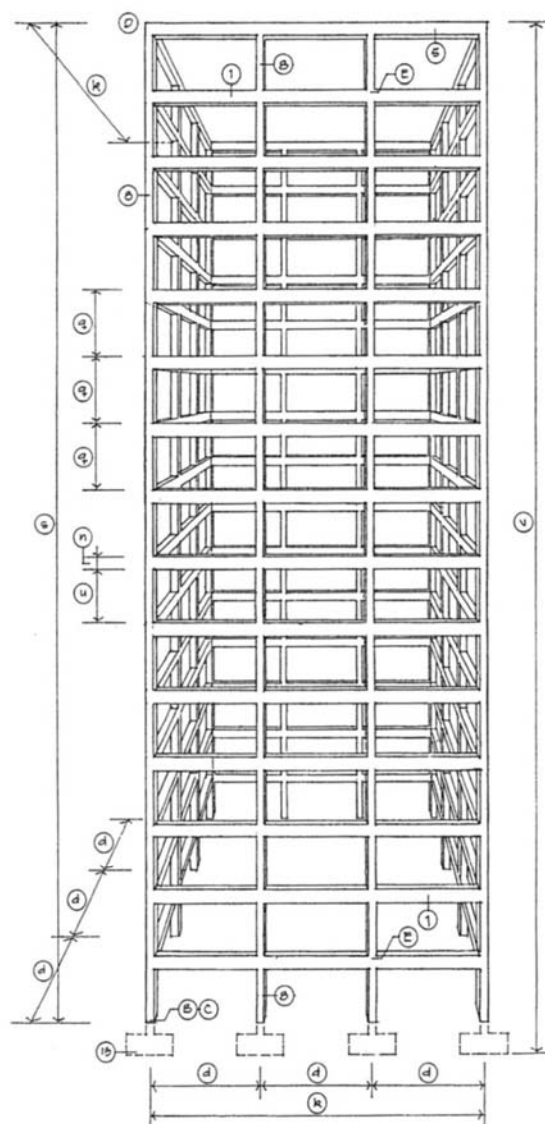
Componentes y denominaciones



5.1 Rascacielos reticulares

Puntos topográficos del sistema

- (A) Punto de apoyo
- (B) Apoyo, punto de base
- (E) Empotramiento final
- (D) Esquina del alero
- (C) Nudo de pórtico



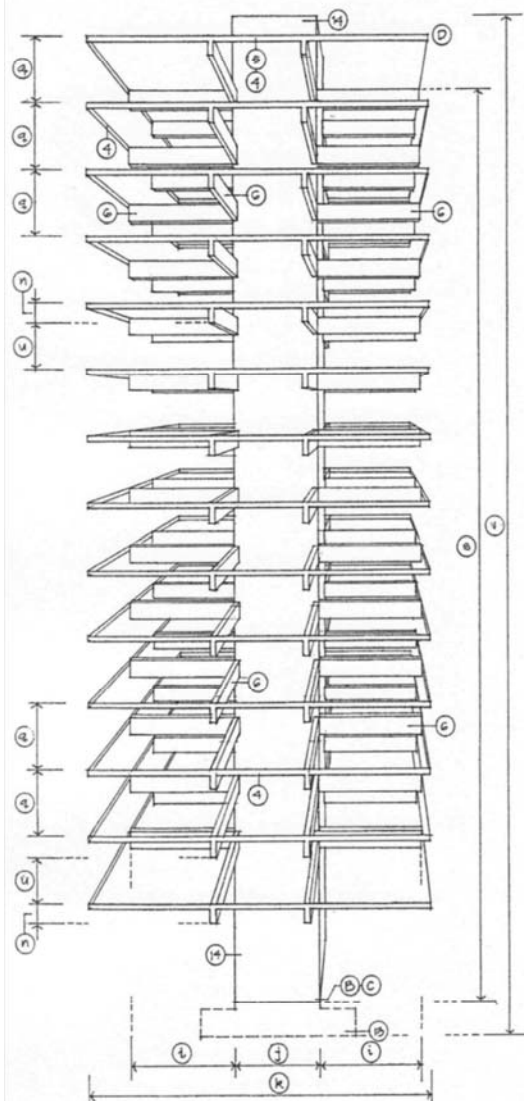
5.2 Rascacielos perimetrales

271

Definición / Resumen / Funcionamiento

Altura activa
Sistemas de estructuras de

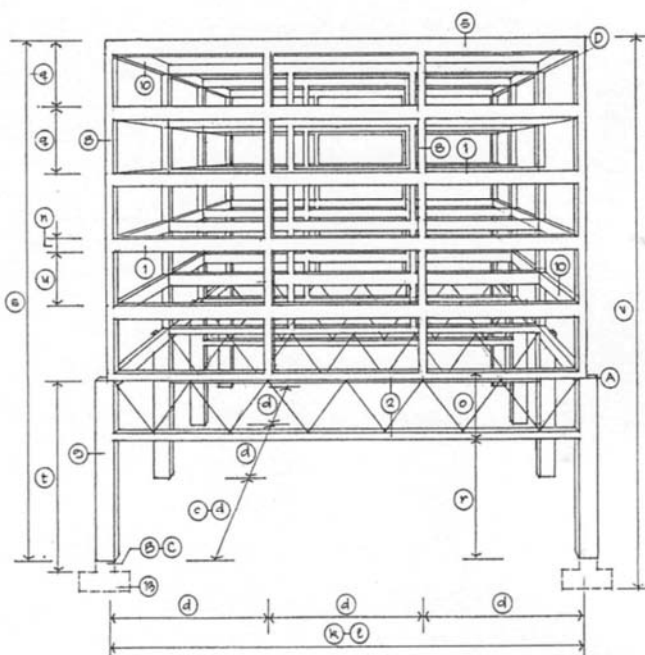
5



5.3 Rascacielos nucleares

Elementos del sistema

- ① Viga / jácena
- ② Jácena-puente
- ③ Jácena de planta
- ④ Jácena de testero / jácena de antepecho
- ⑤ Jácena de alero
- ⑥ Voladizo, jácena en voladizo
- ⑦ Zuncho
- ⑧ Pilar
- ⑨ Pilón
- ⑩ Pórtico de estabilización
- ⑪ Malla de estabilización
- ⑫ Apoyo
- ⑬ Cimentación
- ⑭ Núcleo



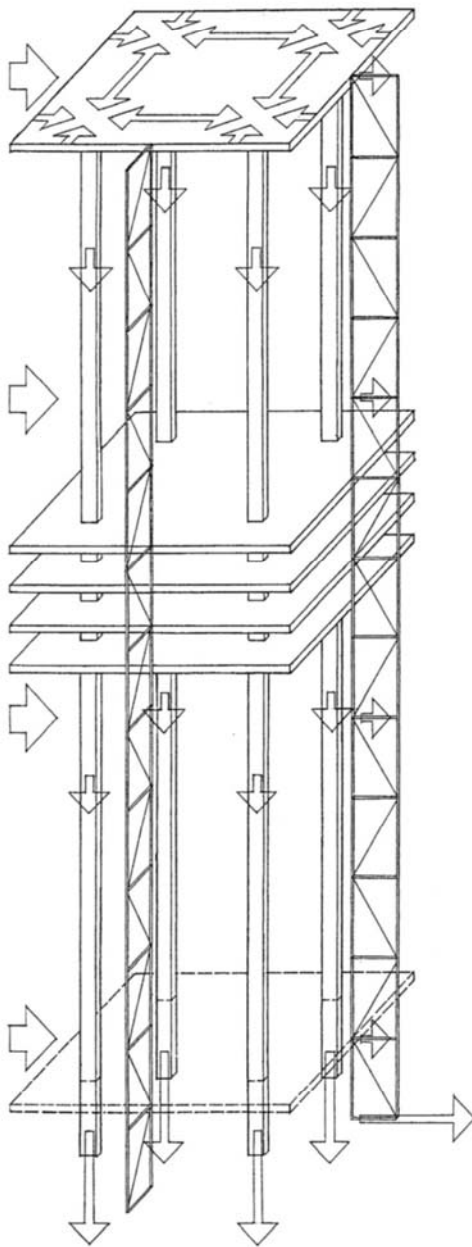
5.4 Rascacielos puente

Dimensiones del sistema / Dimensões do sistema

- a Separación entre vigas
- b Luz de las vigas, longitud del pórtico
- c Separación entre pórticos
- d Separación entre pilares
- e Dimensión de la retícula (rectangular)
- f Anchura de la retícula / longitud de la retícula
- g Diámetro de la carcasa / luz de la carcasa
- h Anchura de la carcasa / profundidad de la carcasa
- i Longitud del voladizo
- j Anchura del núcleo / profundidad del núcleo
- k Anchura del sistema / profundidad del sistema
- l Longitud del puente / luz del puente
- m Separación entre puentes
- n Canto de la jácena
- o Canto del puente
- p Canto total de la estructura
- q Altura de planta
- r Altura del puente
- s Altura del alero
- t Altura de los pilones, longitud de los pilones
- u Altura libre
- v Altura del sistema

5

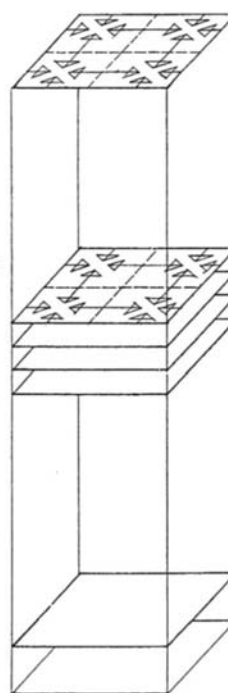
274



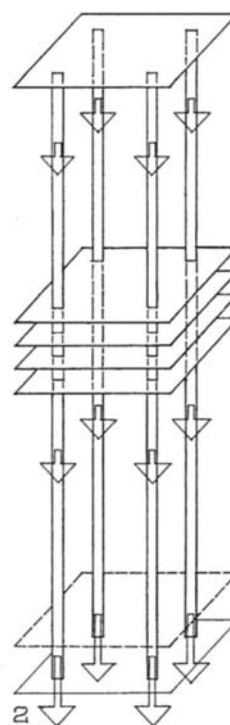
Diseño de estructuras de altura activa a partir de 3 operaciones

- 1 Sistema de recogida de las cargas horizontales en las plantas: CONCENTRACIÓN DE CARGAS
 - 1 Subdivisión de las superficies sobre las que actúan las cargas
 - 2 Flujo horizontal de las cargas
 - 3 Geometría de los puntos de recepción de cargas
 - 4 Estructura (secundaria)
- 2 Sistema de transporte de las cargas verticales desde las plantas: TRANSMISIÓN DE CARGAS
 - 1 Topografía de los puntos de transferencia de cargas
 - 2 Flujo vertical de las cargas de planta
 - 3 Estructura (primaria)
 - 4 Transmisión de las cargas a la cimentación
- 3 Sistema de arriostramiento lateral frente a las cargas horizontales: RIGIDIZACIÓN
 - 1 Rigidización del propio edificio por adición / integrada / combinada
 - 2 Mecanismos de desviación de las cargas
 - 3 Flujo vertical de las cargas horizontales
 - 4 Transmisión de las cargas a la cimentación

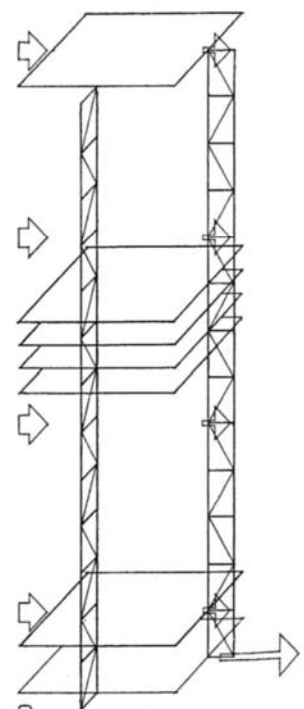
El objetivo del diseño de una estructura de altura activa es conseguir la máxima integración posible entre los tres sistemas, de manera que cada uno de los sistemas también realice simultáneamente algunas funciones de los otros sistemas y, en el caso óptimo, todas ellas.



1
Concentración de cargas



2
Transmisión de cargas



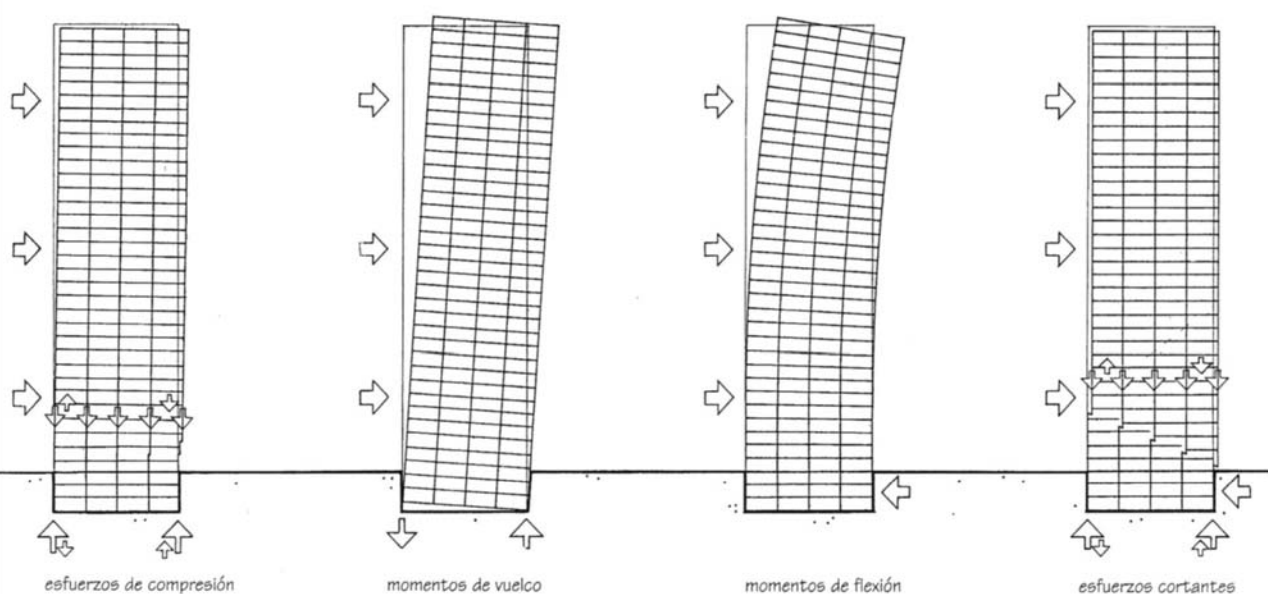
3
Rigidización lateral

275

Definición / Resumen / Funcionamiento

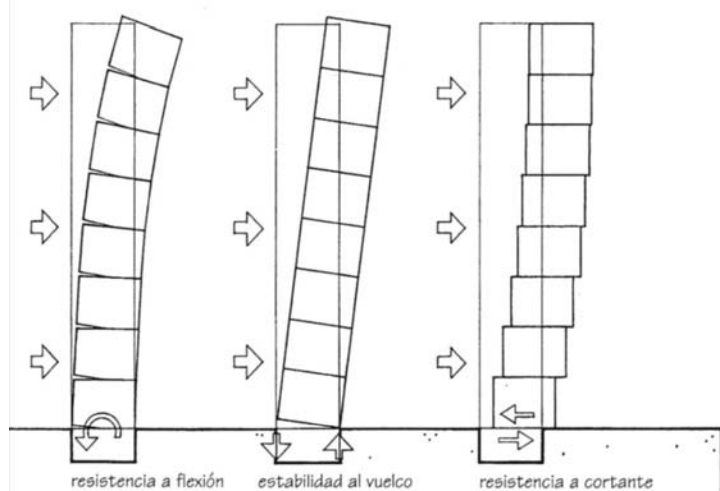
Altura activa **5**
Sistemas de estructuras de

Sobrecargas y deformaciones críticas



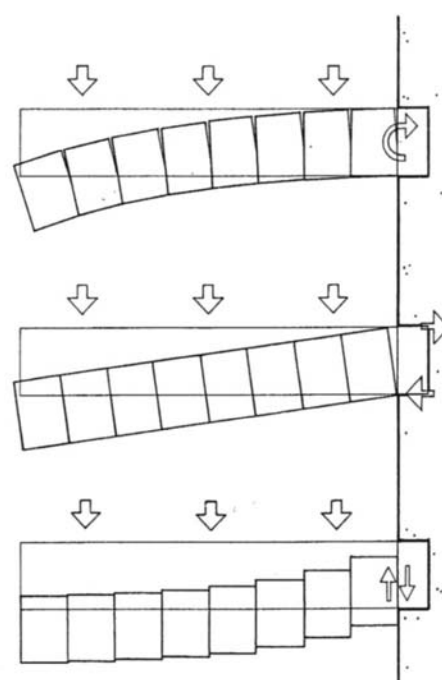
Las sobrecargas decisivas para el proyecto de una estructura vertical se obtienen superponiendo el peso propio, la sobrecarga de uso y la presión del viento. La resultante de todas ellas es una fuerza inclinada que es tanto más difícil transmitir a la cimentación cuanto menor sea su ángulo con la horizontal.

Mecanismo portante para cargas laterales



La presión que ejerce el viento aumenta con la altura del edificio. Su influencia en la estructura predomina sobre las cargas verticales. La presión del viento actúa sobre la estructura vertical igual que una carga vertical sobre una viga en voladizo.

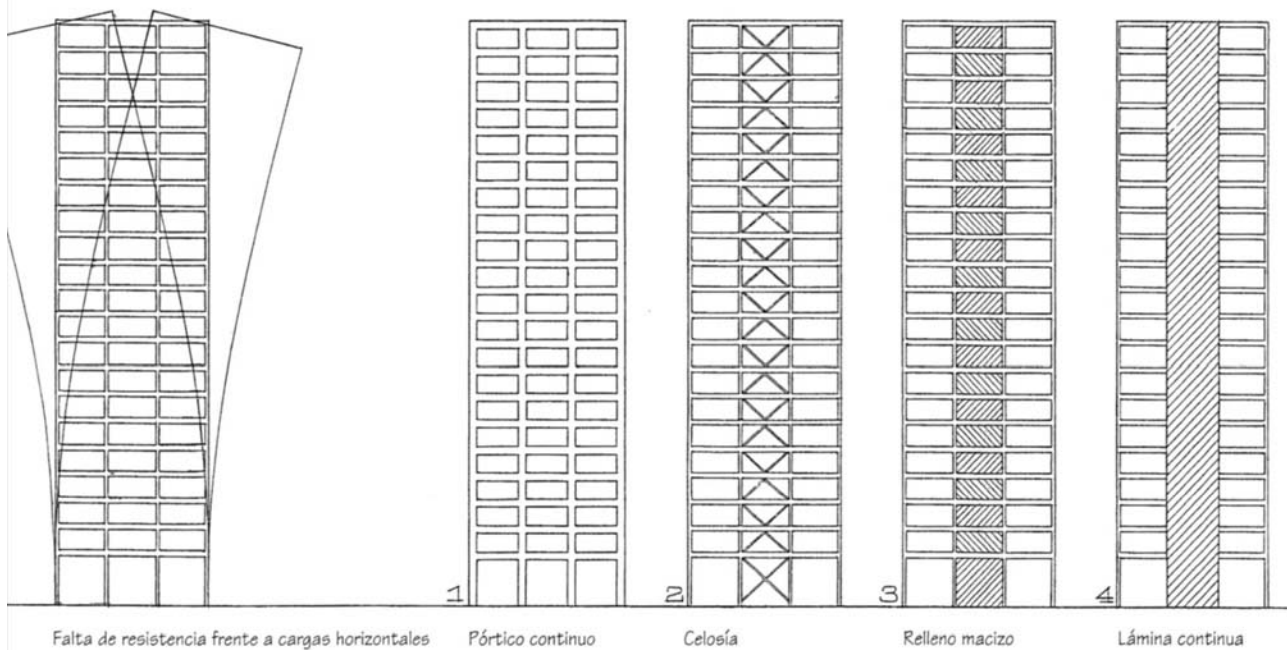
Comparación con el mecanismo de una viga en voladizo



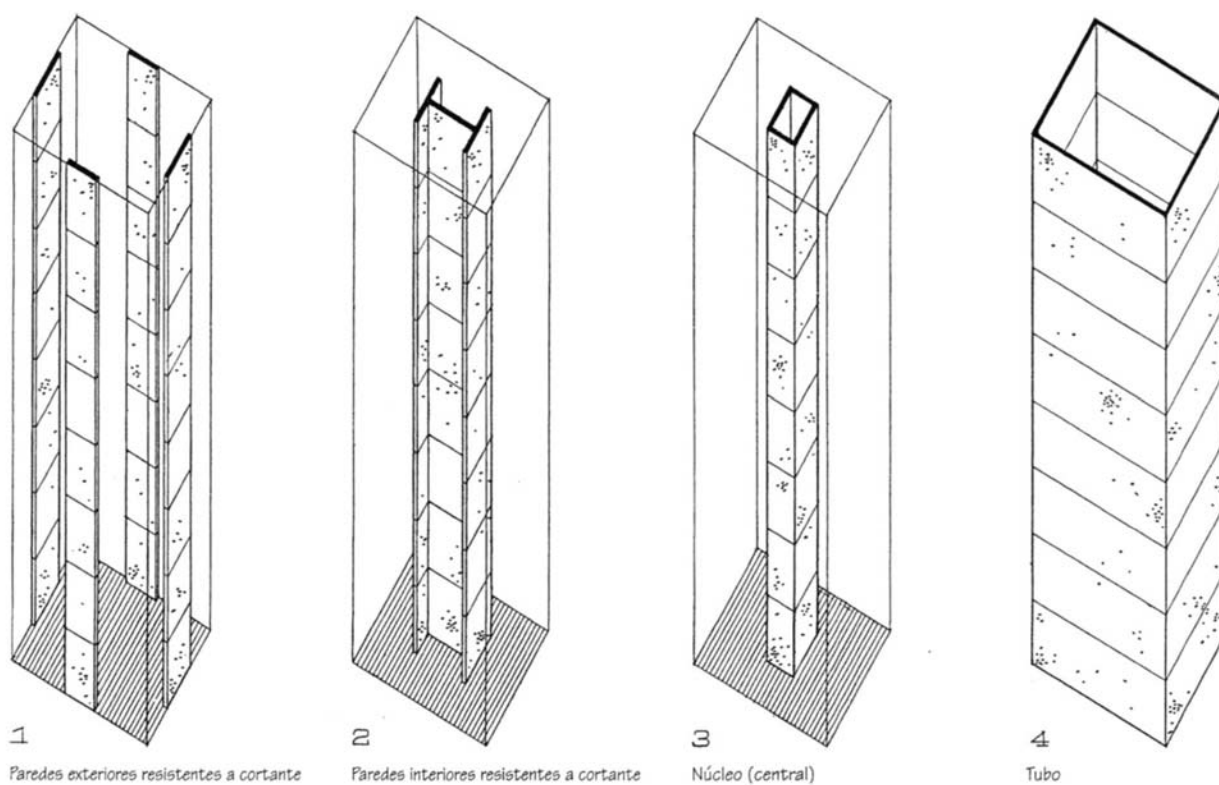
5

282

Principales mecanismos para rigidizar estructuras verticalmente



Formas normalizadas de rigidización vertical



5

290

Sistemas de transmisión de cargas verticales
indirectas con agrupación reticular
= rascacielos puente

