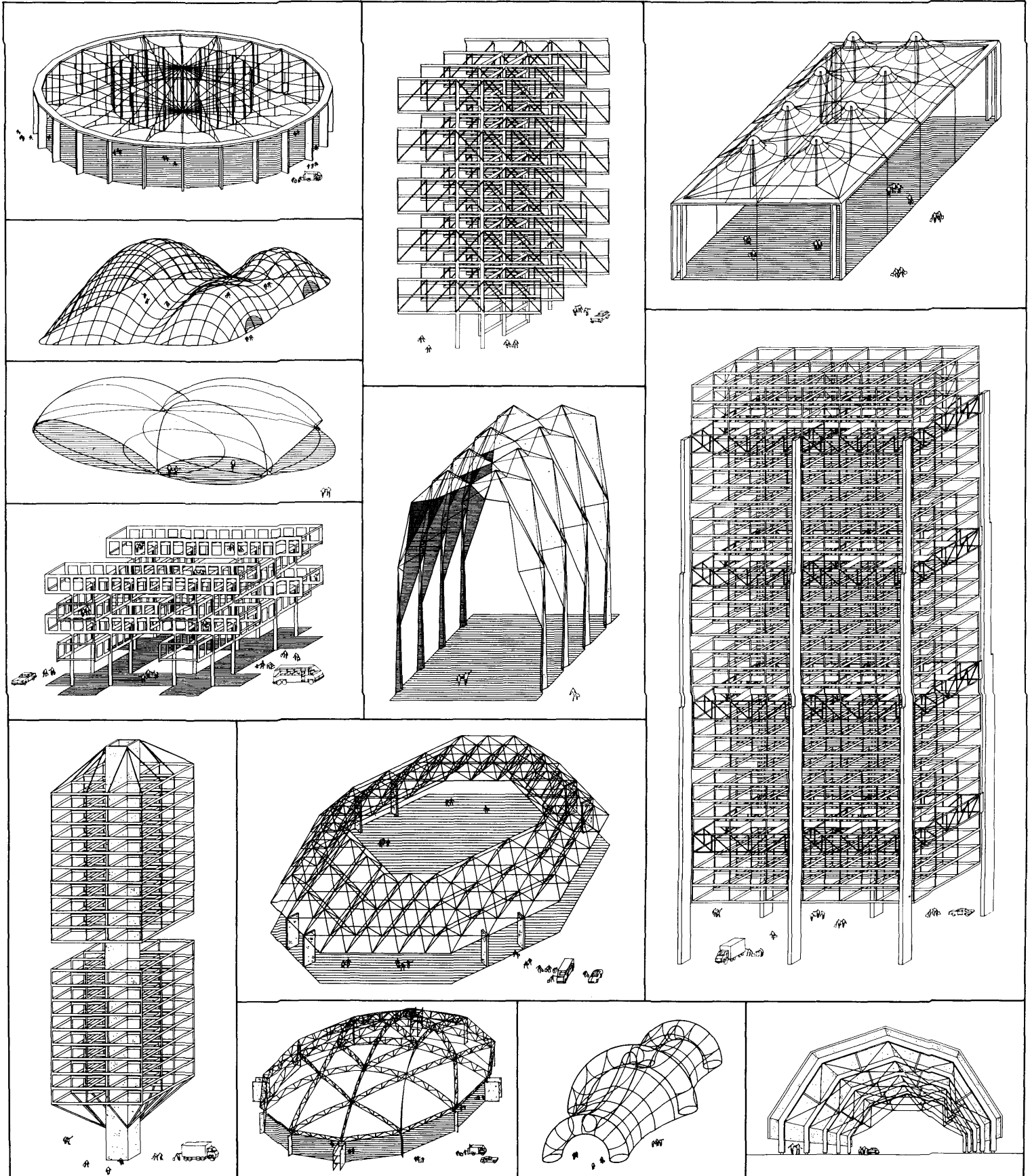


Heino Engel



Dedicado a Nymphe

Dedicado a Rose

1ª edición, 1ª tirada 2001

1ª edición, 2ª tirada 2002

1ª edición, 3ª tirada 2003

**Título original**

*Tragsysteme*. Heino Engel

**Versión castellana** de Jordi Siguan y Rafael Ayuso, arqtos.

**Revisión:** Carme Muntané, arqto.

**Diseño de la cubierta:** Toni Cabré/Editorial Gustavo Gili, SA

**Título original:**

*Tragsysteme*. Heino Engel

**Versão portuguesa** de Esther Pereira da Silva, arqta.

**Revisão:** Carla Zollinger, arqta.

**Desenho da capa:** Toni Cabré/Editorial Gustavo Gili

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede reproducirse, almacenarse o transmitirse de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial. La Editorial no se pronuncia, ni expresa ni implícitamente, respecto a la exactitud de la información contenida en este libro, razón por la cual no puede asumir ningún tipo de responsabilidad en caso de error u omisión.

© Heino Engel y Verlag Gerd Hatje, 1997  
y para la edición castellana/portuguesa  
Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, 2001

*Printed in Spain*

ISBN: 84-252-1800-4

Depósito legal B. 16.111-2003

Fotocomposición: ORMOGRAF, Barcelona

Impresión: Gráficas 92, SA, Rubí (Barcelona)

Nenhuma parte desta publicação, incluído o desenho da capa, pode ser reproduzido, guardado ou transmitido de nenhuma forma, nem por nenhum meio, seja este eléctrico, químico, mecânico, óptico, de gravação ou de fotocópia, sem a prévia autorização escrita por parte da Editora. A Editora não se pronuncia, nem expressa nem implicitamente, respeito à exatidão da informação contida neste livro, razão pela qual não pode assumir nenhum tipo de responsabilidade em caso de erro ou omissão.



## 0 Bases Sistemáticas

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Significado e função                              | 23 |
| Projeto arquitetônico e estrutural                | 28 |
| Temas / Conceitos / Relações / Forças             | 33 |
| Critérios para sistemas construtivos              | 38 |
| Pesquisa / Esquema de organização / Classificação | 40 |

## 1 Forma-ativa

Sistemas estruturais de

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Definição / Sinopse / Vãos | 57  |
| Sistemas de cabo           | 63  |
| Sistemas de tenda          | 86  |
| Sistemas pneumáticos       | 97  |
| Sistemas de arco           | 112 |
| Arco funicular             |     |
| Retículas abobadadas       |     |

## 2 Vetor-ativo

Sistemas estruturais de

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| Definição / Sinopse / Vãos             | 133 |
| Sistemas de treliças planas            | 139 |
| Sistemas de treliças planas combinadas | 145 |
| Sistemas de treliças curvas            | 148 |
| Sistemas de treliças espaciais         | 156 |

## 3 Seção-ativa

Sistemas estruturais de

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Definição / Sinopse / Vãos | 171 |
| Sistemas de vigas          | 177 |
| Sistemas de pórticos       | 186 |
| Sistemas de malha de vigas | 200 |
| Sistemas de lajes          | 206 |

## 4 Superfície-ativa

Sistemas estruturais de

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Definição / Sinopse / Vãos  | 211 |
| Sistemas de placas          | 217 |
| Sistemas de placas dobradas | 219 |
| Sistemas de casca           | 234 |
| Cascas de curvas simples    |     |
| Cascas em cúpula            |     |
| Cascas em sela              |     |

## 5 Altura-ativa

Sistemas estruturais de

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| Definição / Sinopse / Operações           | 267 |
| Deformação e estabilização                | 276 |
| Sistema de transmissão vertical de cargas | 286 |
| Exemplos de formas de estruturas típicas  | 298 |
| Geometrias de elevação                    | 308 |

## 6 Híbridos

Sistemas estruturais de

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Definição / Potencial   | 319 |
| Sistemas combinados     | 323 |
| Sistemas de acoplamento | 326 |
| Sistemas combinados     | 327 |

## 7 Geometria Forma estrutural

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Significado / Funções         | 329 |
| Geometria e imagem de forças  | 334 |
| Superfícies planas / dobradas | 336 |
| Superfícies curvadas simples  | 342 |
| Superfícies em cúpula         | 344 |
| Superfícies em sela           | 347 |

# Introdução

## (1) Argumento e postulação

Os argumentos, que originam este trabalho e fundamentam sua postulação, são categóricos:

1. A estrutura ocupa na arquitetura uma posição que executa duas funções: outorgar existência e sustentar a forma
2. O agente responsável pela arquitetura, seu projeto e sua realização, é o arquiteto
3. O arquiteto desenvolve o conceito de estrutura para seus projetos em sua linguagem profissional

Entre as condições básicas que contribuem para a existência de formas materiais como uma casa, uma máquina, uma árvore ou os seres vivos, a estrutura é fundamentalmente importante. Sem ela, as formas materiais não podem ser preservadas, e sem a preservação das formas, o próprio destino do objetivo da forma não pode ser concretizado. Portanto, é uma verdade que, sem estrutura material, não se pode executar nenhum complexo animado ou inanimado.

Especialmente na arquitetura, a estrutura assume uma parte fundamental:

- A estrutura é o primeiro e único instrumento para gerar forma e espaço na arquitetura. Por esta função, a estrutura torna-se um meio essencial para modelar o meio material do homem
- A estrutura apoia-se na disciplina exercida pelas leis das ciências naturais. Consequentemente, entre as forças de formação do projeto arquitetônico, as linhas de estrutura são como uma norma absoluta
- A estrutura em sua relação com a forma arquitetônica, apesar de tudo, proporciona um espaço infinito de atuação. A estrutura pode estar completamente escondida pela própria forma da construção; também poderá ser a própria arquitetura
- A estrutura personifica a tentativa criativa do projetista de unificar forma, material e forças. A estrutura, então, apresenta um meio inventivo, estético, para ambos, forma e experiência de construção

Em consequência, pode-se concluir que as estruturas determinam as construções de maneira fundamental – suas origens, sua existência, suas consequências – desenvolvendo, portanto, conceitos de estrutura, como por exemplo o projeto estrutu-

ral básico, que é um componente integral do autêntico projeto arquitetônico. Por isso a diferença prevaiente entre o projeto estrutural e as formas arquitetônicas – como seus objetivos, seus procedimentos, suas linhas e, por esta razão, também para seus intérpretes – é sem fundamento e contraditória para a causa e a idéia de arquitetura.

A diferenciação entre projeto arquitetônico e projeto estrutural precisa ser dissolvida.

## (2) O problema

Para materializar as reivindicações antes declaradas consideráveis obstáculos se interpõem no caminho. Alguns deles encontram-se no próprio tema da matéria, outros são mais um produto do princípio de inércia pousados em velhos hábitos. Ambos afetam-se mutuamente.

Para começar: a matéria 'Teoria das Estruturas', pela diversidade e volume, há muito tempo foge de uma total compreensão. A sistemática e conclusiva identificação do conteúdo de uma mera matéria e portanto seu ensino já é um problema; e ainda mais a aplicação da transmissão de sua criatividade. Nem para o especialista em estruturas, o engenheiro estrutural, a utilização competente de todos os ramos deste campo é possível, quanto mais para aquele que, além de tudo, ainda tem que dominar um grande número de outros campos de conhecimento básico para o seu trabalho, o arquiteto.

O problema torna-se ainda mais grave pela tradicional, mas irracional, desconfiança do criativo arquiteto em relação a todas as diretrizes projetuais que, tendo uma base científica, podem ser calculadas ou logicamente derivadas. A aplicação das essências normativas – o analítico, a instrumentação, o processo metódico – geralmente é considerado um impedimento para o desenvolvimento criativo. Subconscientemente, a falta de conhecimento nas disciplinas básicas, como teoria das estruturas, é indiscutível, e assim será legitimada e a insuficiência implicitamente transformada em virtude.

Além disso, há uma desvalorização do projeto estrutural amplamente aceita dentro do processo total de planificação arquitetônica, e isso não somente na opinião pública, mas também – e

ainda menos compreensível – na própria profissão, com suas trilhas institucionalizadas, tais como treinamento *curricular*, sociedades profissionais, ordenação de taxas, etc. Aqui a formulação de idéia de estrutura entende-se não como uma parte integral da geração primária de idéias para a construção, mas como um ato que segue o projeto arquitetônico criativo: em substância, em importância e em tempo.

O problema então torna-se duas vezes maior: Os arquitetos, por ignorância ou por antipatia, projetam construções distanciando-se da poesia das formas estruturais. O desprezo ou ainda diretamente a exclusão da beleza e da disciplina das estruturas na arquitetura moderna é evidente. O engenheiro, que tem confiada a tarefa de fazer tais formas arquitetônicas ficarem em pé e assim permanecerem, não pode aplicar o seu potencial criador em nenhuma postura, nem no projeto de arquitetura moderna, nem na invenção de novos protótipos de sistemas estruturais.

## (3) Aproximação: sistemática

Como estes problemas podem ser manipulados, resolvidos ou pelo menos seus efeitos amenizados?

Campos de matérias complexas podem ser aceitos através da classificação de seus conteúdos. Sistematização significa identificação, articulação e revelação de conteúdos sob um princípio regulado de ordem. Tal princípio é conclusivo se derivado da pura essência da matéria e de sua aplicação.

Para os estudos aqui apresentados, os princípios de ordem, como foram explicados na parte introdutória 'Bases / Sistemáticas', estão baseados em quatro linhas de argumentação:

1. A causa da arquitetura – passado e presente – é suprir e interpretar o espaço para a existência e ação do homem; isso é conseguido através da moldagem da forma material.
2. A forma material está submetida a forças que desafiam a tolerância da forma e assim, ameaçam o seu próprio propósito e significado.
3. A ameaça será defendida através da redistribuição das forças atuantes em cursos que não invadam nem a forma nem o espaço.

4. O mecanismo que efetua isso chama-se estrutura: A redistribuição de forças é causa e essência da estrutura.

Isso, então, é a chave para revelar a total variedade das existentes e potenciais estruturas, para uma aplicação criativa por parte do planejador, tanto o arquiteto como o engenheiro.

Uma teoria de sistemas para estruturas, construída baixo sua função essencial de redistribuição de forças, analisada com ilustrações pelos sistemas característicos de:

- comportamento mecânico
- geometria de forma e espacial
- potencial de projeto

#### (4) Revelação do tema / articulação

Na natureza e na técnica existem 4 mecanismos típicos para lidar com forças atuantes, isto é, para redistribuí-las. Eles são básicos, possuem características intrínsecas e são familiares ao homem com tudo relacionado aos esforços, como suportá-los e como reagir.

**1 AJUSTAMENTO** para as forças  
Estruturas agindo principalmente através de forma material:  
● **SISTEMAS ESTRUTURAIS DE FORMA-ATIVA**  
Sistema em condição de tensão simples:  
Forças de compressão *ou* tração

**2 SEPARAÇÃO** de forças  
Estruturas agindo basicamente através de barras de compressão e de tração:  
● **SISTEMAS ESTRUTURAIS DE VETOR-ATIVO**  
Sistema baixo condição de tensão co-ativa:  
Forças de compressão e tração

**3 CONFINAMENTO** de forças  
Estruturas agindo basicamente através de corte transversal e continuidade de material:  
● **SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SEÇÃO-ATIVA**  
Sistema baixo condições de flexão:  
Forças seccionais

**4 DISPERSÃO** de forças  
Estruturas agindo principalmente através da extensão e forma da superfície  
● **SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SUPERFÍCIE-ATIVA**  
Sistema baixo condição de tensão da superfície:  
Forças de membrana

A estes quatro mecanismos, deve ser acrescentado um quinto. Este tipo, que é caracterizado pela extensão vertical das construções e portanto diz respeito aos quatro sistemas de redistribuição de forças antes mencionados, por causa de sua função especial classifica-se como um sistema de estrutura próprio.

**5 ABSORÇÃO e FUNDAMENTAÇÃO** de forças em estruturas agindo principalmente como transmissoras de carga vertical:  
● **SISTEMAS ESTRUTURAIS DE ALTURA-ATIVA**  
(Sistemas sem condição típica de tensão )

O critério de distinção de sistemas é, portanto, em cada caso, a característica dominante de distribuição de forças. Além da característica dominante, dentro de cada estrutura, distintas forças operacionais estarão em atividade sendo descritivas de outros sistemas. No entanto, se a principal ação de extensão, que é o mecanismo dominante para redistribuição de forças, for considerada, cada estrutura pode ser facilmente classificada dentro de uma das cinco 'famílias' de sistemas estruturais.

Tal simplificação dos sistemas tem ademais outra justificação. Forma e espaço na construção estão menos influenciados pelas estruturas por causa das cargas de transmissão secundárias, mas recebem caráter e qualidade, predominantemente, do sistema que executa a principal ação de extensão. Por isso é legítimo ignorar essas funções secundárias, não somente no tratamento teórico da matéria, mas também ao desenvolver na prática um conceito de estrutura. Por outro lado, somente é compatível classificar as estruturas de arranha-céus na categoria separada de 'estruturas de altura-ativa'. A tarefa inicial destas construções é a transmissão de carga desde os

pontos culminantes ao solo –em curta 'fundamentação' em analogia à engenharia eletrônica– consistindo em sistemas particulares de coleção de cargas, transmissão de cargas e estabilização lateral. Então é irrelevante, em formas não determinantes, que estes sistemas tenham que utilizar para redistribuição de forças um mecanismo pertencente a um ou a vários dos quatro procedimentos anteriores.

#### (5) Tema de mediação / limitações

A escolha de métodos e maneiras de como tornar o conhecimento do sistema de estruturas mais acessível ao uso no projeto arquitetônico ou estrutural seguem condições que são típicas para este objetivo:

- O meio predominante da ilustração através do qual arquitetos e projetistas formulam idéias e comunicam-se
- O físico, como um aparelho que represente a natureza dos sistemas estruturais e suas características de comportamento
- Os méritos do desenho isométrico e da perspectiva para explicar processos mecânicos e configurações espaciais.

Estas circunstâncias são incentivos para apresentar causas e conseqüências dos sistemas estruturais, suas sistemáticas e relacionamentos e, claro, suas formas estruturais, através da ilustração gráfica, e ao mesmo tempo afastando –se bastante de explicações verbais. Isso até inclui matérias abstratas ou processos que –embora como tentativa– são aqui mostrados através de tabelas, gráficos e diagramas.

Por outro lado a representação definitiva e a acentuação do essencial requer ainda algo mais: a exclusão do que não for essencial

– Matemática

Os cálculos matemáticos têm um pequeno significado para o desenvolvimento dos conceitos de estruturas. Na verdade, não são necessários para a compreensão do complexo comportamento dos sistemas estruturais, ou para inspirar o espírito criador para a invenção estrutural.

A Matemática, na forma de simples álgebra, é útil para o entendimento de conceitos básicos das

estruturas e das condições mecânicas, como equilíbrio, resistência, braço de alavanca, momento de inércia, etc., mas não tem utilidade ao gerar conceitos. Somente depois da determinação dos elementos essenciais do conceito é que a análise matemática realiza sua real função de checar e otimizar o sistema, dimensionando seus componentes e garantindo segurança e economia.

#### – Material

O comportamento básico de um sistema estrutural não depende do material, ressalvas feitas aos materiais não adequados à construção. É verdade que a propriedade de tensão da estrutura material é também necessariamente um critério de classificação para o sistema e duração da estrutura, mas o comportamento mecânico, sua compreensão, assim como a sua aplicação no projeto, não dependem do material.

#### – Escala

Para entender o mecanismo estrutural de certos sistemas, a consideração de escala absoluta não é necessária. As ações típicas para o sistema único para atingir estados de equilíbrio não dependem basicamente da categoria tamanho, a escala.

No entanto é inquestionável que para desenvolver conceitos de estrutura, a escala é uma parte importante ou, pelo menos, mais importante que outros fatores de influência que por razão do perfil tópico foram excluídos. Como para desenvolver uma imagem de estrutura se requer em cada caso uma visão concreta da forma e do espaço, assim, a consciência de uma dimensão definida varia pela duração.

Por esta razão, na edição revisada, o amplo interesse do projetista de estruturas foi considerado até agora como em contexto com a definição de famílias individuais dos sistemas estruturais, e um estudo da variação dos vãos razoáveis (econômicos) para cada tipo de estrutura, enumerado para o bom uso dos materiais estruturais.

Mas, além disso, a discussão básica sobre o tema 'vão' ou 'escala' não é aqui abordada. Também, as figuras humanas, delineadas em

alguns desenhos, não servem para sugerir uma variação definida de escala, mas são maneiras de facilitar a imaginação do espaço e construção.

#### – Estabilização

Estabilização, no sentido de suportar carga lateral e assimétrica (vento, neve, terremoto, temperatura, etc.) ou para controlar estados instáveis de equilíbrio, são tratados somente no capítulo 'Sistemas estruturais de altura-ativa'. Predominantemente é a extensão da altura de uma construção que necessita estabilização. Isso torna-se tão influente que, de uma certa altura na redistribuição de forças horizontais e na fundamentação de cargas de altura, será o primeiro gerador da forma e do tipo.

Para todos os outros sistemas estruturais, um tratamento sobre o tema e uma apresentação de medidas de estabilização foram omitidos, na proporção que eles ainda não são parte integral do próprio mecanismo de estrutura. Para alturas normais de construção, suas influências sobre as formas básicas de estruturas e sobre o desenvolvimento de um conceito estrutural continuam sem importância. Na verdade, é somente depois que o conceito é desenvolvido que, na maioria dos casos, torna-se possível a resolução dos problemas de estabilização.

## (6) Projeto básico

Os estudos aqui apresentados mostram o campo das estruturas arquitetônicas em sua total extensão baixo um único princípio direcional. Dada a deliberada 'unidimensão' da revelação do campo (acompanhada pelo descuido de preocupações secundárias) o conteúdo deste campo de conhecimentos torna-se mais acessível em critério decisivo para o projetista de estruturas quando desenvolve idéias e conceitos sobre:

- comportamento mecânico
- geometria da forma e espacial
- potencial de projeto

Não sendo limitado pelas muitas considerações práticas, físicas ou analíticas, mas familiarizado com a lógica mecânica e as possibilidades e formas surgidas a partir delas, dado importante no manuseio das verdadeiras formas de estruturas, pode o projetista submeter-se à sua intuição e ao

poder da imaginação. Tal conhecimento também se qualificará para atentar além dos limites das estruturas bem testadas, em suas diversidades e deduções insólitas, em formas não convencionais.

Estas formas não representam ESTRUTURAS que sem futuros testes podem ser incorporadas no plano ou seção de um projeto, mas sim SISTEMAS estruturais. ESTRUTURAS são exemplos e portanto projetam IMPLEMENTOS; SISTEMAS estruturais são ordens e portanto projetam PRINCÍPIOS.

Como sistemas, os mecanismos para redistribuição de forças erguem-se acima da individualidade de uma estrutura desenhada somente para uma tarefa especial e tornam-se um princípio. Como sistemas, eles não são limites para o presente estado de conhecimento do material e da construção, nem para uma condição local particular, mas mantêm-se válidos independentemente do tempo e do espaço.

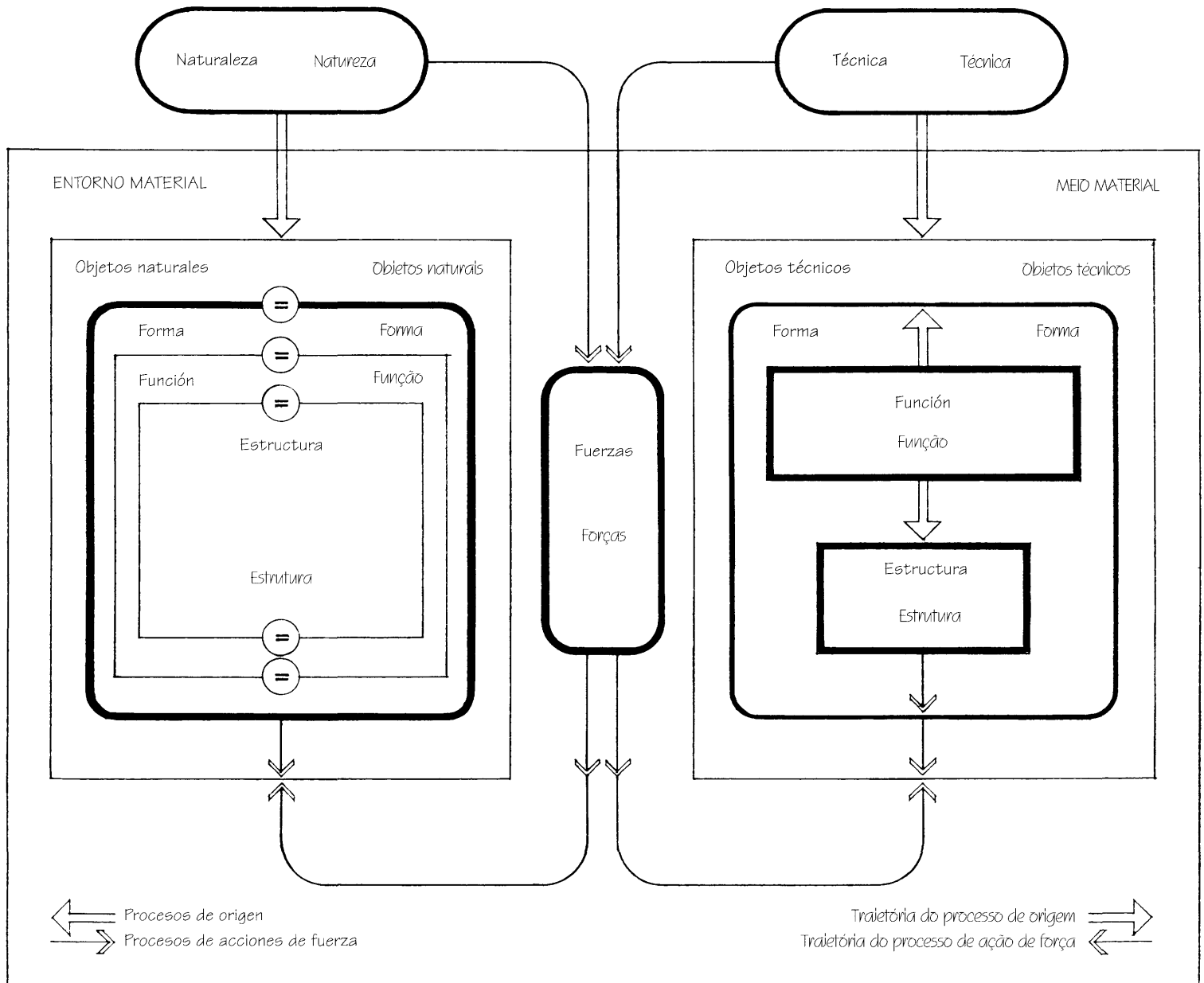
Como sistemas, finalmente eles são parte de um grande sistema de segurança que o homem projetou para a sobrevivência de sua espécie. Sendo assim outra vez envolvido no próprio sistema que governa o movimento das estrelas, tanto quanto o movimento dos átomos.

Fundamentos / Metodología  
Bases / Sistemáticas

0

El significado de las estructuras en el entorno material

O significado das estruturas no meio material



El entorno material está formado por OBJETOS, aislados y en conjunto, macrocósmicos y microcósmicos, animados e inanimados, de origen natural y contruidos; en función de su origen distinguimos dos categorías: los objetos NATURALES y los objetos TÉCNICOS.

Los objetos actúan a través de su FORMA. Por ello, la forma siempre satisface una FUNCIÓN, es decir, la conservación de la forma es imprescindible para la perpetuación de la función.

Todos los objetos están expuestos a fuerzas. La consistencia que garantiza la conservación de la forma del objeto frente a las solicitudes se denomina ESTRUCTURA. De esto se desprende que las estructuras son pautas materiales para mantener las funciones del objeto en el entorno natural y técnico de los hombres.

Las estructuras de la naturaleza y de la técnica

No se distinguen por la mecánica de sus acciones, sino por su relación con la forma y la función del objeto. En la naturaleza, la estructura se integra en ambos aspectos del objeto y, por tanto, no pueden –al contrario que en la técnica– entenderse como estructuras independientes.

O meio material está constituído por OBJETOS, separados e em conjugação, macrocósmicos e microcósmicos, animados e inanimados, crescidos e contruidos. Segundo a fonte de sua origem estão divididos em duas categorias: Os objetos NATURAIS e os objetos TÉCNICOS.

Os objetos operam através de sua FORMA. Portanto as formas sempre têm uma FUNÇÃO, ou seja, a preservação da forma é um pré-requisito para a perpetuação da função.

Todos os objetos estão expostos às forças. A consistência que mantém a perpetuação da forma do objeto contra as forças chama-se ESTRUCTURA. Desde aqui, infere-se que as estruturas são modelos materiais para a preservação da função do objeto no meio natural e técnico do homem.

Estruturas da natureza e da técnica

Não se diferenciam no mecanismo de suas ações, mas em sua relação com a forma do objeto, por um lado, e com a função do objeto, por outro. Na natureza, a estrutura está integrada no conteúdo destes dois objetos e portanto –contrariamente às estruturas técnicas– não pode ser distinguida como uma entidade própria.

### O significado da estrutura: preservação da função do objeto

O meio material do homem está composto por objetos isolados ou em conjunção, animados ou inanimados, crescidos e construídos. De acordo com sua origem, estão divididos em duas categorias: objetos naturais e objetos técnicos.

Também os elementos, dos quais o objeto separado está composto, são objetos que, no inverso daquele grande sistema, outra vez figuram como peças, onde vários objetos separados interagem um único. Portanto, os objetos materiais não pertencem a uma grandeza particular. Eles são componentes de ambos: macrocosmo e microcosmo. Como noção eles compreendem todos os sólidos definíveis no meio material.

Todos os objetos materiais na natureza e na técnica manifestam-se através de uma forma específica. A forma no domínio físico é a distinta distribuição da substância do objeto em três dimensões. É geométrica.

As formas materiais na natureza e na técnica atuam de maneira diferente; elas cumprem funções. Neste contexto, as funções não são somente mecânicas e instrumentais, mas também biológicas, semânticas e psicológicas ou, simplesmente, a substância que preserva causas e efeitos.

A função específica está amarrada à forma específica. Portanto se a forma está invadida ou aniquilada, as funções estarão também debilitadas igualmente. Portanto a preservação da forma é um pré-requisito para a perpetuação de funções no meio material.

Cada forma material, isto é, o objeto como representado pela forma, está inevitavelmente exposta à ação de forças gravitacionais (peso). Outras forças de ação originam-se primeiro da função do objeto, segundo das características e articulação da substância e finalmente das condições do ambiente.

Isso quer dizer que para a existência de um objeto e sua forma, é necessário que o objeto possa suportar àquelas forças. Ele descansa sobre sua capacidade de enfrentar forças de vários tipos, 'suportá-las'. A consistência que confere esta capacidade é a estrutura.

Portanto é válida a declaração: somente através de suas estruturas, as formas materiais do meio permanecerão intactas e portanto poderão completar suas devidas funções. As estruturas são os verdadeiros preservadores das funções do meio material em natureza e técnica.

### Ação de estrutura: fluxo de forças / distribuição de forças

As estruturas na natureza e na técnica servem o propósito de não somente controlar o seu peso próprio, mas também de receber carga adicional (forças). Esta ação mecânica é o que se chama de 'suporte'.

A essência do processo de suporte, de qualquer maneira, geralmente não é uma ação aberta de recebimento de carga, mas o processo interno de operação de transmiti-las. Sem a capacidade de transferir e descarregar cargas, um sólido não pode suportar seu peso próprio e menos ainda uma sobrecarga.

A estrutura, portanto, faz funcionar totalmente juntas as três operações subseqüentes:

1. Recepção de carga
2. Transmissão de carga
3. Descarga

Este processo é chamado FLUXO DE FORÇAS. É a imagem conceitual básica para o projeto de uma estrutura, sua idéia básica. Como trilha de força, é também o modelo para a economia da estrutura.

O fluxo de forças não apresenta problemas, sempre que a forma do objeto siga a direção das forças atuantes. No caso da força gravitacional, tal situação existirá se a substância for conectada na rota mais curta e direta com o ponto de descarga, a Terra. Nascerá portanto o problema quando o fluxo de força não tome uma rota direta, mas tiver que sofrer desvios.

Mas essa é exatamente a situação técnica normal isto é, aquela forma é desenhada para servir a uma função particular, inicialmente independente, e freqüentemente contrária, ao fluxo natural das forças. Portanto, as formas funcionais, ainda que geradas, não possuem a faculdade de controlar forças em desenvolvimento, exceto quando tal controle é tencionado a ser a função do objeto.

Assim, o projeto das estruturas no domínio das técnicas está comprometido a desenvolver –como um ato subseqüente– um sistema para o fluxo de forças com o qual combine, ou pelo menos aproxime-se, à imagem funcional já previamente desenhada. A tarefa é converter o 'quadro' de forças atuantes através de substâncias materiais em um novo quadro de forças com total igualdade de potência, seja através da alteração da própria forma funcional, seja através do reforço das substâncias da forma, ou através da estrutura adicional.

Assim então, um novo 'quadro' de forças será gerado menos pela mudança da *grandeza* das forças que pelo traçado de uma nova *direção* das forças. Na verdade, esta é a última medida que determinará a grandeza das forças que agem dentro do objeto.

Mudar a direção das forças é então o verdadeiro pré-requisito sob o qual novos 'quadros' de força emergirão. Em outras palavras, o transporte de forças tem que ser guiado por rotas insólitas, tem que ser reorientado. REDISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS é, assim, o princípio para conduzir o fluxo de forças no objeto.

A conclusão é a seguinte: o conhecimento do mecanismo desconhecido para guiar forças a outras direções é o requisito básico para desenvolver novos 'quadros' de força. A teoria sublinhando as possibilidades de como redistribuir forças é o núcleo de conhecimento em estruturas e a base para uma sistemática em estruturas arquitetônicas.

## Igualdades e diversidades das estruturas naturais e técnicas

| Estruturas | 1                                                                                                                                                                     | Função | 2                                                                                                                                                                                                                                          | Origem | 3                                                                                                                                                                                                                                           | Ação | 4                                                                                                                                                                                                                                                             | Relação com o objeto |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| NATUREZA   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Proteção da forma do objeto contra forças atuantes</li> <li>- (como consequência) Preservação da função do objeto</li> </ul> |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Componentes da origem integral do objeto</li> <li>- Desempenho autógeno</li> <li>- Diferentes rotas de processo de anulação dos estágios de operação</li> </ul>                                   |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Redistribuição de forças atuantes sujeitas aos princípios da física mecânica</li> <li>- Estabelecimento de equilíbrio</li> <li>- Controle de fluxo de forças no objeto até sua descarga</li> </ul> |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Componente do tecido do objeto</li> <li>- Parte constituinte da função do objeto, portanto, ingrediente da forma do objeto</li> <li>- Existência somente como noção, não como entidade material definível</li> </ul> |                      |
| TÉCNICA    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>idem</i></li> </ul>                                                                                                       |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo separado sujeito ao projeto da forma funcional</li> <li>- Desempenho instrumental heterogêneo</li> <li>- Um processo de rota subdividido em estágios operacionais específicos</li> </ul> |        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>idem</i></li> </ul>                                                                                                                                                                             |      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Adição à matéria do objeto</li> <li>- Consequência da função do objeto, portanto, elemento subordinado na forma do objeto</li> <li>- Sólido definível e independente</li> </ul>                                      |                      |

## Estruturas naturais e técnicas: igualdades

As estruturas técnicas suprem analogias paralelas e similares com as estruturas do domínio da natureza. Isso parece racional: na tentativa de modelar o meio para adequá-lo a seus propósitos, o homem sempre usou a natureza como modelo. Ciência e tecnologia são resultados da exploração da natureza.

No entanto, a correlação das estruturas naturais e técnicas está menos baseada na proximidade do homem à natureza, que em duas identidades básicas:

- ambas as famílias de estruturas servem ao propósito de salvaguardar as formas materiais em seu seguimento contra as forças atuantes.
- ambas as famílias de estruturas cumprem esse propósito, baseado em idênticas leis físicas da mecânica.

Em termos do processo mecânico: as estruturas na natureza e na técnica afetam a redistribuição das forças, que se aproximam a fim de preservar uma forma definida que mantenha uma relação definida com a função. Ambas executam isso identicamente baseadas em dois princípios: o fluxo de força e o estado de equilíbrio.

Por causa desta causa e identidade instrumental, as estruturas dos objetos naturais são modelos legitimados e comparativos no desenvolvimento das estruturas técnicas. Elas são, antes de tudo, fontes importantes para a aprendizagem sobre a união da função, forma e estrutura.

## Estruturas naturais e técnicas: diversidades

A causa essencial para discernir entre as duas famílias de estrutura, tanto em matéria como em conceito, é dada pela disparidade das suas origens:

Natureza: crescimento - mutação - separação - fusão - evolução - deterioração  
= processo individual separado, ocorre externamente a si mesmo, temporariamente contínuo ou periódico

Técnica: projeto - análise - implementação - produção - demolição  
= indispensável processo de formação, ocorre instrumentalmente, interdependente, temporariamente finito (momentâneo)

As discrepâncias elementares das duas famílias de estruturas –não obstante intensificadas pela diferença do material constituinte– leva às

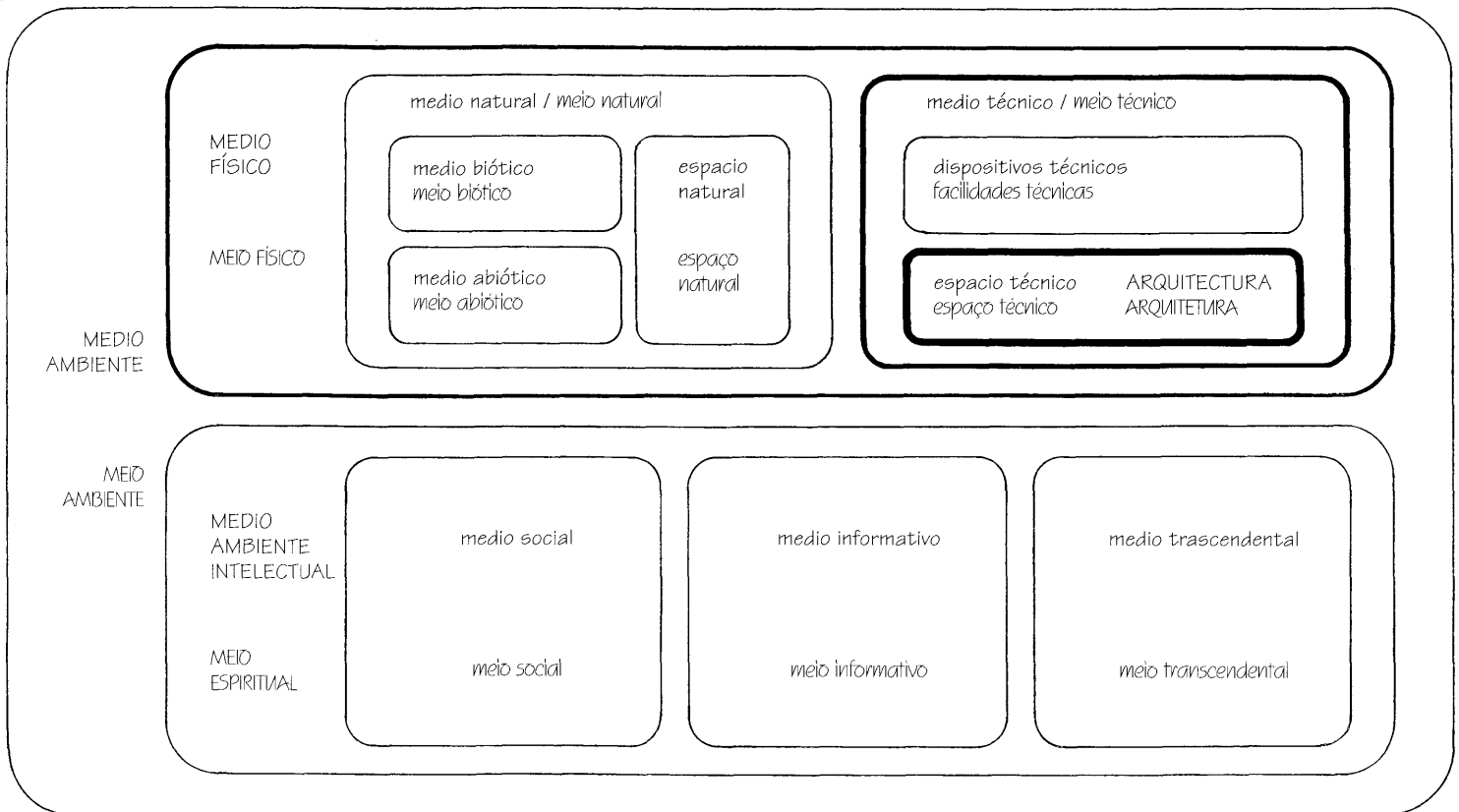
seguintes conclusões: as formas estruturais na natureza, ainda que apresentando um exaustivo material de ilustração para a forma de comportamento múltiplo das estruturas, e mostrando meios para a sua adequação e melhora, não estão aptas para serem 'literalmente' adotadas como estruturas técnicas.

No entanto, como formas integradas entre ambas, a função do objeto e a administração das forças, as estruturas da natureza apresentam diretrizes clássicas e exemplos ideais para esforços no desenvolvimento da construção para resolver a existente separação dos sistemas técnicos: estruturas de construção, espaço fechado, serviços, comunicação. Primeiro eles mostram o grande potencial do desenho contido no desenvolvimento das formas de estruturas sinérgicas.



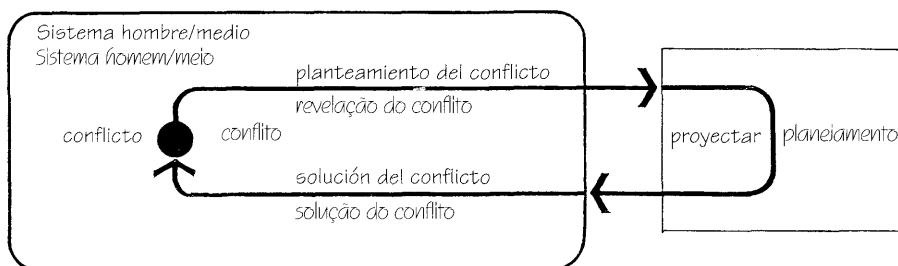
Significado de la arquitectura como parte del medio ambiente

Interpretação da arquitetura como parte do meio ambiente



Definición de 'arquitectura' La arquitectura es el ESPACIO TÉCNICO del medio físico. 'Técnico', en este contexto, significa la capacidad de "ser modelado por el hombre", es decir, "aquello-que-no-ha-surgido-por-sí-mismo"

Definição de 'arquitetura' Arquitetura é o ESPAÇO TÉCNICO do meio físico. 'Técnico' neste contexto significa a qualidade de 'ser modelado pelo homem', que consiste em 'não ter sido originado por si mesmo'

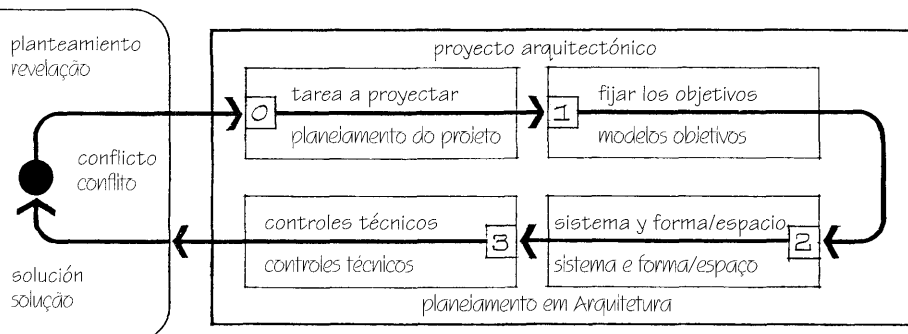


Plantear un CONFLICTO HOMBRE/MEDIO es la causalidad del diseño en general. En el campo de la arquitectura existe un conflicto cuando el entorno construido, el "espacio técnico", no satisface, o sólo parcialmente, determinadas necesidades del hombre.

A revelação do CONFLITO HOMEM / MEIO é a causalidade do planeamento em geral. No caso da arquitetura existe um conflito, se o meio construído, 'o espaço técnico', não for adequado, ou simplesmente incompleto para certos desejos do homem.

Causalidad del diseño arquitectónico

Causalidade do planeamento em arquitetura



El diseño arquitectónico se inicia fijando la TAREA A PROYECTAR. Se realiza en tres fases consecutivas:  
1 Fijar los OBJETIVOS  
2 Diseño de SISTEMA Y CONFIGURACIÓN FORMA/ESPACIO  
3 Desarrollo de los SISTEMAS DE CONTROL TÉCNICO

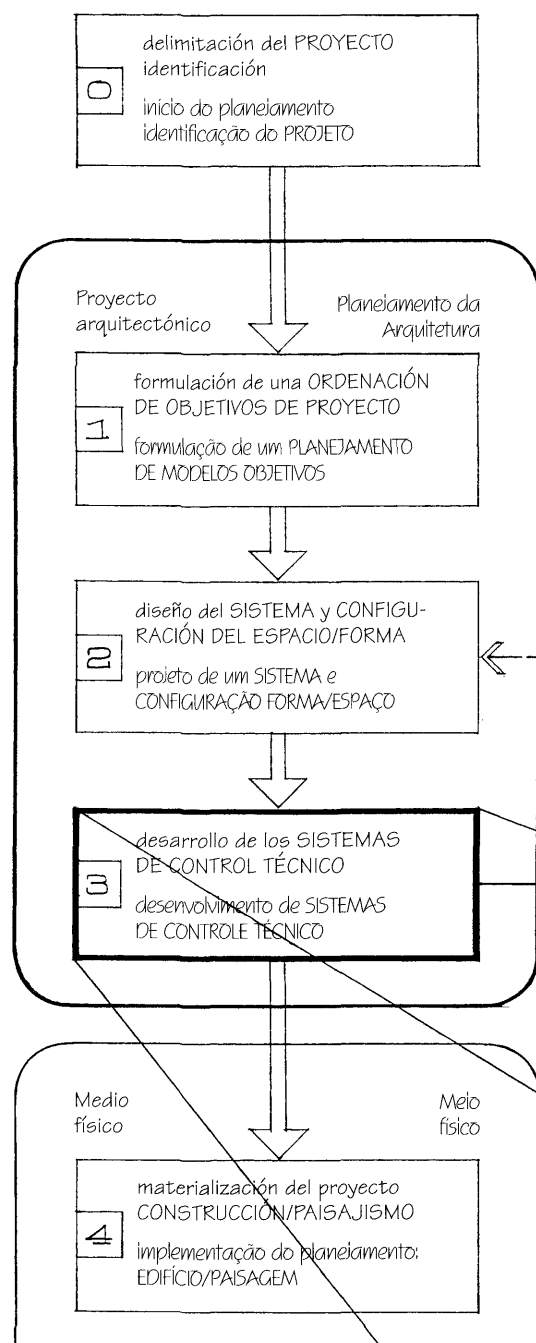
O planeamento em arquitetura é iniciado através da definição do PLANEAMENTO DO PROJETO. Manifesta-se como a sequência de três fases principais:

- 1 Interpretação dos MODELOS OBJETIVOS
- 2 Projeto do SISTEMA e CONFIGURAÇÃO FORMA/ESPACIO
- 3 Desenvolvimento dos SISTEMAS DE CONTROLE TÉCNICO

Principales fases del proyecto arquitectónico

Principais fases do planeamento em arquitetura

## Desarrollo del proceso de proyecto en arquitectura



## Definición del proyecto

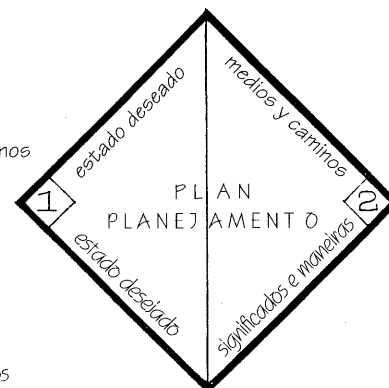
Diseñar en general = desarrollo de ideas con un doble contenido

- 1 Representación de un estado intencionado nuevo o modificado
- 2 Especificación de los medios y caminos para llevar a cabo dicho estado

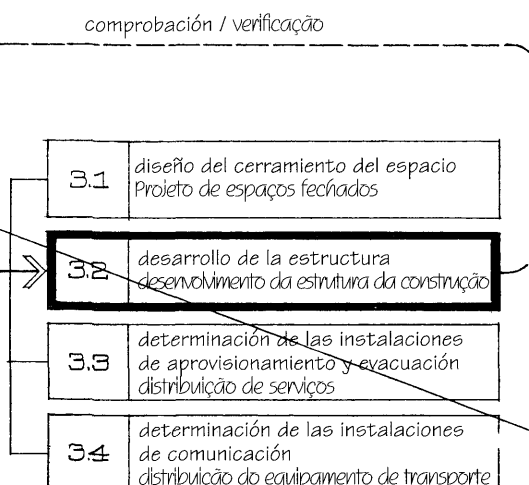
## Definição do planeamento

Planificação em geral = desenvolvendo conceitos com um conteúdo duplo

- 1 Representação de mudança de estado ou intenção de mudança
- 2 Especificações de maneiras e significados para efetuar este estado



Posición del diseño de estructuras en la proyectación arquitectónica  
Posição do projeto de estrutura no processo de planeamento em arquitetura



Por regla general, el diseño de estructuras dentro del proceso lineal del proyecto arquitectónico sólo se puede realizar después de haber concebido la configuración forma/espacio. Con la comprobación se garantiza que los impulsos formales de la estructura se incorporen de manera eficaz en la fase de configuración/formalización del espacio

O desenho estrutural no planeamento linear do processo de arquitetura, como regra, pode funcionar somente depois que a configuração forma/espço houver sido concebida. Está garantido através da verificação que os impulsos da forma do projeto estrutural serão totalmente eficazes na fase de desenho forma/espço

## Sequência do processo de planeamento em construção

| Sistemas de control técnico |                                             | Sistema de controle técnico |                                                                          |
|-----------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
|                             | objeto de control<br>objeto de controle     |                             | sistema técnico<br>sistema técnico                                       |
| 3.1                         | espacio<br>espaço                           |                             | cerramiento del espacio<br>espaço fechado                                |
| 3.2                         | fuerzas y momentos<br>forças e momentos     |                             | estructura<br>estrutura da construção                                    |
| 3.3                         | energía y desechos<br>energia e desperdício |                             | instalaciones de aprovisionamiento y evacuación<br>utilidades (serviços) |
| 3.4                         | transporte<br>transporte                    |                             | instalaciones de comunicación<br>equipamento de transporte               |

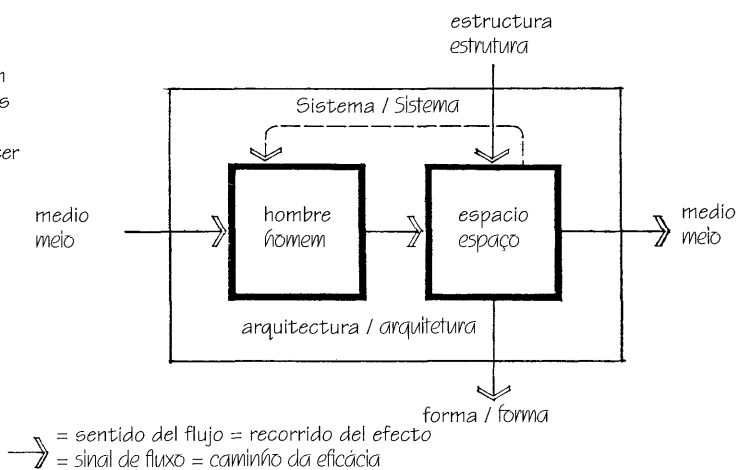
## Función y significado de las estructuras

### Estructuras y sistemas

Las estructuras, tanto las de la naturaleza como las de la técnica, sirven en general para mantener la forma de los objetos. Conservar la forma es imprescindible para que puedan satisfacer las necesidades de los sistemas: máquina / casa / árbol / hombre  
+ sin estructura no hay sistema

### Estructura y edificio

La función del sistema técnico-social de los edificios descansa en la existencia de un espacio definido. El espacio se define por sus límites. El responsable de los límites es la estructura.  
+ sin estructura no hay edificio



## Função e significado das estruturas

### Estruturas e sistemas

As estruturas na natureza e na técnica servem essencialmente ao propósito de sustentar a forma física. A preservação da forma é um pré-requisito para a atuação do sistema: motor / casa / árvore / homem  
+ sem estrutura não há sistema

### Estruturas e construções

A função do sistema técnico-social 'construção' apoia-se basicamente na existência de um espaço definido. O espaço é definido pelo que ele inclui. O autor do que abrange o espaço é a estrutura.  
+ sem estrutura não há construção

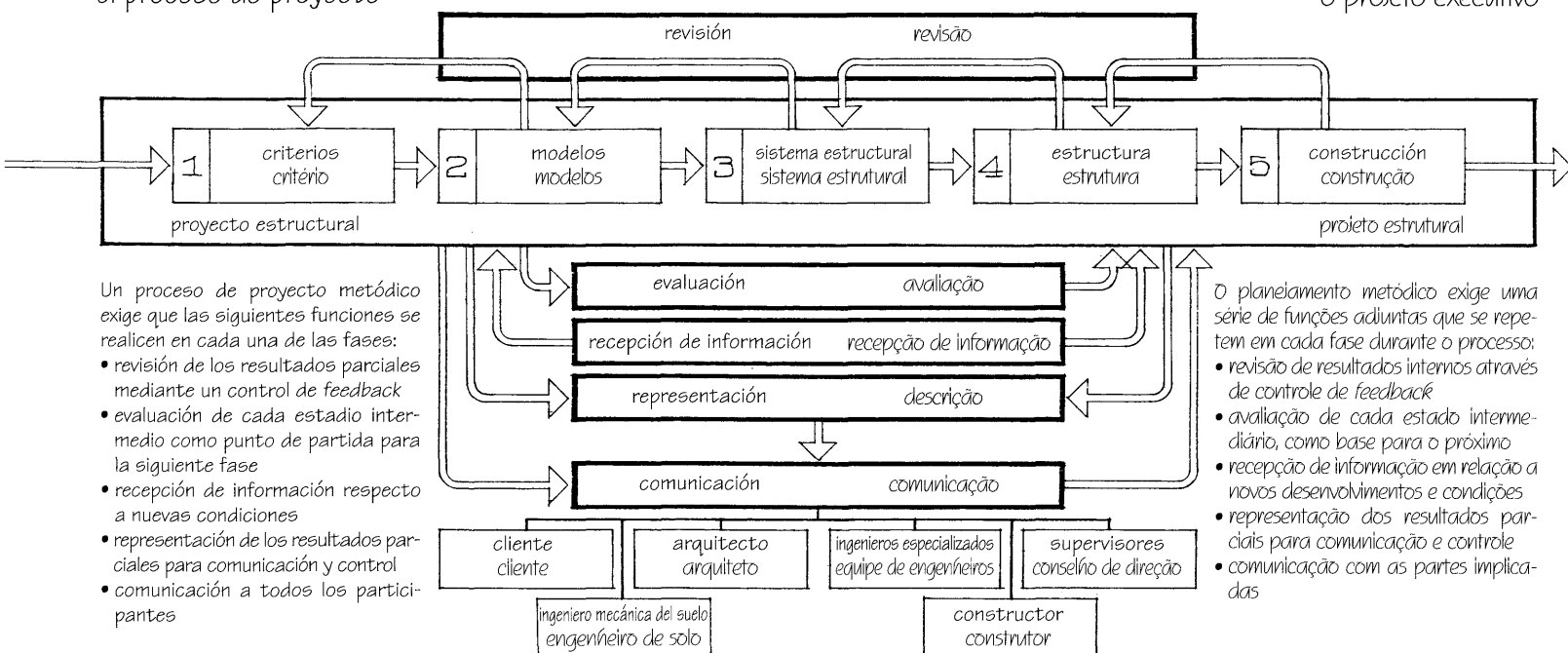
## Fases principales del proyecto de una estructura / Comparación entre diferentes conceptos

|   |                                                                   | Ambrose                                                         | Buitner/Hampe                                                                   | Tabla de honorarios/Tabela de honorários HOAI (decreto) |
|---|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 1 | definición de los criterios<br>definição de critério              | definición del programa<br>programação                          | definición de la tarea<br>definição do projeto                                  | estudios previos<br>estudos preliminares                |
| 2 | desarrollo del modelo<br>modelo de desenvolvimento                | diseño (tipo de estructura)<br>planejamento (tipo de estrutura) | desarrollo de las principales soluciones<br>desenvolvimento de soluções básicas | anteproyecto<br>anteprojeto                             |
| 3 | proyecto del sistema estructural<br>projeto de sistema estrutural | cálculo estructural<br>análise estrutural                       | concreción del proyecto<br>consolidação do projeto                              | proyecto básico<br>projeto básico                       |
| 4 | cálculo estructural<br>análise estrutural                         | dimensionado definitivo<br>projeto definitivo                   | valoración analítica<br>avaliação analítica                                     | cálculo estructural<br>cálculo estrutural               |
| 5 | planificación de la construcción<br>plano de construção           | construcción - diseño de detalles<br>detalhamento da construção | fijación de la estructura portante<br>determinação da forma da estrutura        | proyecto de ejecución<br>projeto executivo              |

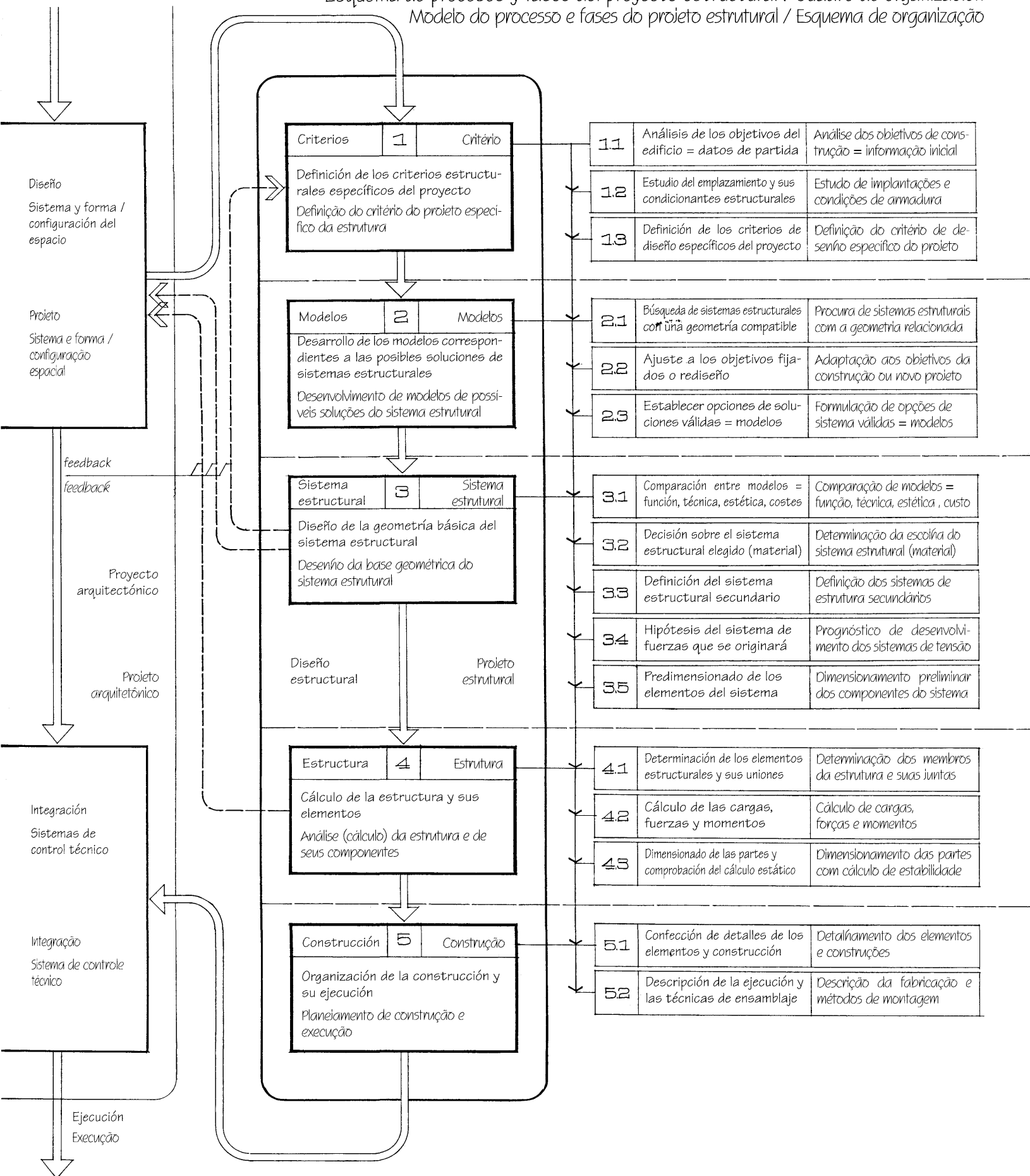
## Principais fases do projeto estrutural / Comparação de conceitos

## Funciones rutinarias que acompañan el proceso de proyecto

## Funções de rotina que acompanham o projeto executivo



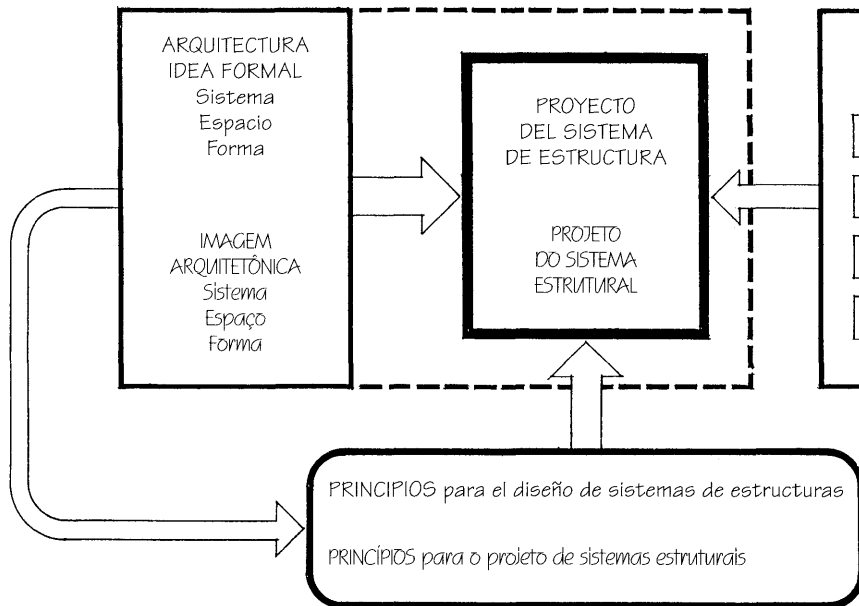
Esquema de procesos y fases del proyecto estructural / Quadro de organização  
Modelo do processo e fases do projeto estrutural / Esquema de organização



## Principios generales para el diseño de sistemas de estructuras

## Princípios gerais para o desenho de sistemas estruturais

Relaciones entre los principales condicionantes en el proceso de proyecto



Relação entre os principais determinantes no processo de projeto

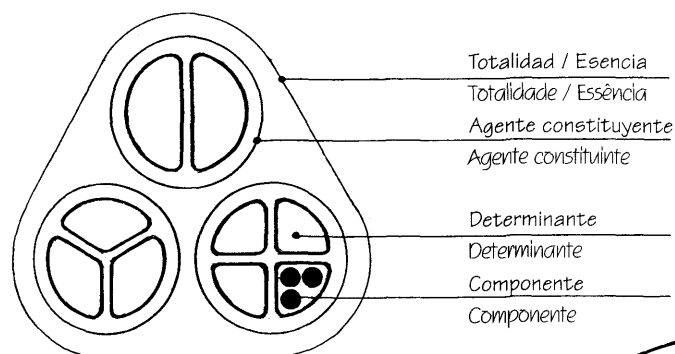
Los principios de validez universal para el diseño de los sistemas de estructuras se basan en las relaciones entre los principales requisitos que determinan el sistema, la forma y la función de la estructura

Da relação entre os principais agentes que determinam o sistema, a forma e a função das estruturas, os princípios universalmente válidos para o projeto dos sistemas de estrutura podem ser derivados

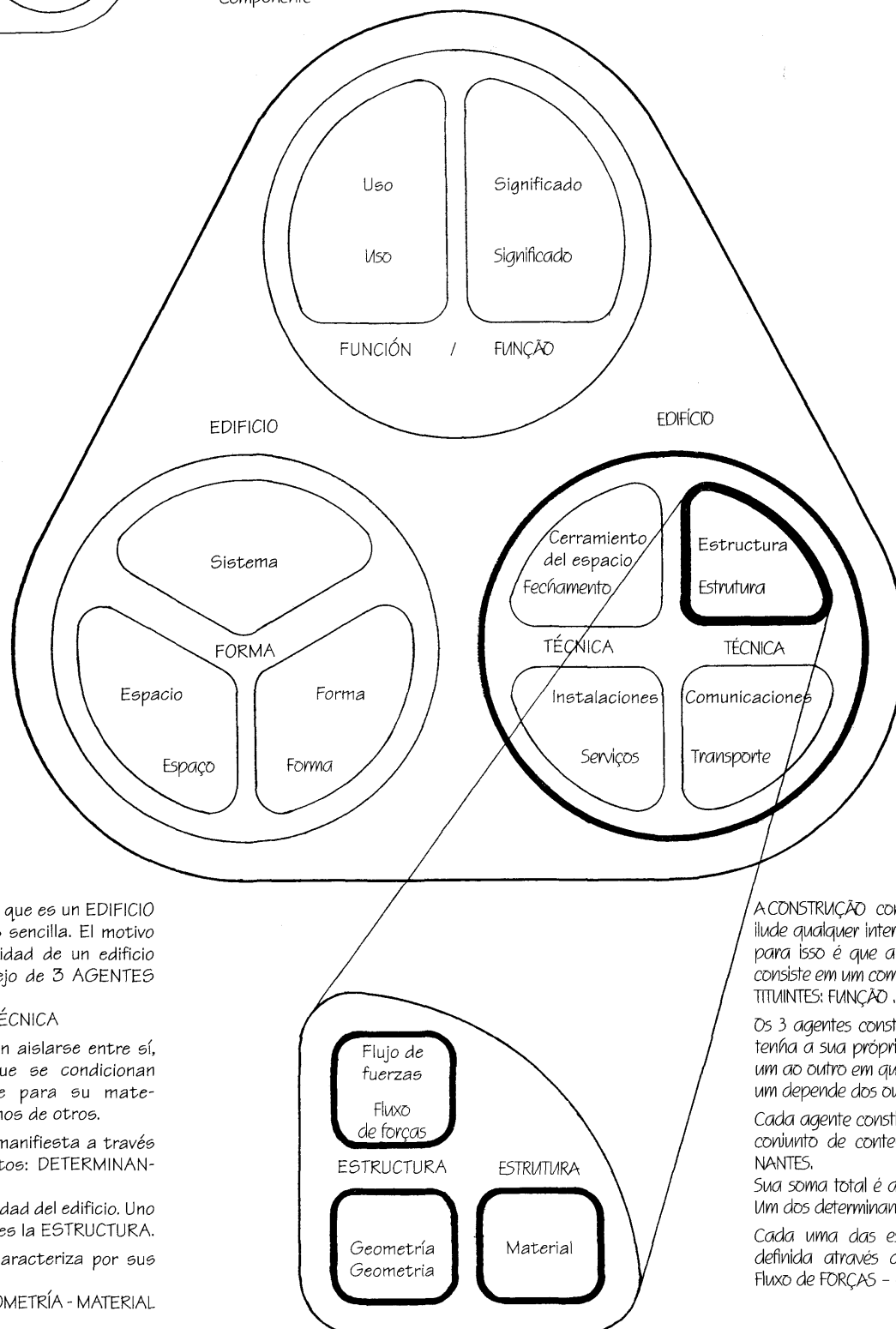
Principios de diseño = criterios de calidad de los sistemas de estructuras

Princípios de projeto = critério para a qualidade dos sistemas estruturais

|                       |                                                                                                             |    |                                                                                           |                                |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| principios FORMALES   | Compatibilidad con la primera idea arquitectónica y viabilidad para su desarrollo.                          | 1  | Compatibilidade e qualificação para a melhoria da ideia inicial do projeto arquitetônico  | principios da FORMA DO PROJETO |
|                       | Conformidad del peso propio en el marco de los generadores de forma arquitectónica                          | 2  | Adequação de classe dentro da união dos geradores da forma arquitetônica                  |                                |
|                       | Potencial de optimización y remodelación para la caracterización de la forma construida                     | 3  | Potencial para melhoria ou reavaliação no projeto da forma da construção                  |                                |
| principios ESTÁTICOS  | Realidad tridimensional del comportamiento estructural y del diseño estructural                             | 4  | Realidade tridimensional do comportamento estrutural e projeto estrutural                 | principios ESTRUTURAIS         |
|                       | Linealidad y lógica de la transmisión de cargas desde la recepción de cargas hasta la descarga de esfuerzos | 5  | Retidão e lógica do fluxo de forças, desde recebimento até a descarga de esforços         |                                |
|                       | Identificación del sistema para la estabilización frente a solicitaciones horizontales y asimétricas        | 6  | Identificação de sistemas para estabilização contra cargas assimétricas e horizontais     |                                |
|                       | Preferencia de sistemas estáticamente indeterminados (frente a sistemas determinados estáticamente)         | 7  | Preferência de sistemas estaticamente indeterminados (contra sistemas determinados)       |                                |
| principios ECONÓMICOS | Regularidad de la articulación estructural y simetría de las funciones parciales de la estructura           | 8  | Regularidade da articulação estrutural e simetria das funções dos componentes estruturais | principios ECONÔMICOS          |
|                       | Equilibrio de las cargas de los componentes estructurales con funciones iguales o similares                 | 9  | Equilíbrio de cargas entre os elementos com funções estruturais iguais ou relacionadas    |                                |
|                       | Imposición de dos o más funciones estructurales a los componentes de la estructura                          | 10 | Imposição de duas ou mais funções estruturais para o único elemento componente            |                                |



Relación conceptual entre edificio y estructura  
Relação conceptual entre edifício e estrutura



La interpretación de lo que es un EDIFICIO en su globalidad no es sencilla. El motivo de ello es que la realidad de un edificio consiste en un complejo de 3 AGENTES CONSTITUYENTES: FUNCIÓN - FORMA - TÉCNICA

Si bien los tres pueden aislarse entre sí, también es cierto que se condicionan mutuamente, ya que para su materialización dependen unos de otros.

Cada uno de ellos se manifiesta a través de contenidos concretos: DETERMINANTES.

Su totalidad es la realidad del edificio. Uno de los condicionantes es la ESTRUCTURA.

Cada estructura se caracteriza por sus 3 COMPONENTES:

Flujo de FUERZAS - GEOMETRÍA - MATERIAL

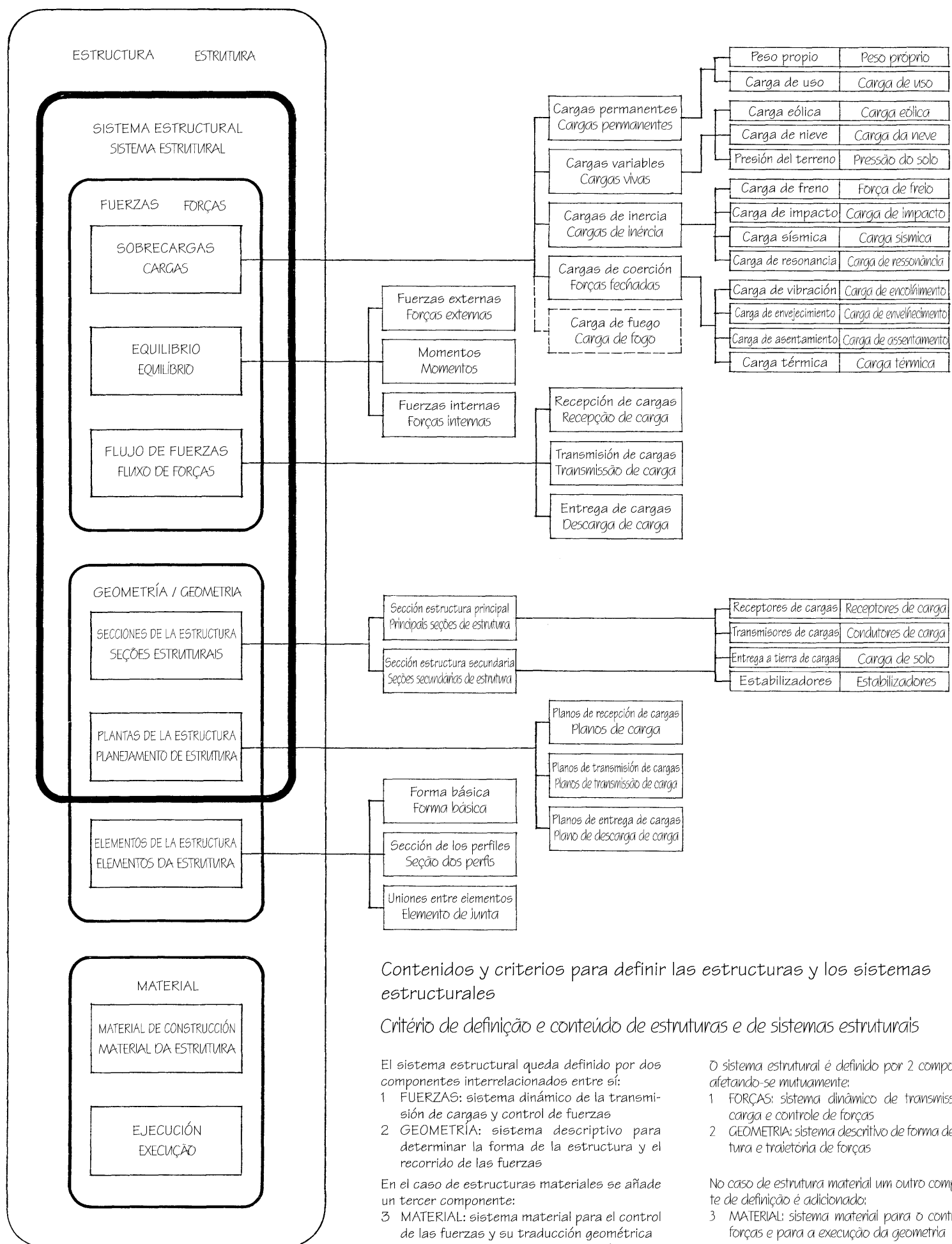
A CONSTRUÇÃO como uma noção absoluta ilude qualquer interpretação simples. A razão para isso é que a realidade da construção consiste em um complexo de 3 AGENTES CONSTITUINTES: FUNÇÃO, FORMA, TÉCNICA

Os 3 agentes constituintes, embora cada um tenha a sua própria identidade, condicionam um ao outro em que para sua materialização um depende dos outros dois.

Cada agente constituinte atua através de um conjunto de conteúdos concretos: DETERMINANTES.

Sua soma total é a realidade da construção. Um dos determinantes é a ESTRUTURA.

Cada uma das estruturas é positivamente definida através de seus 3 COMPONENTES: Fluxo de FORÇAS - GEOMETRIA - MATERIAL



## Multiplicidad de fuerzas en la estructura / Denominaciones

## Diversidade de forças em estrutura / Denominações

|   |                                            |                                                |                                              |                                            |                                                  |                                                         |                                                  |                                                    |                                                 |
|---|--------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1 | TIPOS<br>TIPOS                             | Fuerzas externas<br><br>Forças externas        | Fuerzas internas<br><br>Forças internas      | Fuerzas cortantes<br><br>Forças cortantes  | Fuerzas activas<br><br>Forças ativas             | Fuerzas de reacción<br><br>Forças reativas              | Fuerzas de resistencia<br><br>Forças resistentes | Fuerzas gravitatorias<br><br>Forças gravitacionais |                                                 |
| 2 | ESFUERZOS<br>TENSÃO                        | Compresiones<br><br>Forças de compressão       | Tracciones<br><br>Forças de tração           | Empujes<br><br>Forças de empuxo            | Cizallamientos<br><br>Forças cortantes           | Torsiones<br><br>Forças de torção                       | Flexiones<br><br>Forças de flexão                | Rozamientos<br><br>Forças de fricção               | Esfuerzos de membrana<br><br>Forças de membrana |
| 3 | DIRECCIÓN<br>DIREÇÃO                       | Fuerzas horizontales<br><br>Forças horizontais | Fuerzas verticales<br><br>Forças verticais   | Fuerzas oblicuas<br><br>Forças obliquas    | Fuerzas transversales<br><br>Forças transversais | Fuerzas normales (longitudinales)<br><br>Forças normais |                                                  |                                                    |                                                 |
| 4 | DISTRIBUCIÓN<br>DISTRIBUIÇÃO               | Fuerzas puntuales<br><br>Forças pontuais       | Fuerzas lineales<br><br>Forças lineares      | Fuerzas superficiales<br><br>Forças planas | Fuerzas espaciales<br><br>Forças espaciais       |                                                         |                                                  |                                                    |                                                 |
| 5 | DURACIÓN<br>DURAÇÃO                        | Fuerzas estáticas<br>Forças estáticas          | Cargas permanentes<br>Cargas próprias        | Cargas de tráfico<br>Cargas vivas          | Fuerzas dinámicas<br>Forças dinâmicas            | Fuerzas móviles<br>Forças de movimento                  | Fuerzas de resonancia<br>Forças de ressonância   |                                                    |                                                 |
| 6 | ELEMENTO<br>ESTRUTURAL<br>CORPO ESTRUTURAL | Fuerzas de barras<br><br>Forças de barra       | Fuerzas de cables<br><br>Forças de cabo      | Fuerzas de pilares<br><br>Forças de estaca | Fuerzas de apoyos<br><br>Forças de suporte       | Fuerzas de arcos<br><br>Forças de arco                  | Fuerzas de anclajes<br><br>Forças de âncora      | (Otras)<br>→<br>(Outras)                           |                                                 |
| 7 | GEOMETRÍA<br>GEOMETRIA                     | Fuerzas anulares<br><br>Forças de aro          | Fuerzas meridianas<br><br>Forças meridionais | Fuerzas de corona<br><br>Forças de coroa   | Fuerzas de borde<br><br>Forças de borda          | Fuerzas radiales<br><br>Forças radiais                  | (Otras)<br>→<br>(Outras)                         |                                                    |                                                 |
| 8 | CAUSA<br>INDUÇÃO                           | Peso propio<br>Cargas próprias                 | Cargas de tráfico<br>Cargas vivas            | Cargas de nieve<br>Cargas da neve          | Cargas de viento<br>Forças do vento              | Empuje del terreno y el agua<br>Pressão do solo / água  | Fuerzas de masas<br>Forças de massa              | Fuerzas de coacción<br>Forças fechadas             |                                                 |

Las estructuras son mecanismos para la delimitación y conducción de los esfuerzos producidos por las acciones. Se definen mediante 4 condiciones específicas de cada edificación:

- 1 Peso propio del edificio y de su sobrecarga de uso
- 2 Tipo de uso (efectos debidos al uso) del edificio
- 3 Características y articulación del material del edificio
- 4 Influencias y particularidades del lugar y de su entorno

Dos conceptos sobre la mecánica de fuerzas rigen el proyecto estructural  
 + las fuerzas FLUYEN a través de la estructura y se ENTREGAN a tierra  
 + las fuerzas PERMANECEN FIJAS en equilibrio mediante FUERZAS EN SENTIDO CONTRARIO y son ESTÁTICAS

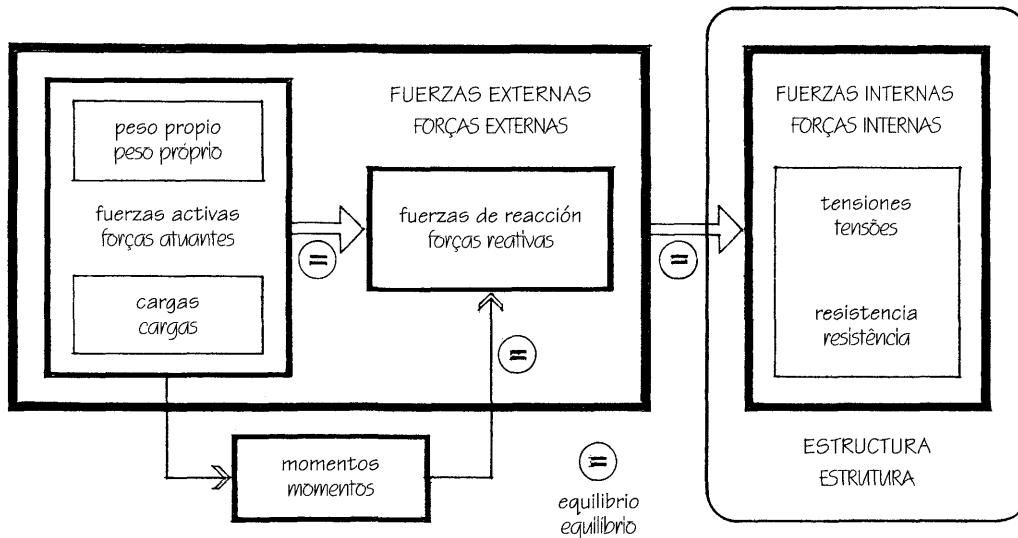
As estruturas são dispositivos para compeler e guiar as forças. Essas forças são determinadas por 4 condições específicas para cada construção:

- 1 Peso da construção e de suas cargas vivas (utilitárias)
- 2 Tipo de utilização (consequências do uso) da construção
- 3 Propriedades e articulação do material construído
- 4 Influências e condições do sítio e seu entorno

Dois conceitos sobre operação de forças guiam o projeto de estruturas:

- + as forças 'FLUEM' através da estrutura e são DESCARREGADAS na terra
- + as forças 'PERMANECEM FIXAS' em equilíbrio através de forças contrárias e são ESTÁTICAS





## Prerrequisitos de la teoría de estructuras

El tema fundamental a la hora de diseñar y dimensionar una estructura es alcanzar un: **EQUILIBRIO DE FUERZAS**

Se ha de proyectar y dimensionar una estructura que resista las fuerzas actuantes, es decir, que movilice reacciones opuestas que garanticen el equilibrio.

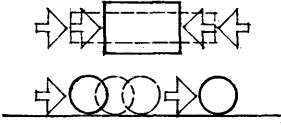
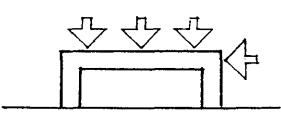
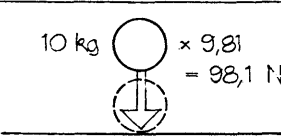
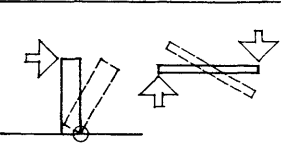
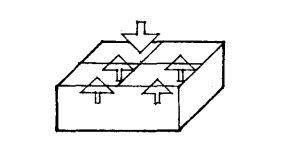
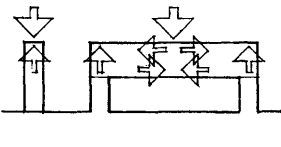
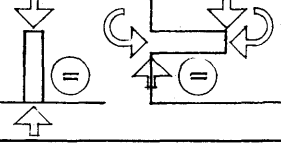
## Pré-requisito da teoria das estruturas

O tema central no projeto criativo e na análise de estruturas é:

**EQUILÍBRIO DE FORÇAS**

A imagem da estrutura deve ser projetada e dimensionada de uma maneira que resista as forças atuantes, isto é, mobilizando forças opostas que asseguram o equilíbrio.

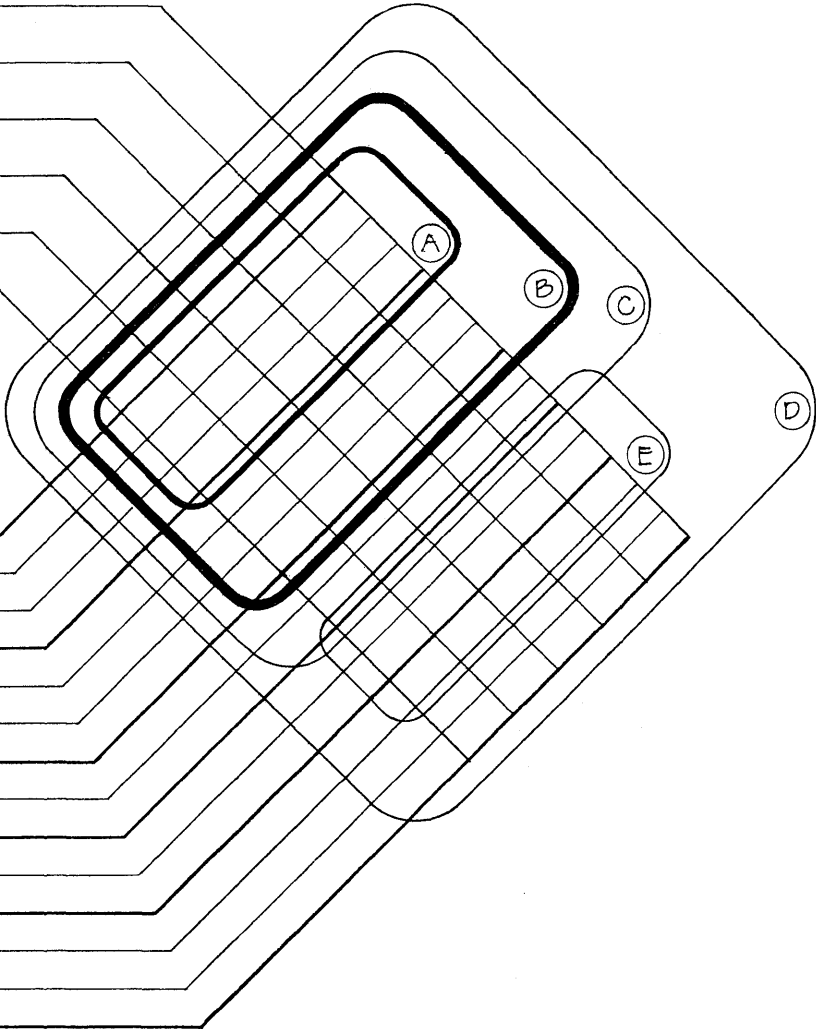
## Conceptos fundamentales del comportamiento de las estructuras      Conceitos essenciais no comportamento das estruturas

|                                                                                     |                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                               |                                                                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <b>FUERZA</b><br>es la magnitud que lleva a un cuerpo a moverse o a modificar su estado (o su forma)                                                                         | <b>FORÇA</b><br>é a grandeza que faz com que um sólido se mova ou mude sua posição ou estado (ou sua forma)                                                   | Fuerza = masa x aceleración<br>$F = m \times a$ N / kN<br>Força = massa x aceleração                                              |
|  | <b>CARGAS</b><br>son las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo, exceptuando las fuerzas de reacción a través de los apoyos del cuerpo                                  | <b>CARGAS</b><br>são as forças que agem sobre um sólido desde o exterior, com exceção das forças reativas emanadas dos suportes do sólido                     | Carga = fuerzas actuantes<br>$C = F_A = m_A \times a$ N / kN<br>Carga = força atuante                                             |
|  | <b>PESO PROPIO</b><br>es la fuerza con la que la masa de la Tierra atrae a un cuerpo en relación directa a su masa/ = peso                                                   | <b>FORÇA GRAVITACIONAL</b><br>é a força pela qual a massa da Terra consegue uma sólida adequação à quantidade de sua massa / = peso                           | Peso propio = masa x atracción gravitatoria<br>$G = m \times 9,81 \text{ m/s}^2$ N / kN<br>Força da gravidade = massa x gravidade |
|  | <b>MOMENTO</b><br>es el movimiento de giro que origina un par de fuerzas o una fuerza cuyo punto de giro no coincide con la dirección de la fuerza                           | <b>MOMENTO</b><br>é o movimento giratório induzido por um par, ou exercido por uma força em um sólido, cujo centro de movimento está fora da direção da força | Momento = fuerza x brazo de palanca<br>$M = F \times b$ (kN) Nm<br>Momento = força x braço da alavanca                            |
|  | <b>TENSIÓN</b><br>es la fuerza (resistencia) interna por unidad de superficie que se origina en un cuerpo debido a la acción de una fuerza externa                           | <b>TENSÃO</b><br>é a força de resistência interna por unidade de área, que é mobilizada em um sólido através da ação de uma força externa                     | Tensión = fuerza ÷ superficie<br>$\sigma = F \div A$ (kN) N/cm²<br>Tensão = força ÷ área                                          |
|  | <b>RESISTENCIA</b><br>es la fuerza con la que se opone un cuerpo a un desplazamiento o un cambio de forma a causa de la acción de una fuerza externa/= fuerza de resistencia | <b>RESISTÊNCIA</b><br>é a força pela qual um sólido resiste a uma deformação ou movimento induzido pela ação de uma força externa / = força de resistência    | Resistencia = fuerza de reacción<br>$R = F_A = m \times a$ N / kN<br>Resistência = força de resistência                           |
|  | <b>EQUILIBRIO</b><br>es el estado en que la suma de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo no origina ningún movimiento, es decir, los movimientos son iguales a cero        | <b>EQUILÍBRIO</b><br>é o estado no qual a soma total das forças agindo sobre um sólido não produz nenhum movimento, significando que ela é igual a zero       | Suma de las fuerzas y momentos = 0<br>$\sum F + M = 0$<br>Soma total de forças e momentos = 0                                     |

|   |                               |                              |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Sistemas de FORMA activa      | Sistemas de FORMA-ativa      |
| 2 | Sistemas de VECTOR activo     | Sistemas de VETOR-ativo      |
| 3 | Sistemas de SECCIÓN activa    | Sistemas de SEÇÃO-ativa      |
| 4 | Sistemas de SUPERFICIE activa | Sistemas de SUPERFÍCIE-ativa |
| 5 | Sistemas de ALTURA activa     | Sistemas de ALTURA-ativa     |

Teoría de las estructuras: temas, relaciones, divisiones  
Teoria das estruturas: temas, referência, articulações

|                                |                            |                         |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| GEOMETRÍA<br>GEOMETRIA         | Volumen del espacio        | Volume espacial         |
|                                | Cerramiento del espacio    | Forma do fechamento     |
|                                | Forma de la cimentación    | Forma da base           |
| MECÁNICA<br>MECÂNICA           | Cargas                     | Cargas                  |
|                                | Equilibrio                 | Equilíbrio              |
|                                | Flujo de fuerzas           | Fluxo de forças         |
| MATERIAL<br>MATERIAL           | Material de construcción   | Material de construção  |
|                                | Química de la construcción | Química da construção   |
| ESTÁTICA<br>ANÁLISE ESTRUTURAL | Elementos estructurales    | Unidade estrutural      |
|                                | Partes estructurales       | Componentes estruturais |
| CONSTRUCCIÓN<br>CONSTRUÇÃO     | Elementos de unión         | Junta de conexão        |
|                                | Física de la construcción  | Construção física       |
|                                | Método de construcción     | Método construtivo      |



Niveles de conceptos estructurales: definiciones

- (A) Primera idea estructural = Forma característica de la esencia del edificio que garantiza la configuración y la conservación de su perfil  
= Geometría determinante de la materialización de la forma y el espacio arquitectónicos
- (B) Sistema estructural = Esquema de operaciones y actuación para la transmisión y desviación de las fuerzas del edificio  
= Geometría básica para la mecánica del equilibrio de fuerzas en el edificio
- (C) Estructura = Totalidad de las partes de un edificio que cumplen una función estructural  
= Concreción del sistema estructural (o primera idea estructural)  
= Parte de la esencia del edificio que garantiza la conservación de la forma y que, con ello, asegura la satisfacción de la función
- (D) Construcción estructural = Realidad tecnológica de la estructura como construcción autónoma de ingeniería  
= Conjunto técnico para el control de las fuerzas que actúan sobre el edificio, como complejo de elementos individuales y como mecanismo conjunto
- (E) Modelo estructural = Articulación interna de la construcción estructural  
= Modelo de ordenación para la relación de los elementos de la estructura de un edificio

Nível de conceitos de estrutura: definições

- (A) Imagem da estrutura = Forma característica daquela substância de construção, a qual, concede e preserva a forma da construção  
= Geometria determinante que materializa a forma arquitetônica / conceito de espaço
- (B) Sistema estrutural = Esquema operacional e ilustrado para redistribuição e transmissão de forças dentro da construção  
= Base geométrica para os mecanismos de equilíbrio de forças dentro da construção
- (C) Estrutura = Soma total de todas as partes da construção que atuam como função de suporte  
= Sistema de estrutura substantiada (ou imagem de estrutura)  
= Um agente da essência da construção que concede preservação da forma e cumprimento da função
- (D) Tecido estrutural = Realidade tecnológica das estruturas de construção como engenharia de construção autônoma  
= Tecido técnico de controle das forças que agem na construção, funcionando mutualmente como complexo das partes individuais e do mecanismo integral
- (E) Modelo estrutural = Articulação interna do tecido da estrutura  
= Disposição ordenada para as interligações dos componentes estruturais individuais do edifício

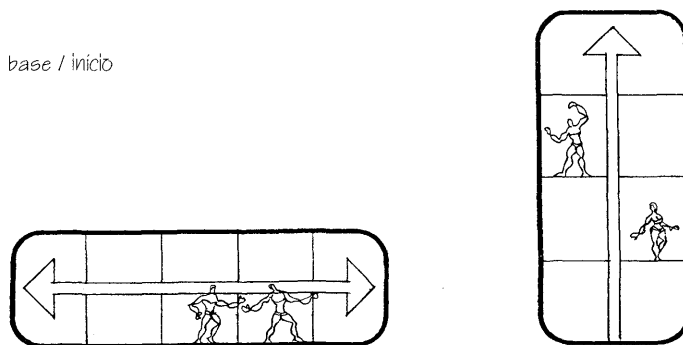
## Causalidad y función de las estructuras en la edificación

como base  
para una clasificación sistemática y una ordenación formal  
de los sistemas de estructuras

Las actividades del hombre se desarrollan fundamentalmente sobre un plano horizontal y necesitan que el espacio delimitado se extienda, sobre todo, en horizontal

As atividades do homem realizam-se essencialmente num plano horizontal, e por isso exigem predominantemente uma extensão horizontal no espaço fechado

base / início



## Causalidade e função de estruturas na construção

como base  
para uma classificação mais apurada e para inspirar ordem  
nos sistemas estruturais

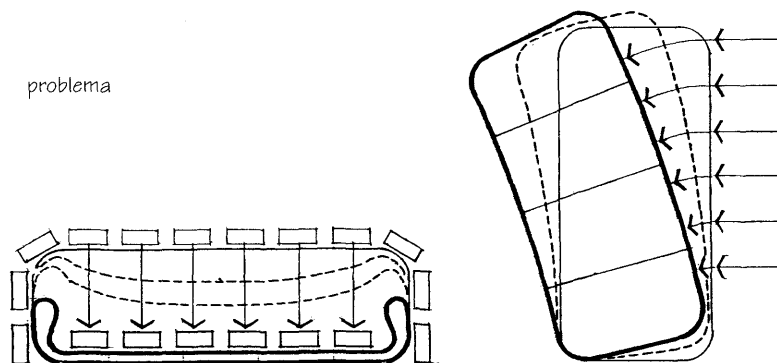
Las actividades del hombre necesitan espacios altos no sólo para mayor libertad de movimiento, sino, sobre todo, para multiplicar las superficies útiles horizontales sobre el suelo

As atividades do homem exigem altura espacial, não só pela liberdade de movimentos, mas especialmente para incrementar a área útil do planeta

La sustancia de la envolvente espacial, debido a la atracción de la gravedad, desarrolla en cada elemento una dinámica vertical que tiende a anular el volumen espacial

A substância do espaço fechado, por causa da gravidade, desenvolve dinâmicas verticais para cada parte componente com tendência a eliminar a extensão espacial

problema



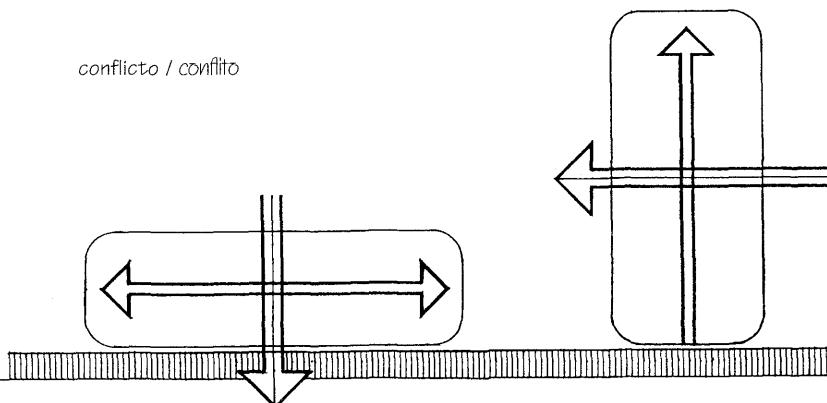
La extensión en vertical, debido a la creciente carga del viento, expone la envolvente del espacio a una dinámica horizontal que tiende a deformar la geometría del volumen espacial

A extensão vertical devido ao aumento da carga do vento expõe o espaço fechado à dinâmicas horizontais que tendem a mudar a geometria do volume espacial

El conflicto entre las dos direcciones, la de la atracción gravitatoria y la de las actividades del hombre, es la causa primigenia de la necesidad de estructuras en la edificación

O conflito de duas direções de força gravitacional e das atividades dinâmicas do homem é a primeira causa da necessidade das estruturas em construção

conflicto / conflito



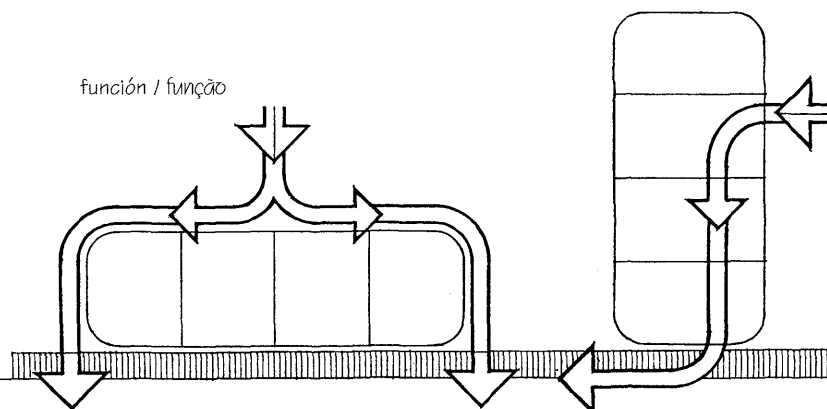
El conflicto entre las dos direcciones, la de la carga eólica y la debida al crecimiento en altura del edificio, es la segunda causa de la necesidad de estructuras en la edificación

O conflito de duas direções de carga do vento e extensão de altura do espaço fechado é a segunda causa da necessidade das estruturas em construção

Mediante las estructuras se redirigen los pesos propios en dirección horizontal y, de acuerdo con los requisitos del volumen espacial, se transmiten al suelo

Através das estruturas as forças gravitacionais ativas serão redistribuídas em direção horizontal e, de acordo com as exigências do volume de espaço, serão transmitidas ao solo

función / função



Mediante las estructuras se transforman las cargas de viento en esfuerzos verticales y se transmiten al suelo según los requisitos del volumen espacial

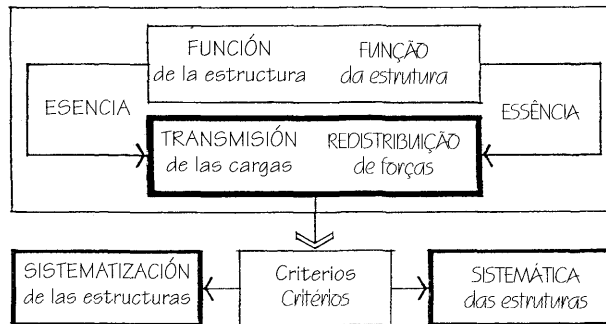
Através das estruturas as forças atuantes do vento serão redistribuídas em direção vertical e, de acordo com as exigências do volume de espaço, serão transmitidas ao solo

### 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**



### Idéia central e critérios para a formação de uma sistemática das estruturas

Temas complexos tornam-se mais acessíveis através da classificação de seus conteúdos: **SISTEMÁTICA**

A sistemática de um tema é racional se deriva da pura **ESSÊNCIA DO PRÓPRIO TEMA**

A essência da estrutura é sua função: **REDISTRIBUIÇÃO DE FORÇAS**

### 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**

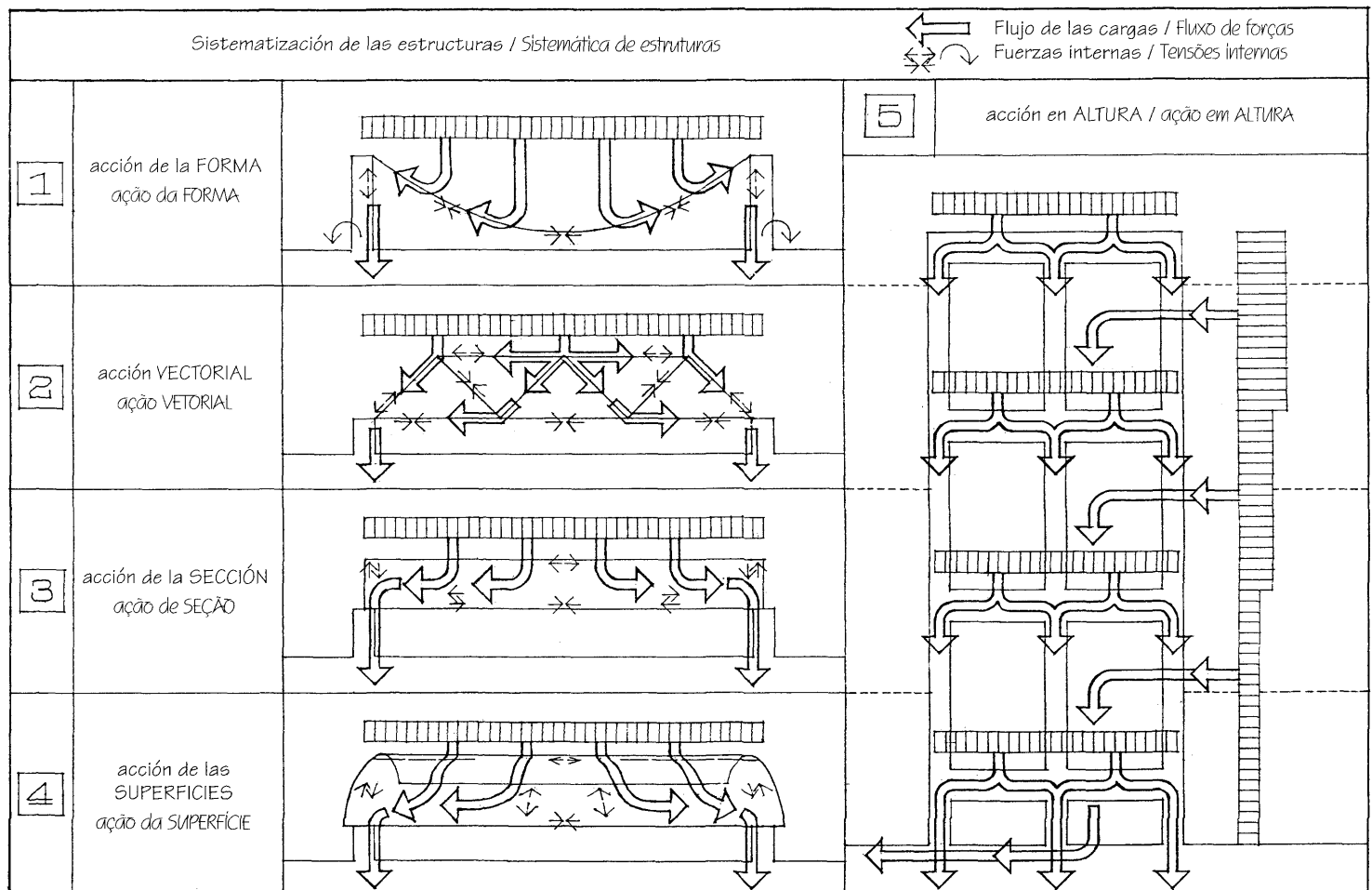
### Sistemática das estruturas em construção

Para a redistribuição de forças atuantes através da substância natural e técnica observa-se 4 mecanismos diferentes:

- 1 Ajustamento de forças → ação da **FORMA**
- 2 Separação de forças → ação **VECTORIAL**
- 3 Confinamento de forças → ação de **SEÇÃO CRUZADA**
- 4 Dispersão de forças → ação da **SUPERFÍCIE**

Em construção deve ser incluída como um mecanismo diametral atípico:

- 5 Coleta e captação de cargas → ação em **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:

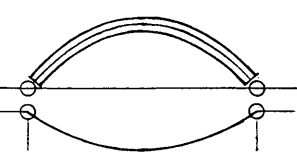
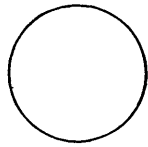
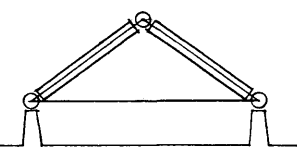
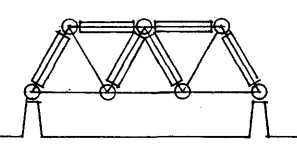
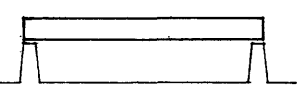
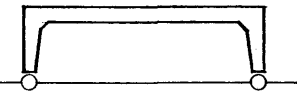
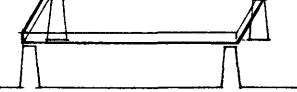
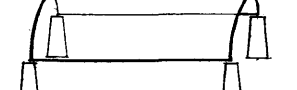
- conocimiento de los mecanismos que redirigen las fuerzas en otras direcciones
- conocimiento de las geometrías estructurales para generar formas y espacios

A apreensão do domínio das estruturas e da aplicação criativa de suas linguagens formais e espaciais dentro do projeto arquitetônico exigem:

- conhecimento do mecanismo que faz a força mudar suas direções
- conhecimento de uma estrutura geométrica válida para a geração de forma e espaço

Clasificación de los sistemas de estructuras en la edificación

Classificação dos sistemas estruturais na construção

| Criterio<br>Critério |                                      | Prototipo / Protótipo                                                               | Fuerzas<br>Forças                 | Característica<br>Característica                 | Mecánica de la transmisión de cargas<br>Mecânica de redistribuição de forças |
|----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1                    | FORMA<br>FORMA                       |    | compresión<br>o tracción          | línea de apoyo<br>linha de empuxo                | forma activa<br>forma-ativa                                                  |
|                      |                                      |    | compressão<br>ou tensão           | catenaria<br>catenária<br><br>círculo<br>círculo |                                                                              |
| 2                    | VECTOR<br>VETOR                      |    | compresión<br>y tracción          | triangulación                                    | vector activo<br>vetor-ativo                                                 |
|                      |                                      |   | compressão<br>e tensão            | triangulação                                     |                                                                              |
| 3                    | SECCIÓN TRANSVERSAL<br>SEÇÃO CRUZADA |  | flexión<br>fuerzas<br>cortantes   | perfil<br>seccional                              | sección activa<br>seção-ativa                                                |
|                      |                                      |  | seção<br>de forças<br>flexionadas | perfil<br>de seção                               |                                                                              |
| 4                    | SUPERFICIE<br>SUPERFÍCIE             |  | fuerzas de<br>membrana            | forma<br>bidimensional                           | superficie activa<br>superfície-ativa                                        |
|                      |                                      |  | tensões de<br>membrana            | forma<br>módulo                                  |                                                                              |
| 5                    | ALTURA<br>ALTURA                     |  | (condiciones<br>complejas)        | transmisión<br>de las cargas<br>al suelo         | altura activa<br>altura-ativa                                                |
|                      |                                      |  | (condições<br>complexas)          | estabilização<br>de carga<br>de solo             |                                                                              |

## Clasificación de los sistemas de estructuras en la edificación

## Classificação de sistemas estruturais na construção

| Familia estructural<br>Familia de estrutura |                                                                                              | Definición<br>Definição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Tipo de estructura<br>Tipo de estrutura |                                                                |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1                                           | Sistemas de estructuras de FORMA ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de FORMA-ATIVA           | ... son sistemas de material flexible, no rígido, en los que la transmisión de cargas se realiza a través del diseño de una FORMA adecuada y una estabilización característica de la FORMA<br><br>... são sistemas flexíveis, de material não rígido, nos quais a redistribuição de forças é efetuada por um desenho de forma particular e caracterizada pela estabilização da FORMA                                                                                                                              | 1.1                                     | estructuras de CABLES<br>sistemas de CABO                      |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.2                                     | estructuras en TIENDA<br>sistemas de TENDA                     |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.3                                     | estructuras NEUMÁTICAS<br>sistemas PNEUMÁTICOS                 |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 1.4                                     | estructuras de ARCOS<br>sistemas de ARCO                       |
| 2                                           | Sistemas de estructuras de VECTOR ACTIVO<br><br>Sistemas estruturais de VECTOR-ATIVO         | ... son sistemas de elementos lineales cortos, sólidos y rectos (barras), en los que la transmisión de fuerzas se realiza mediante descomposición VECTORIAL, es decir, a través de una subdivisión en fuerzas unidireccionales (compresiones o tracciones)<br><br>... são sistemas de componentes lineares curtos, sólidos, retos (barras) nos quais a redistribuição de forças é efetuada por divisão de VECTOR, ou seja, por separações multidireccionais de forças singulares (barras de compressão ou tensão) | 2.1                                     | cerchas planas<br>treliças planas                              |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2.2                                     | cerchas planas combinadas<br>treliças planas combinadas        |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2.3                                     | cerchas curvas<br>treliças curvas                              |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2.4                                     | mallas espaciales<br>treliças espaciais                        |
| 3                                           | Sistemas de estructuras de SECCIÓN ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de SEÇÃO-ATIVA         | ... son sistemas de elementos lineales rígidos y macizos –incluida su compactación como losa– en los que la transmisión de cargas se efectúa a través de la movilización de fuerzas SECCIONALES<br><br>... são sistemas de elementos lineares rígidos, sólidos – incluindo suas formas compactas como a laje – nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela mobilização das forças SECCIONAIS (internas)                                                                                                  | 3.1                                     | estructuras de VIGAS<br>sistemas de VIGAS                      |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.2                                     | estructuras de PÓRTICOS<br>sistemas de PÓRTICOS                |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.3                                     | estructuras de RETÍCULA DE VIGAS<br>sistemas de MALHA DE VIGAS |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.4                                     | estructuras de LOSAS<br>sistemas de LAJES                      |
| 4                                           | Sistemas de estructuras de SUPERFICIE ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de SUPERFÍCIE-ATIVA | ... son sistemas de superficies flexibles, pero resistentes a tracciones, compresiones y esfuerzos cortantes, en los que la transmisión de fuerzas se realiza a través de la resistencia de las SUPERFICIES y una determinada forma de las SUPERFICIES<br><br>... são sistemas de planos flexíveis, mas resistentes à compressão, tensão, cortes, nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela resistência da SUPERFÍCIE e forma particular de SUPERFÍCIE                                                 | 4.1                                     | estructuras de LÁMINAS<br>sistemas de PLACAS                   |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4.2                                     | estructuras de LÁMINAS PLEGADAS<br>sistemas de PLACAS DOBRADAS |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 4.3                                     | estructuras de MEMBRANAS<br>sistemas de CASCA                  |
| 5                                           | Sistemas de estructuras de ALTURA ACTIVA<br><br>Sistemas estruturais de ALTURA-ATIVA         | ... son sistemas en los que la transmisión de fuerzas debidas a su extensión en altura, es decir, el conjunto de las cargas de las plantas y el viento junto con la reacción del suelo, se realiza mediante las adecuadas estructuras EN ALTURA: RASCACIELOS<br><br>... são sistemas nos quais a redistribuição de forças necessitada pela extensão da altura, isto é o reagrupamento e fundação das cargas de pavimento e cargas de vento, é efetuada por estruturas a prova de ALTURA: ARRANHA-CÉUS             | 5.1                                     | rascacielos RETICULARES<br>arranha-céus TIPO MODULAR           |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5.2                                     | rascacielos PERIMETRALES<br>arranha-céus de VÃO LIVRE          |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5.3                                     | rascacielos CON NÚCLEO<br>arranha-céus EM BALANÇO              |
|                                             |                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 5.4                                     | rascacielos PUENTE<br>arranha-céus TIPO PONTE                  |

## Directrices para clasificar las estructuras

## Princípios de orientação para a classificação de estruturas

| Disposición<br>Disposição |                      | Directriz<br>Princípios de orientação               | Ejemplos<br>Exemplos                    |                       |                                         |                                  |                                          |                         |
|---------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|
| Nivel 1                   | FAMILIA estructural  | Mecanismo de desviación y transmisión de fuerzas    | p. e. estructuras de FORMA activa       |                       | p. e. estructuras de SECCIÓN activa     |                                  | p. e. estructuras de ALTURA activa       |                         |
| Nivel 2                   | TIPO de estructura   | Configuración o denominación usual del objeto       | estructuras de ARCO                     | estructuras de TIENDA | estructuras de PÓRTICOS                 | estructuras de RETÍCULA DE VIGAS | rascacielos con NÚCLEO                   | rascacielos PUENTE      |
| Nivel 3                   | ELEMENTO estructural | Características geométricas o constructivas         | celosía apoyada                         | tiendas apuntadas     | pórticos de planta                      | retículas escalonadas            | núcleos de carga indirectos              | puentes de forjados     |
| Nivel 1                   | FAMILIA de estrutura | Mecanismo de redistribuição e transmissão de forças | (por exemplo) estruturas de FORMA-ativa |                       | (por exemplo) estruturas de SEÇÃO-ativa |                                  | (por exemplo) estruturas de ALTURA-ativa |                         |
| Nivel 2                   | TIPO de estrutura    | Configuração ou denominação do objeto               | sistemas de ARCO                        | sistemas de TENDA     | sistemas de PÓRTICOS                    | sistemas de MALHA DE VIGAS       | arranha-céus EM BALANÇO                  | arranha-céus TIPO PONTE |
| Nivel 3                   | ELEMENTO estructural | Características geométricas ou de construção        | estrutura de empuxo                     | tendas apontadas      | pórticos de pavimento                   | malhas graduadas                 | carga indireta em balanço                | pontes de pavimento     |

1<sup>er</sup> nivel 5 FAMILIAS de estructuras  
Los mecanismos característicos de la desviación y transmisión de cargas son la base para clasificar las estructuras en 5 "familias" de sistemas (con nuevas denominaciones para cada "familia")

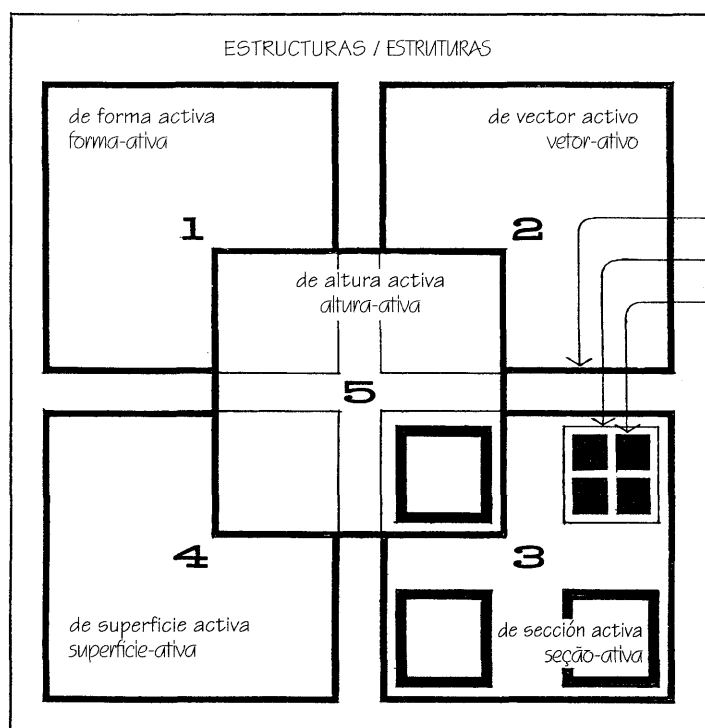
2<sup>o</sup> nivel 19 TIPOS de estructuras  
La siguiente subdivisión en tipos de estructuras se apoya en el nombre usual de las estructuras, basado en su imagen, su construcción o en el elemento estructural característico

3<sup>er</sup> nivel 70-80 ELEMENTOS de estructuras  
La última diferenciación descansa en la característica geométrica o constructiva del elemento portante. Proporciona una ordenación general de los modelos de estructuras que constituyen una disciplina de formas esencial para proyectar

1<sup>o</sup> nivel 5 FAMILIAS de estrutura  
Os mecanismos característicos de redistribuição e transmissão de forças formam as bases para a principal subdivisão das estruturas em 5 famílias de sistema (com novas denominações para cada família)

2<sup>o</sup> nivel 19 TIPOS de estrutura  
A divisão subsequente em tipos de estruturas utiliza as denominações convencionais de estruturas que são derivadas da configuração, da composição técnica ou do elemento estrutural característico

3<sup>o</sup> nivel 70 - 80 estruturas INDIVIDUAIS  
A diferenciação final baseia-se na característica geométrica ou de construção do corpo estrutural. Ela apresenta uma ordem extensa de modelo de estruturas que constitui uma disciplina das formas essenciais no projeto


 Esquema de organización para clasificar las estructuras  
 Quadro de organização para a classificação das estruturas

FAMILIA estructural / FAMÍLIA de estrutura 1 - 5

TIPO estructural / TIPO de estrutura 1 - 5.4

ELEMENTO estructural / estrutura INDIVIDUAL 1.1.1 - 5.4.3

Estructuras de altura activa

Estruturas de altura-ativa

Entre las "familias" de estructuras, las de altura activa son una excepción, pues su diferencia no se basa en un mecanismo especial de transmisión de las cargas, como en el resto de las "familias", sino en una función estructural especial: recoger y transmitir al suelo las cargas de los forjados, estabilizar los elementos de la estructura frente al viento y otras acciones. Para cumplir esta función, la 5<sup>a</sup> "familia" utiliza los mecanismos de las otras 4 "familias"

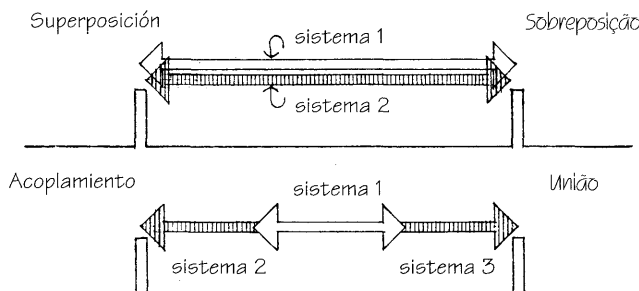
Entre as 'famílias' de estruturas, as estruturas de altura-ativa constituem-se em uma exceção. Por isso sua distinção não está baseada em um organismo específico de redistribuição de forças, como é o caso de todas as outras 'famílias', mas na particular função estrutural: reagrupamento e fundação de cargas dos pavimentos; estabilização do corpo de estruturas contra o vento e outras cargas perturbadoras. Para a realização desta função a 5<sup>a</sup> 'família' utiliza mecanismos de todas as outras 4 'famílias'

## 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



## Sistemas de estrutura em co-ação: sistemas de estruturas híbridas

### Definição

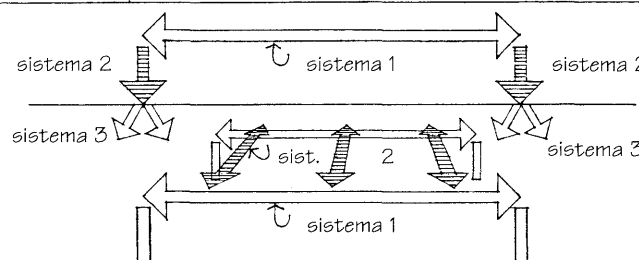
Os sistemas híbridos são sistemas nos quais a redistribuição de forças é efetuada através da co-ação de dois ou vários sistemas diferentes –mas com sua eficácia basicamente equipotente– de diferentes “famílias” de estruturas

A união, ou trabalho conjunto, é conseguida através de duas formas possíveis de união de sistemas:

SOBREPOSIÇÃO ou UNIÃO

### 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



### Denominação ‘híbrido’ incorreta

Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser entendidos como sistemas nos quais as funções de componente de suporte, como recepção de carga, transmissão de carga, descarga de carga, suporte ao vento e outras estabilizações, são feitas através das edificações, cada um pertencendo a uma ‘família’ de estrutura diferente

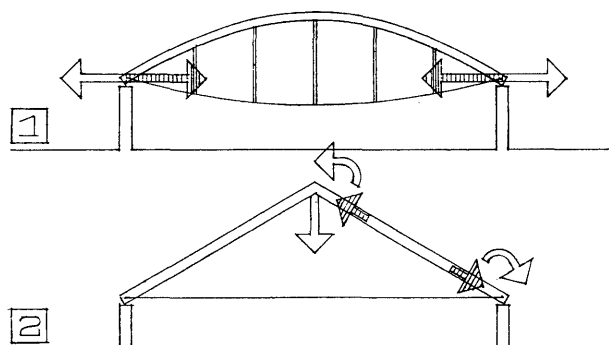
### Estructuras potencialmente híbridas

**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



### Potencial das estruturas híbridas

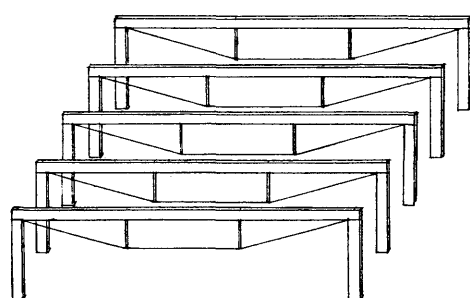
**1** Compensação mútua ou redução de forças críticas

Ejemplo: Forças horizontais opostas na base do arco funicular e cabo de suspensão

**2** Função estrutural de duas dobras ou várias dobras de componentes de estrutura individual

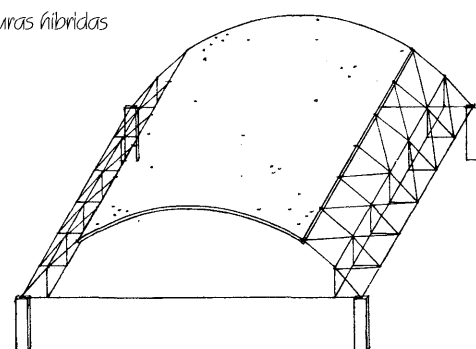
Ejemplo – Função de corda de topo como viga e como barra de compressão

### Ejemplos de estructuras híbridas / Exemplos de estruturas híbridas



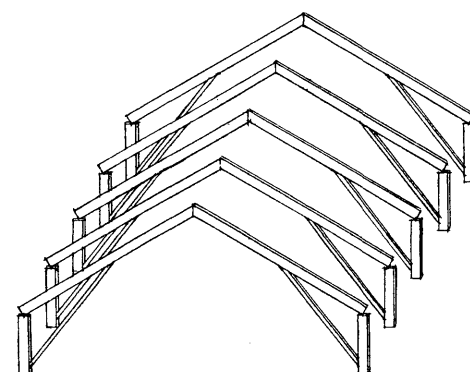
Viga atirantada:

de sistemas de SECCIÓN activa y de FORMA activa



Membrana con celosía:

de sistemas de SUPERFICIE activa y de VECTOR activo



Pórtico de cables arriostrados:

de sistemas de SECCIÓN activa y de VECTOR activo

Viga de cabo sustentado:

de sistemas de SEÇÃO-ativa e de FORMA-ativa

Sobreposição

Casca com segmento entrelaçado:

de sistemas de SUPERFICIE-ativa e de VECTOR-ativo

União

Pórticos de viga autoportante:

de sistemas de SEÇÃO-ativa e de VECTOR-ativo

Sobreposição

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

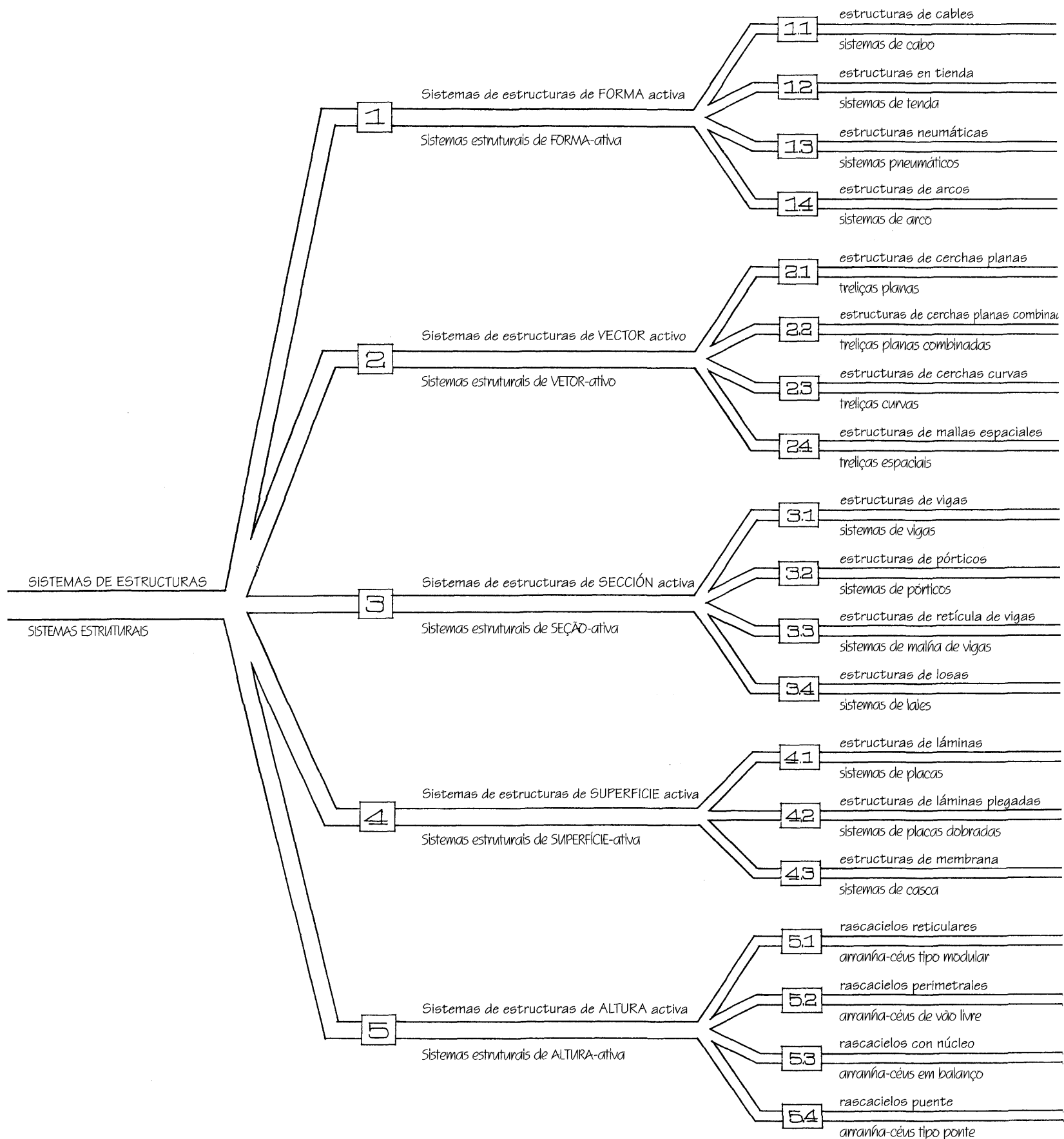
Interpretação equivocada de sistemas estruturais híbridos como pertencentes à CLASSE de estruturas autônomas

Sistemas estruturais híbridos NÃO se qualificam como uma “FAMÍLIA” de estruturas separada, ou como um TIPO de estrutura definido por características de estruturas específicas:

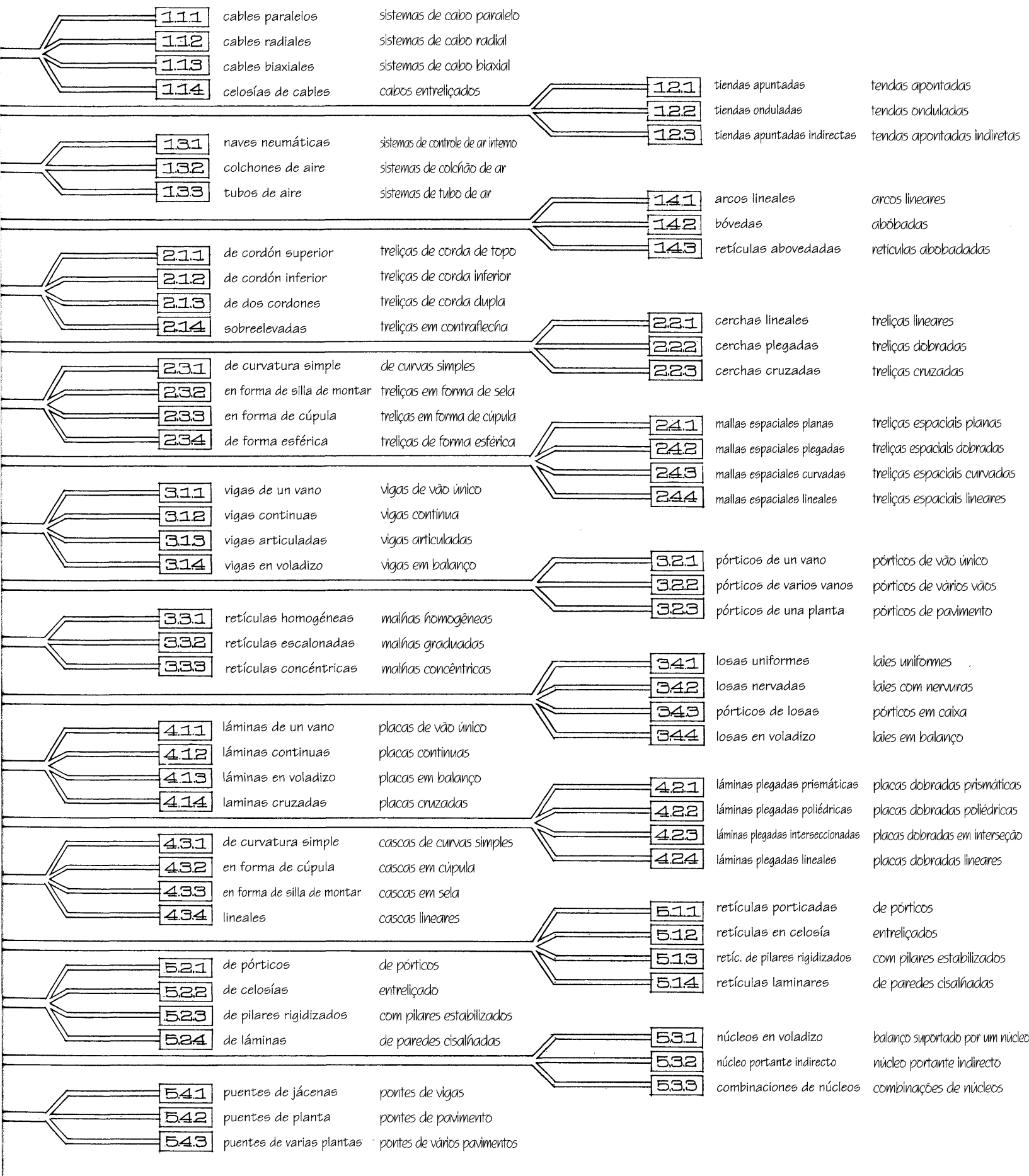
1. Eles não possuem um mecanismo inerente para a redistribuição de forças
2. Eles não desenvolvem uma condição específica de forças de ação ou tensões
3. Eles não comandam traços estruturais característicos próprios

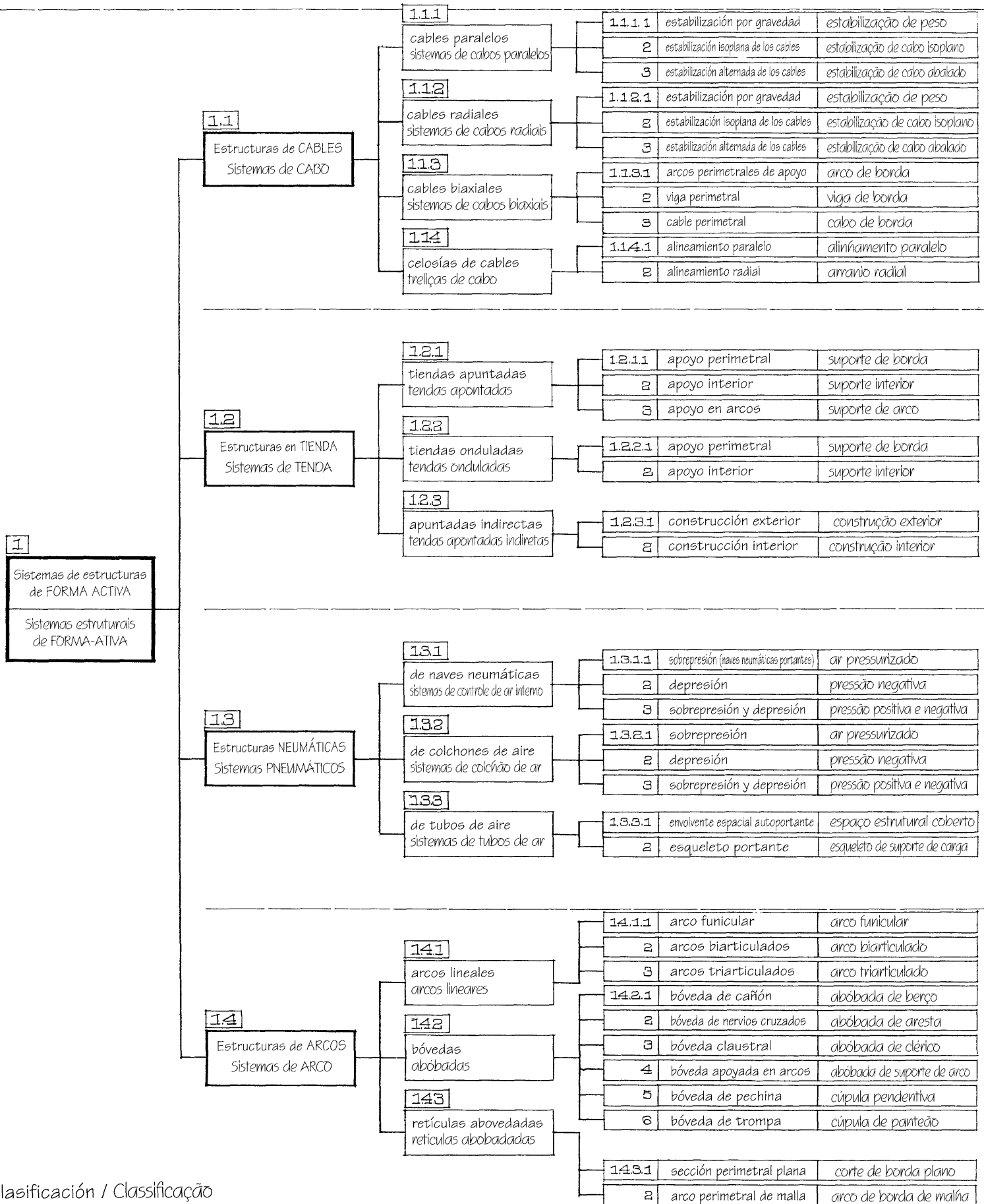


## Genealogía de las estructuras en la edificación

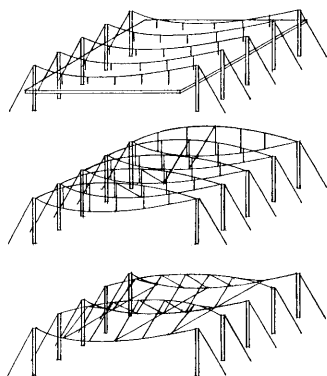


## Genealogia das estruturas na construção

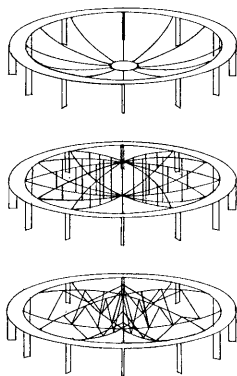




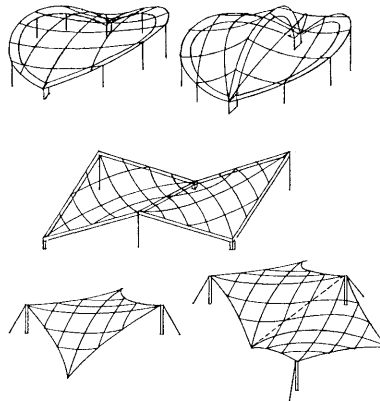
1.11



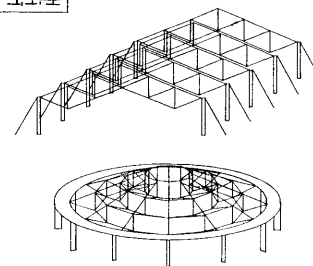
1.12



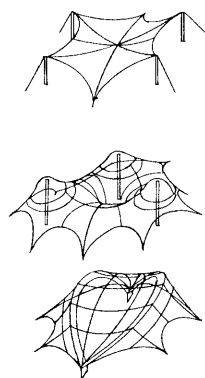
1.13



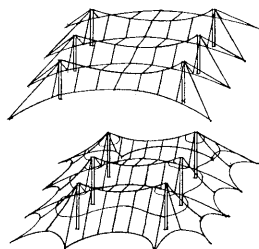
1.14



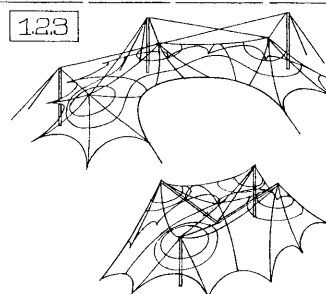
1.21



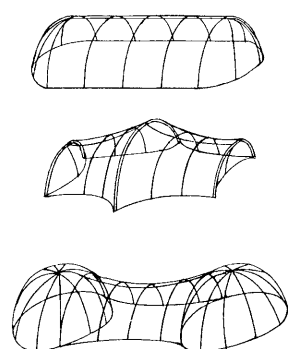
1.22



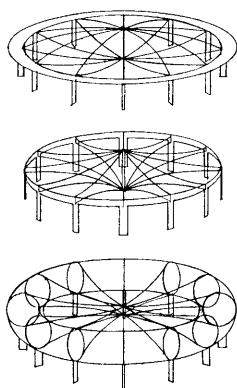
1.23



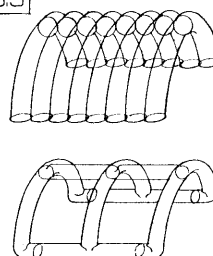
1.31



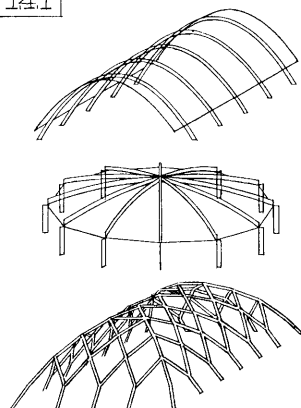
1.32



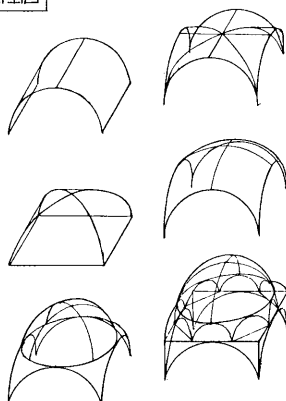
1.33



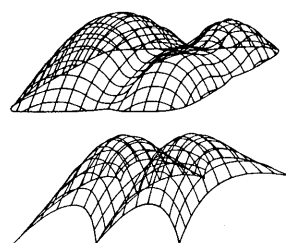
1.41

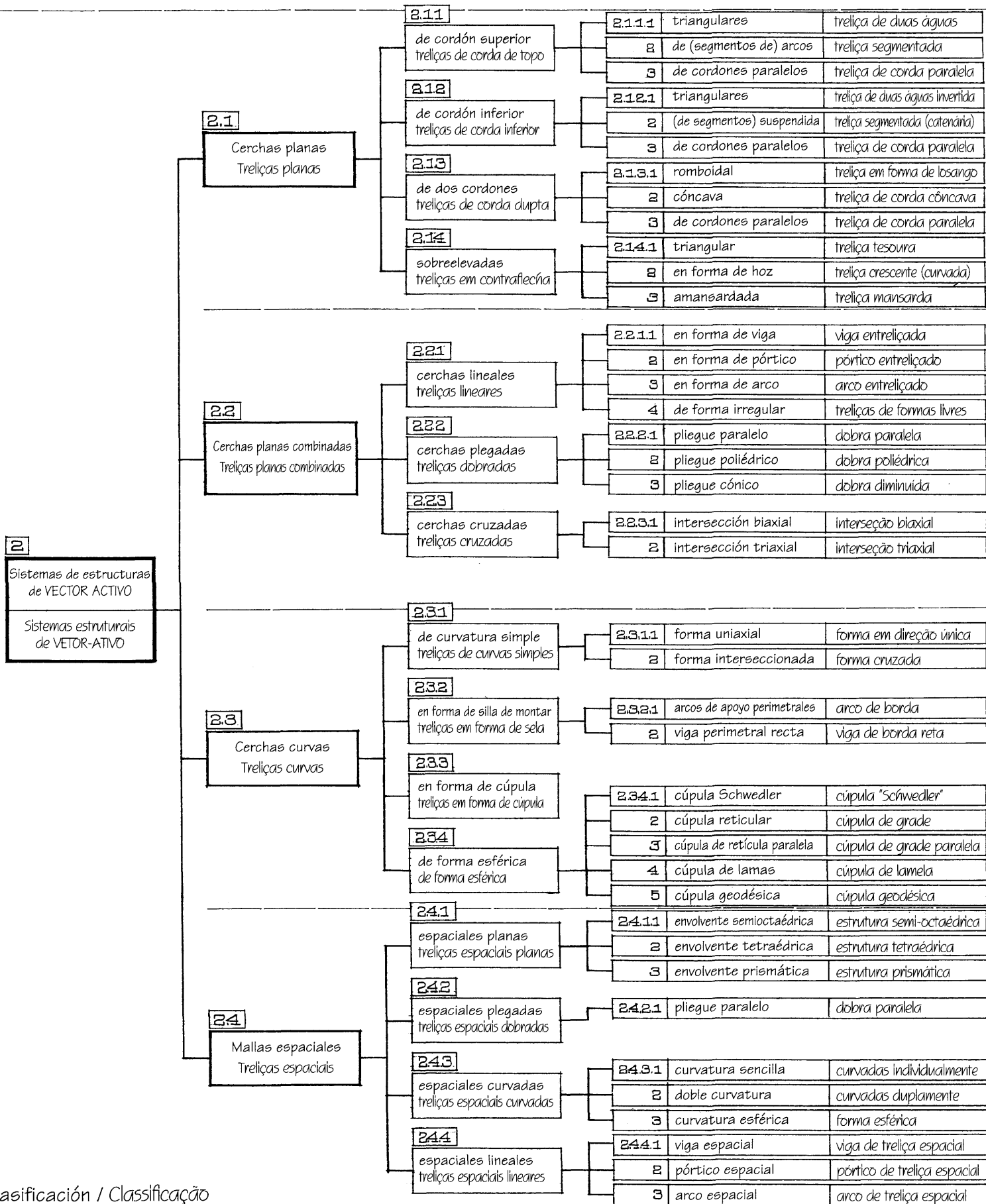


1.42

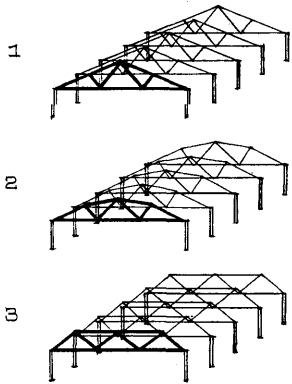


1.43

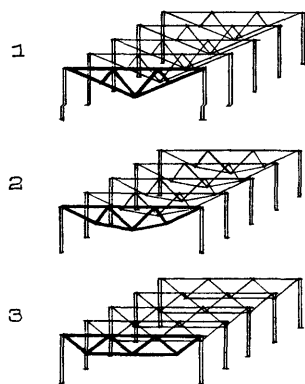




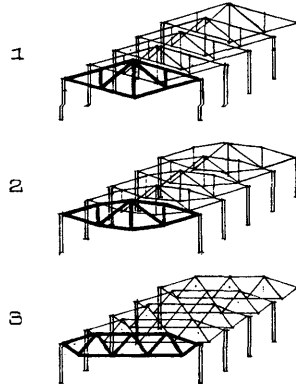
2.1.1



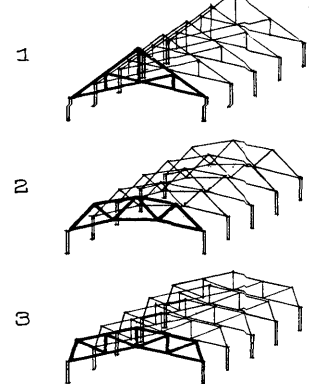
2.1.2



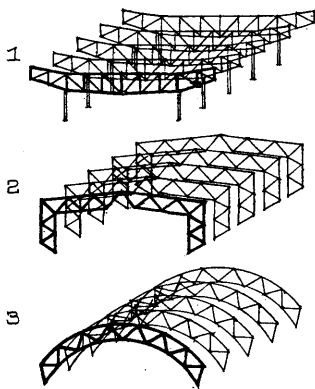
2.1.3



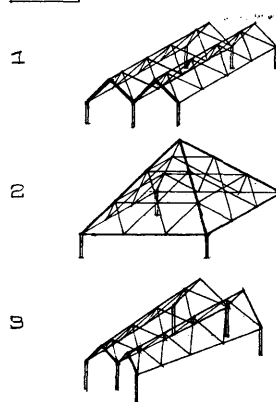
2.1.4



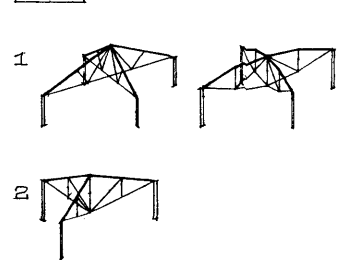
2.2.1



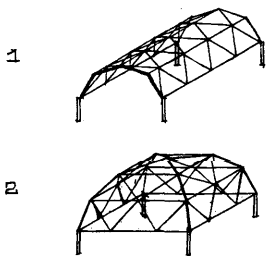
2.2.2



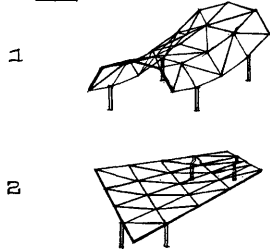
2.2.3



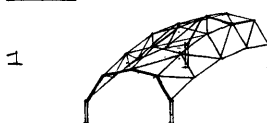
2.3.1



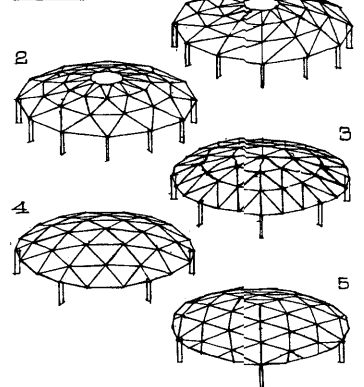
2.3.2



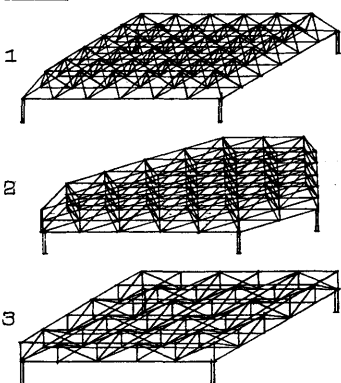
2.3.3



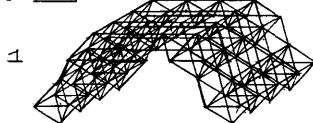
2.3.4



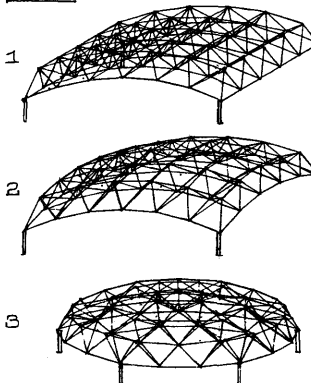
2.4.1



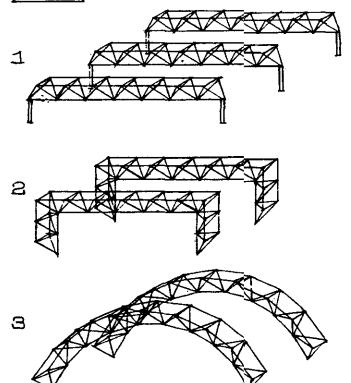
2.4.2

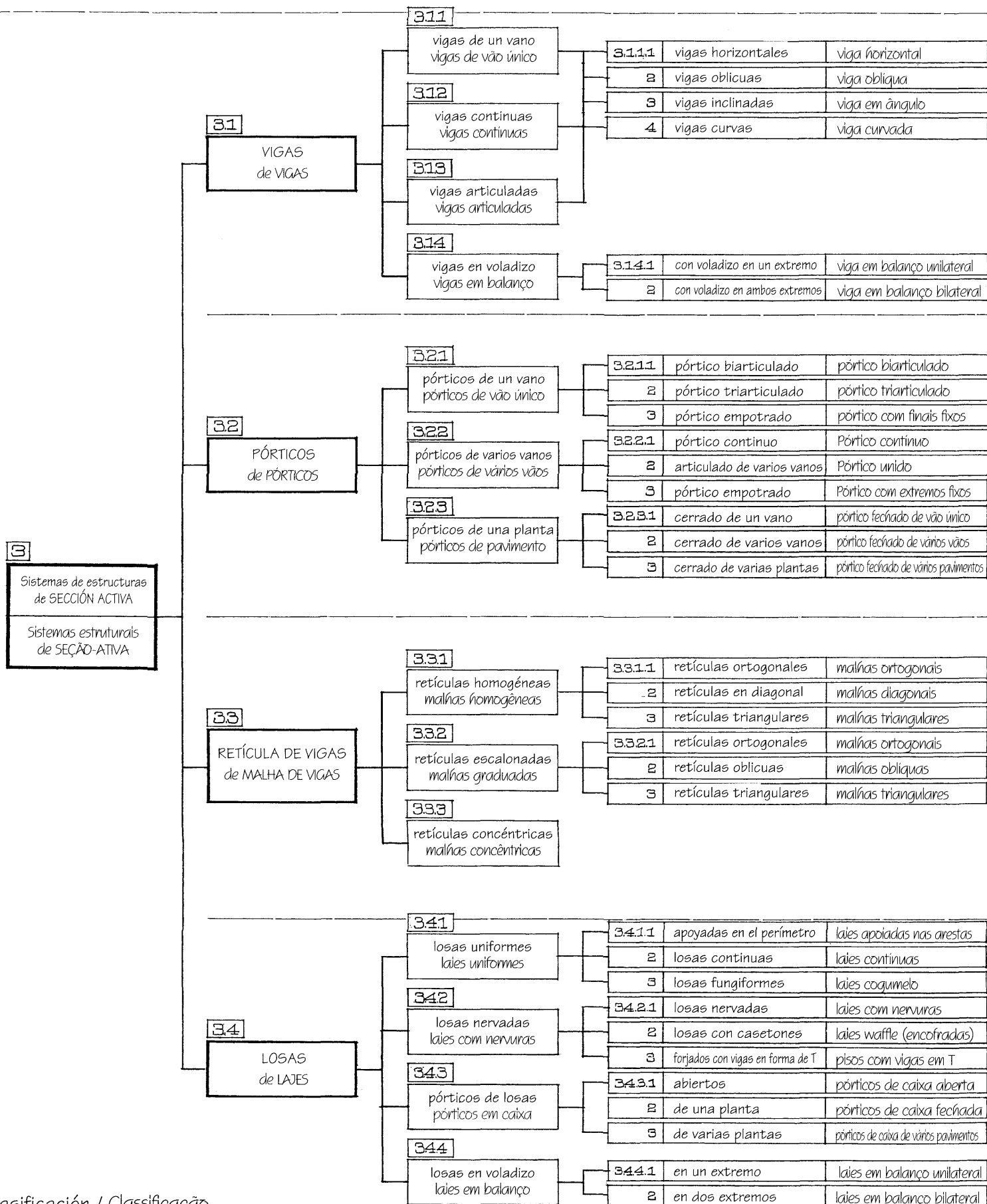


2.4.3

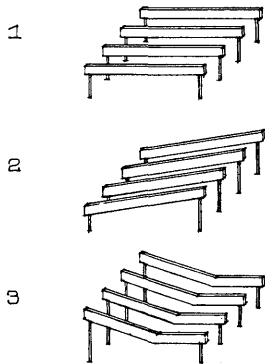


2.4.4

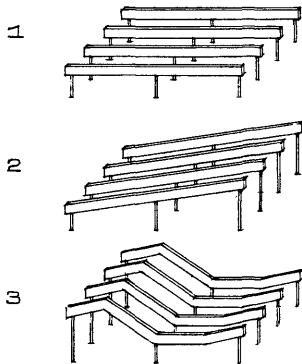




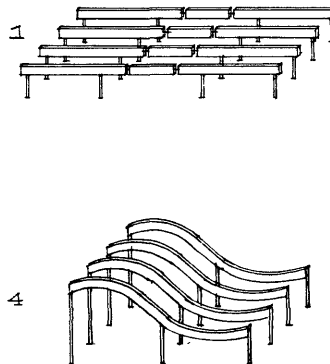
3.1.1



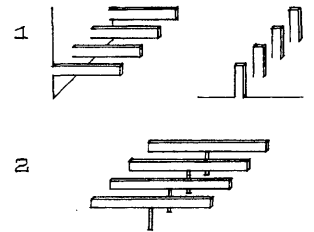
3.1.2



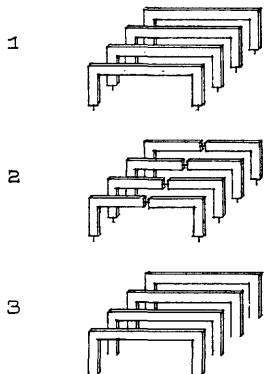
3.1.3



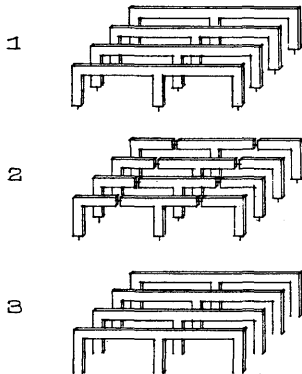
3.1.4



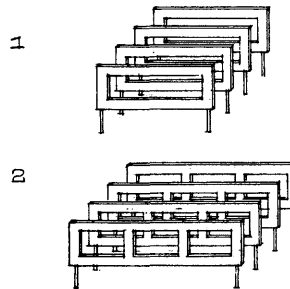
3.2.1



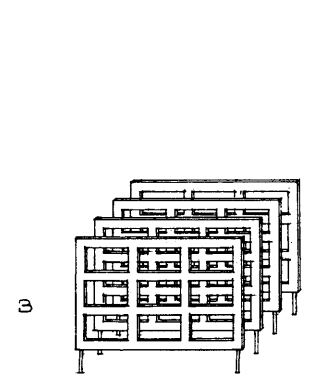
3.2.2



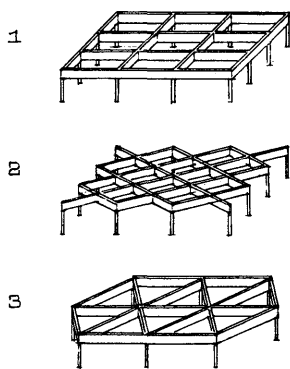
3.2.3



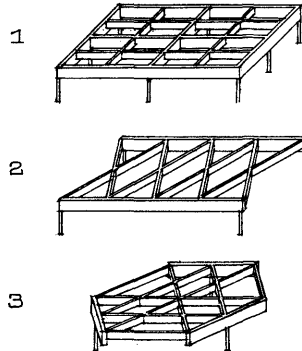
3.2.4



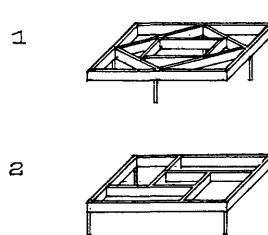
3.3.1



3.3.2



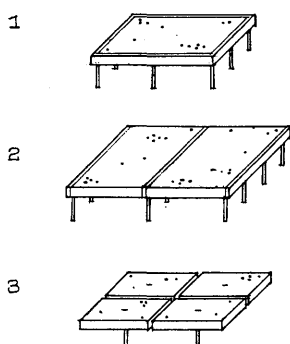
3.3.3



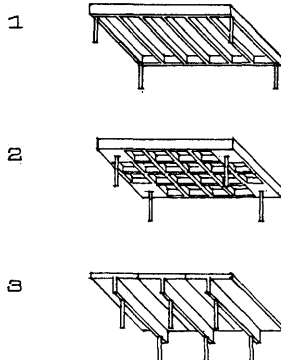
3.3.4



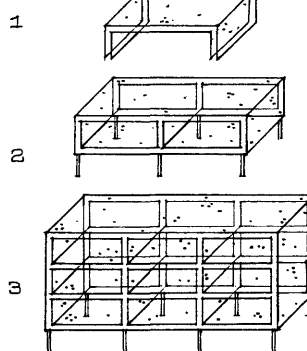
3.4.1



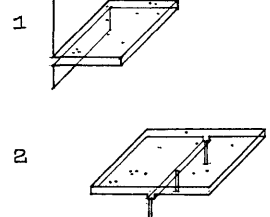
3.4.2



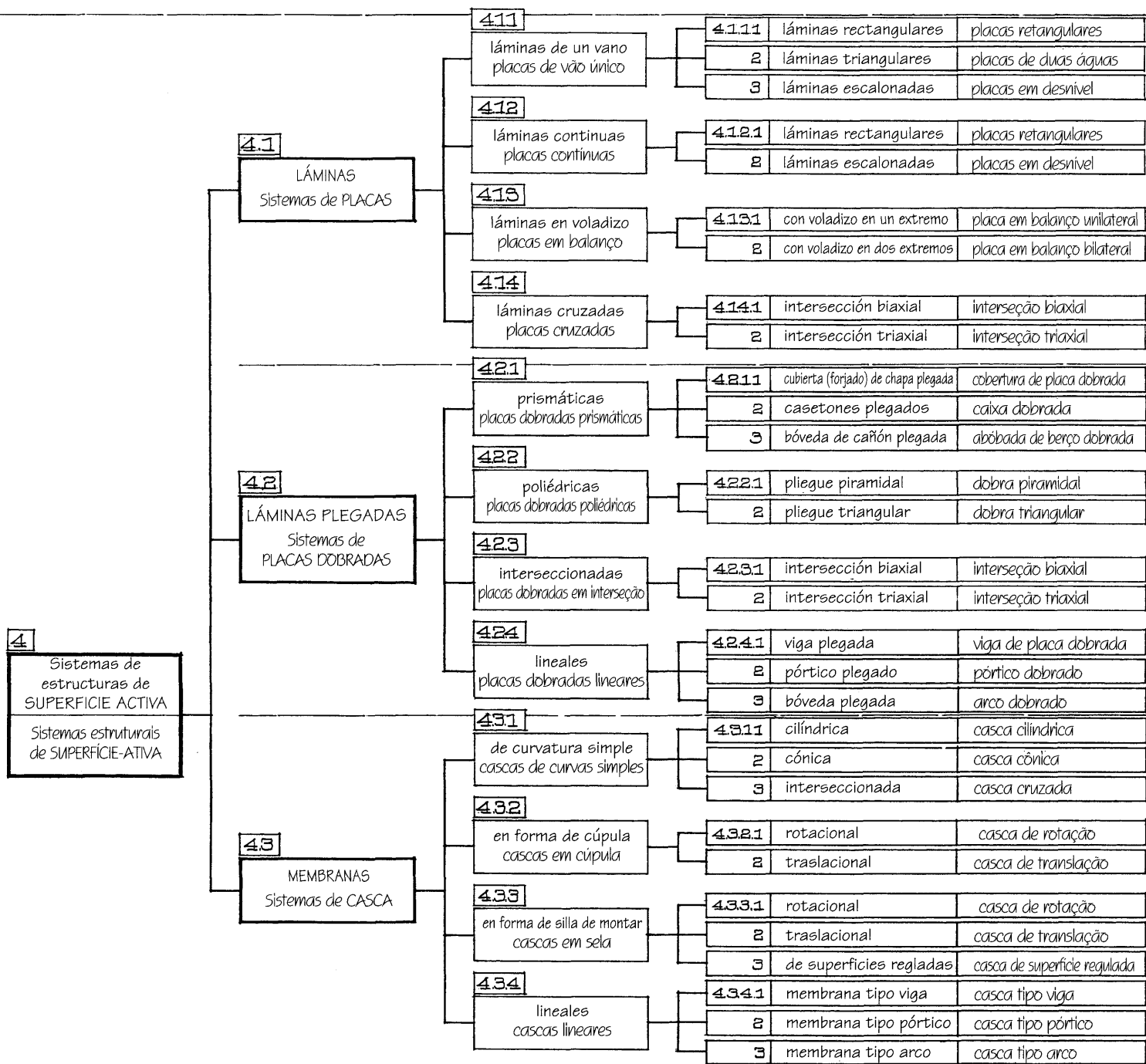
3.4.3



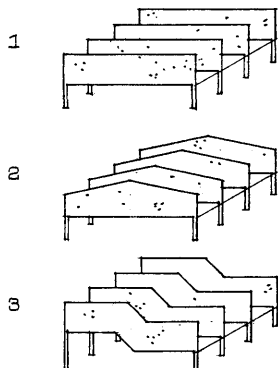
3.4.4



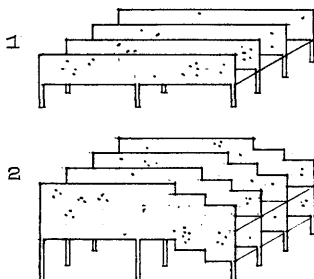




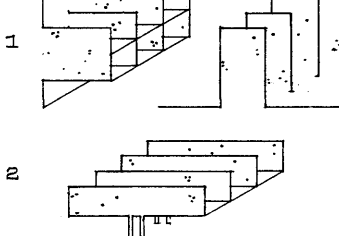
411



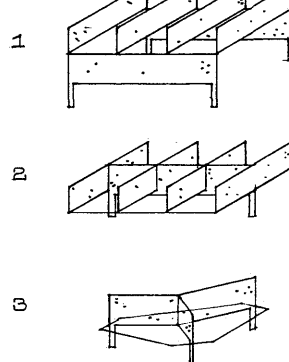
412



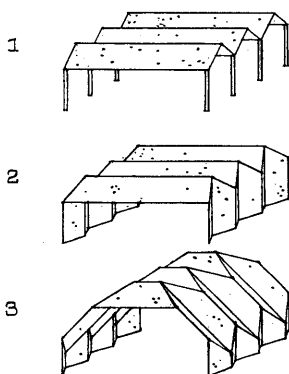
413



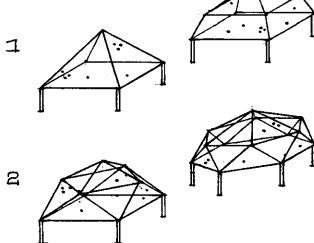
414



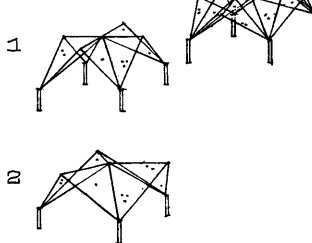
421



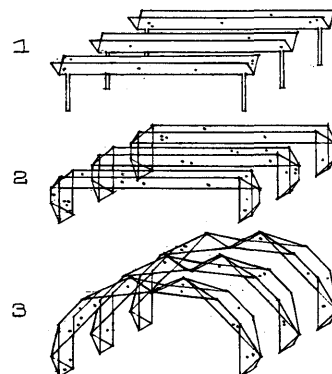
422



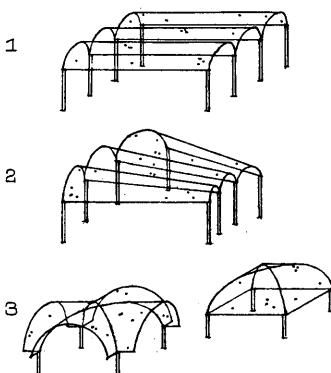
423



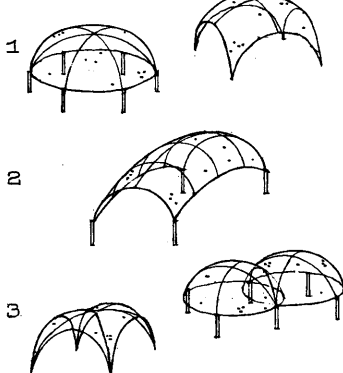
424



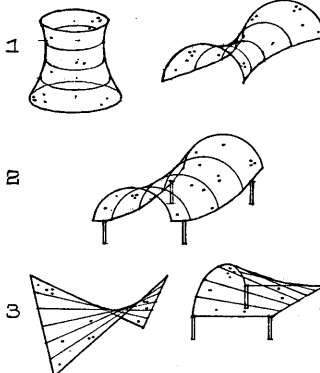
431



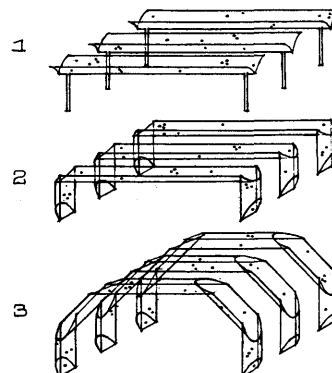
432

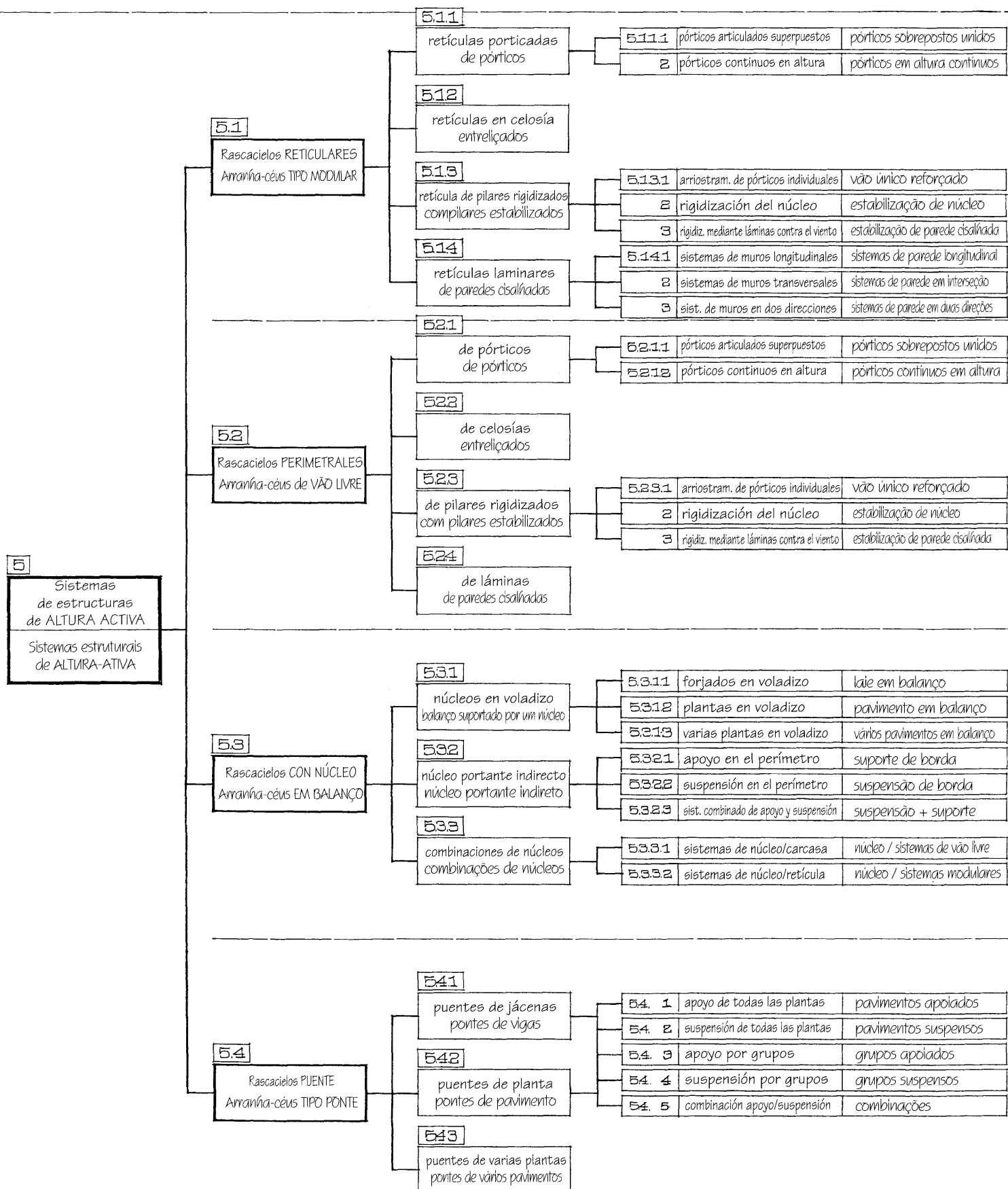


433



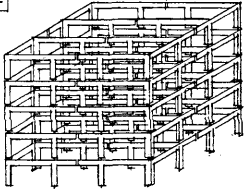
434



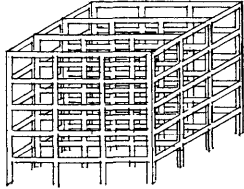


51.1

1

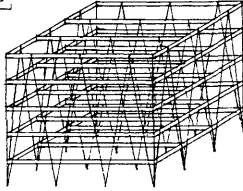


2

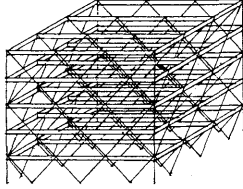


51.2

1

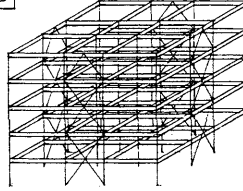


2

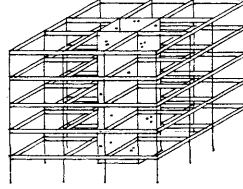


51.3

1

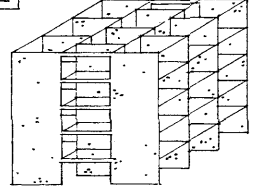


2

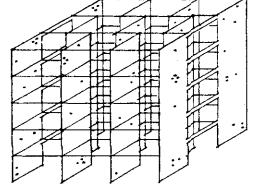


51.4

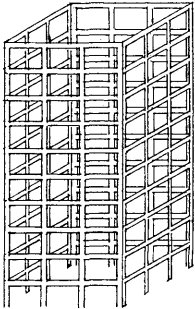
1



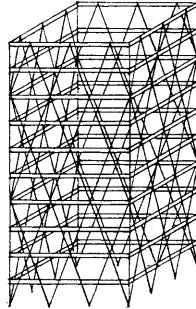
2



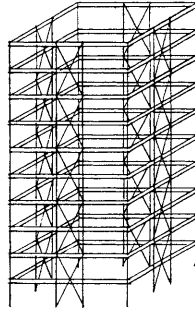
52.1



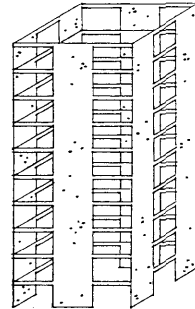
52.2



52.3

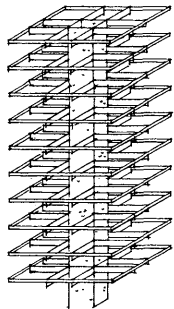


52.4

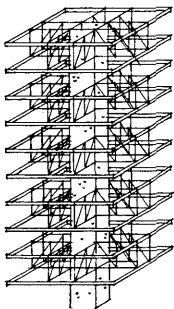


53.1

1

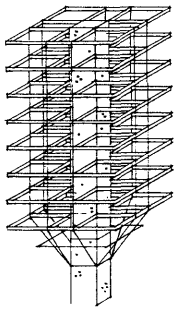


2

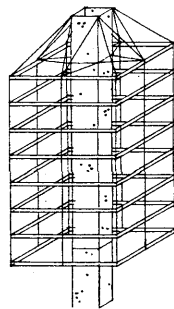


53.2

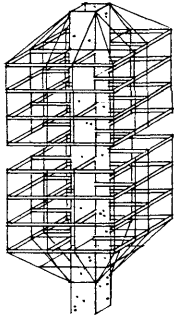
1



2

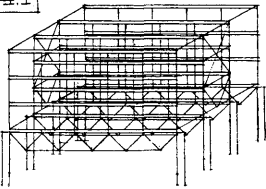


3

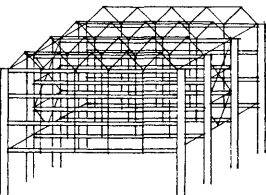


54.1

1

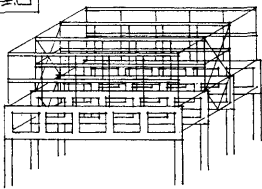


2

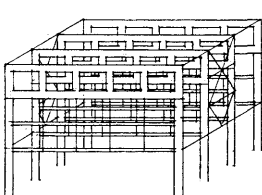


54.2

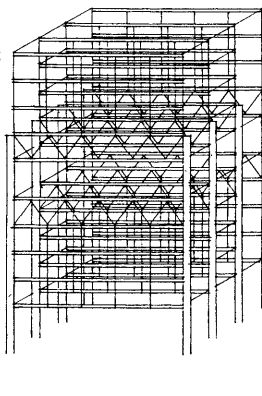
1



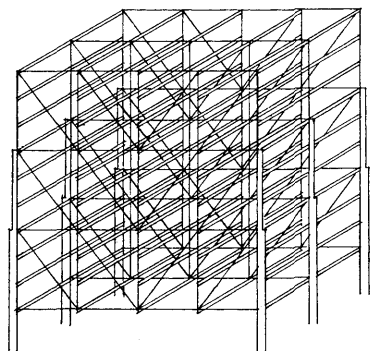
2



3



54.3



Sistemas de estructuras de forma activa  
Sistemas estruturais de forma-ativa

1

Um material não rígido, flexível, formado de modo definido e suportado por extremidades fixas, que pode suportar-se a si próprio e cobrir um vão: essa é a definição dos sistemas estruturais de forma-ativa.

São antecessores dos sistemas estruturais de forma-ativa, o cabo de suspensão vertical, que transmite a carga diretamente ao ponto de suspensão, e a coluna vertical, que, em direção reversa, transfere a carga diretamente ao ponto da base.

A coluna vertical e o cabo de suspensão vertical são protótipos de sistemas estruturais de forma-ativa. Eles transmitem as cargas somente através de esforços normais simples; isto é, através de compressão e de tração.

Dois cabos com diferentes pontos de suspensão, ligados um ao outro, formam um sistema de suspensão que pode suportar seu peso próprio e transferir cargas lateralmente através de simples esforços elásticos.

Um cabo de suspensão invertido para cima forma um arco funicular. A forma ideal de um arco para uma certa condição de carga é a linha de tração funicular correspondente a esta mesma carga.

A característica dos sistemas estruturais de forma-ativa é, por tanto, desviar as forças externas por meio de esforços normais simples: o arco por compressão; e o cabo de suspensão, por tração.

Os sistemas estruturais de forma-ativa desenvolvem em suas extremidades esforços horizontais. A absorção desses esforços constitui o maior problema do projeto desses sistemas.

O mecanismo de suporte dos sistemas de forma-ativa reside essencialmente na forma material. O desvio da forma correta pode pôr em risco o funcionamento do sistema ou exigir mecanismos adicionais que compensem tal desvio.

A forma dos sistemas estruturais de forma-ativa, em um exemplo ideal, coincide precisamente com o fluxo dos esforços. Os sistemas estruturais de forma-ativa são, portanto, a trajetória 'natural' das forças em questão.

A linha 'natural' de esforços de um sistema de compressão de forma-ativa é a linha funicular de pressão, e a do sistema de tração de forma-ativa é a linha funicular de tração. A linha de pressão e a linha de tração são determinadas, por um lado, pelas forças que se encontram trabalhando no sistema e, por outro, pela flecha de distância entre as extremidades.

A linha de pressão funicular e a linha de tração são a segunda característica dos sistemas estruturais de forma-ativa.

Qualquer variação da carga ou das condições de apoio afeta a forma da curva funicular, e origina uma nova forma de estrutura. Enquanto o cabo de suspensão, como um 'sistema elástico' baixo novas cargas, assume por si uma nova linha de tração, o arco, como um 'sistema inelástico', deve compensar a linha de pressão transformada através de sua rigidez (mecanismo de flexão).

Dado que o cabo de suspensão, baixo diferentes cargas, muda a sua forma, a curva funicular é sempre da carga atuante. Por outro lado, o arco, que não pode variar sua forma, pode ser funicular somente para uma certa condição de carga.

Os sistemas estruturais de forma-ativa, em virtude de sua dependência das condições de carga, são estritamente influenciados pela disciplina do fluxo 'natural' das forças, e por consequência, não podem estar sujeitos à forma livre e arbitrária do projeto. A forma e o espaço arquitetônicos são o resultado do mecanismo de flexão.

A leveza do cabo flexível de suspensão e o peso do arco enrijecido contra uma variedade de cargas adicionais são os defeitos arquitetônicos dos sistemas estruturais de forma-ativa. Podem ser eliminados em grande parte por meio de sistemas de protensão.

Assim como o cabo de suspensão pode ser estabilizado por protensão de modo que possa absorver forças adicionais que também podem ser dirigidas para cima, é igualmente possível pré-comprimir o arco até um grau que possa mudar a direção das cargas assimétricas sem flexões críticas

O arco e o cabo de suspensão, em virtude de seus esforços apenas por simples compressão

ou tração, são, no que se refere à relação peso / vão, os sistemas mais econômicos para cobrir um espaço

Por causa de sua identificação com o fluxo 'natural' das forças, os sistemas estruturais de forma-ativa são os mecanismos mais convenientes para cobrir grandes vãos e formar amplos espaços.

Visto que os sistemas estruturais de forma-ativa distribuem as cargas na direção da resultante, são com efeito, suportes lineares. Isso aplica-se também às redes de cabos, membranas ou cúpulas nas quais as cargas, através da dispersão em mais de um eixo, são ainda transferidas de modo linear em virtude da ausência de mecanismo de cisalhamento.

Os elementos estruturais de forma-ativa podem ser condensados para formar estruturas de superfície. Se a condição de esforços simples, característica desses sistemas, deve ser mantida, eles também estão sujeitos às regras da linha de pressão funicular e da linha de tração.

O arco e o cabo de suspensão, entretanto, não são somente a essência material dos sistemas estruturais de forma-ativa, mas também a idéia elementar para qualquer mecanismo de suporte, e, conseqüentemente, são o verdadeiro símbolo da exploração do espaço realizado pelo homem.

As qualidades de forma-ativa podem ser produzidas em todos os outros sistemas estruturais. Especialmente nos sistemas estruturais de superfície-ativa, onde constituem um elemento essencial para o funcionamento do mecanismo portante.

Os sistemas estruturais de forma-ativa, em virtude de suas qualidades para cobrir grandes vãos, encerram um significado especial para a civilização, com suas demandas para amplos espaços livres e constituem um potencial de formas estruturais para as futuras construções.

O conhecimento das leis da redistribuição de forças em forma-ativa é o requisito para o projeto de qualquer sistema estrutural, e por consequência, essencial para o arquiteto ou engenheiro interessado no desenho estrutural.

## Definición / Definição

## 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 / Forças

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 / Características

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

## SISTEMAS DE ESTRUTURAS DE FORMA-ATIVA

são sistemas estruturais flexíveis, de matéria não rígida, nos quais a redistribuição de forças é efetuada através do particular PROJETO DA FORMA e da característica ESTABILIZAÇÃO DA FORMA.

Seus componentes básicos são submetidos principalmente a um só tipo de tensão normal, isto é, ou à compressão ou à tensão:

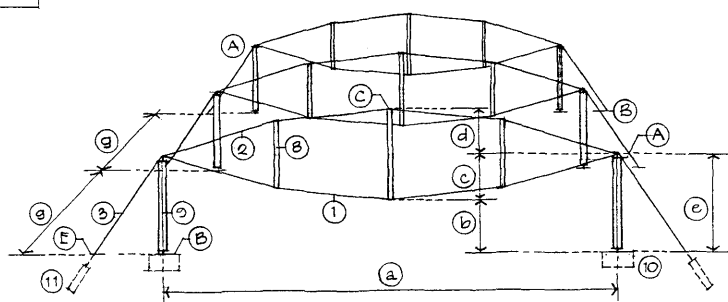
SISTEMAS EM UMA ÚNICA CONDIÇÃO DE TENSÃO

As típicas características das estruturas são:

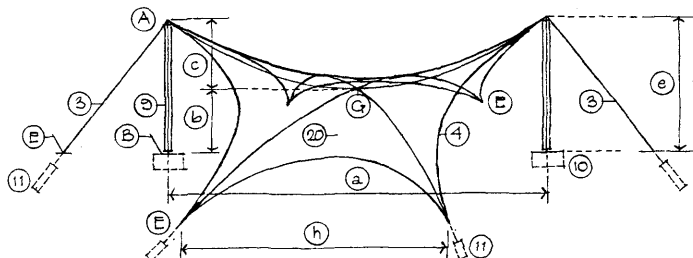
CATENÁRIA / LINHA DE EMPUXO (LINHA DE PRESSÃO) / CÍRCULO

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

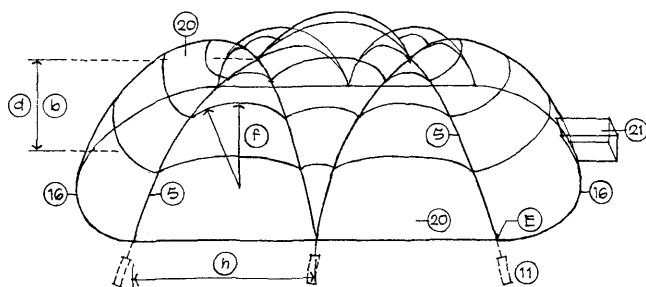
## 1.1 Estructuras de cables / Sistemas de cabo



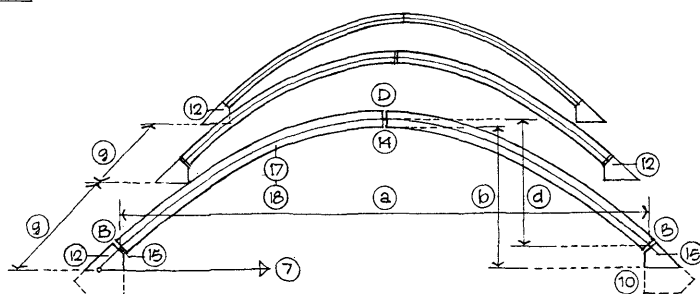
## 1.2 Estructuras en forma de tienda / Sistemas de tenda



## 1.3 Estructuras neumáticas / Sistemas pneumáticos



## 1.4 Estructuras de arcos / Sistemas de arco



## Partes del sistema / Componentes dos sistemas

- |                                                 |                                                               |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| ① cable portante, cable de carga                | cabo de suspensão, cabo de carga                              |
| ② cable de estabilización, cable atirantado     | cabo de estabilização, cabo de tensão                         |
| ③ cable de retención, cable de arriostamiento   | cabo de retenção                                              |
| ④ cable de borde                                | cabo de beira, cabo de borda                                  |
| ⑤ cable de limahoya                             | cabo de vale                                                  |
| ⑥ cable de suspensión                           | suspensor                                                     |
| ⑦ barra a tracción, anclaje a tracción          | barra de acoplamento, tirante                                 |
| ⑧ barra a compresión, puntal                    | barra de compressão, separador                                |
| ⑨ pilar, pilón, mástil                          | coluna, torre, mastro, suporte                                |
| ⑩ cimiento, cimentación                         | fundação, equilíbrio                                          |
| ⑪ anclaje en tierra, anclaje de retención       | ancoragem de solo, ancoragem de retenção                      |
| ⑫ estribo                                       | estribo                                                       |
| ⑬ articulación                                  | peça de união, articulação                                    |
| ⑭ articulación de cumbrera                      | coroa de articulação, articulação superior, articulação chave |
| ⑮ articulación de base, articulación de imposta | articulação base, articulação imposta                         |
| ⑯ anillo de anclaje                             | anel de âncora                                                |
| ⑰ arco, arco funicular                          | arco, arco funicular                                          |
| ⑱ arco articulado                               | arco encaixado, arco fixo                                     |
| ⑲ contrafuerte                                  | contraforte                                                   |
| ⑳ membrana portante                             | membrana de apoio                                             |
| ㉑ esclusa de aire                               | fechamento de ar                                              |
| ㉒                                               |                                                               |

## ① - ③ Cables funcionales / Cabos funcionais

## Puntos topográficos del sistema

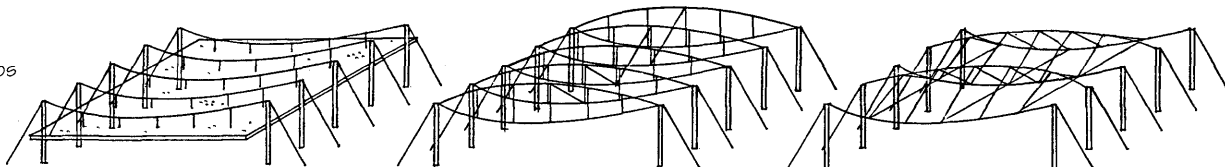
- |                                        |                                    |
|----------------------------------------|------------------------------------|
| ① punto de suspensión                  | ponto de suspensão                 |
| ② punto de base                        | ponto de base                      |
| ③ cúspide                              | cume, ponto alto                   |
| ④ punto de cumbrera                    | chave, topo, coroa, vértice, ápice |
| ⑤ punto de anclaje, punto de retención | ponto de âncora, ponto de retenção |
| ⑥ punto de apoyo                       | ponto de suporte, ponto de apoio   |
| ⑦ punto bajo                           | ponto baixo                        |
| ⑧                                      |                                    |
| ⑨                                      |                                    |

## Dimensiones del sistema / Dimensões do sistema

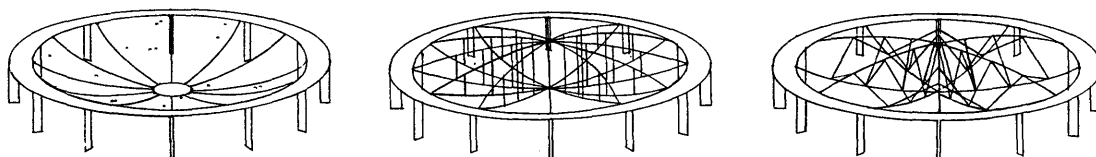
- |                                          |                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| ① luz                                    | vão                                 |
| ② altura libre                           | altura livre, espaço livre          |
| ③ flecha del cable                       | flecha do cabo                      |
| ④ altura del arco (cable)                | altura do arco (cabo)               |
| ⑤ altura del pilar                       | altura de coluna, altura do suporte |
| ⑥ radio de curvatura                     | raio de curvatura                   |
| ⑦ separación entre pórticos              | espaço, distância entre pórticos    |
| ⑧ separación entre los puntos de anclaje | distância dos pontos de ancoragem   |

## 1.1 Estructuras de cables / Sistemas de cabo

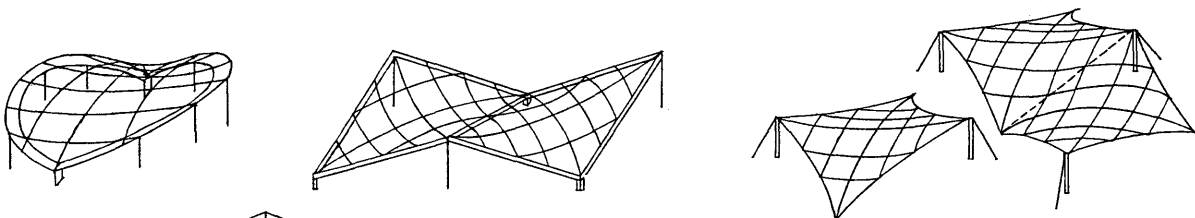
Estructuras de cables paralelos  
Sistemas de cabos paralelos



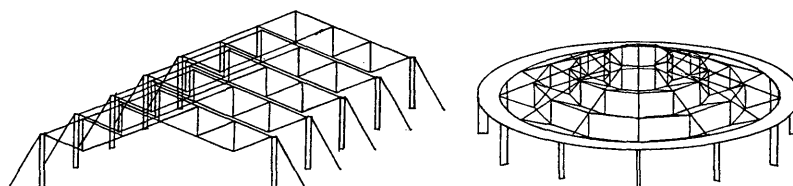
Estructuras de cables radiales  
Sistemas de cabos radiales



Estructuras de cables biaxiales  
Sistemas de cabos biaxiais



Celosías de cables  
Trellças de cabo

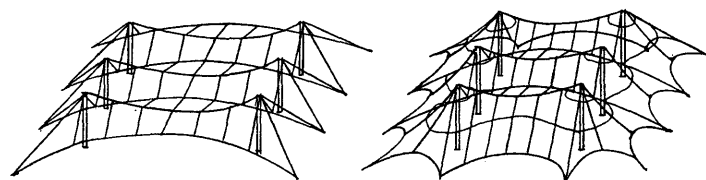


## 1.2 Estructuras en forma de tienda / Sistemas de tenda

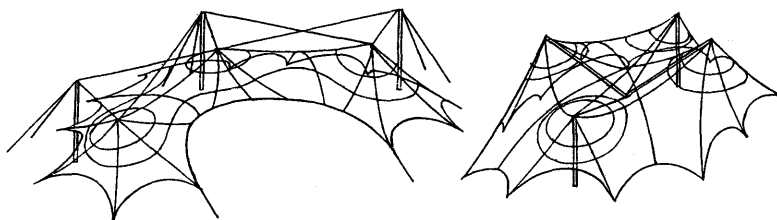
Tiendas apuntadas  
Sistemas de tendas apontadas



Tiendas onduladas  
Sistemas de tendas onduladas



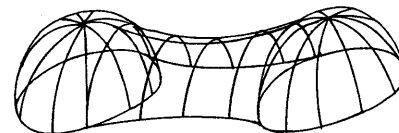
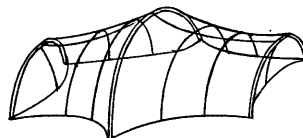
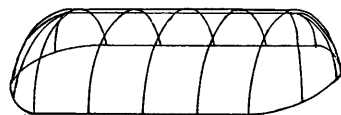
Tiendas apuntadas indirectas  
Tendas apontadas indiretas



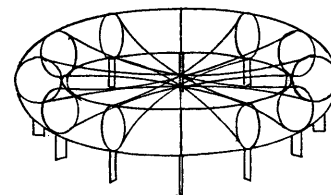
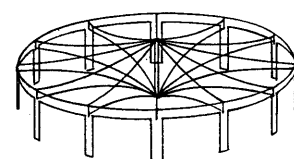
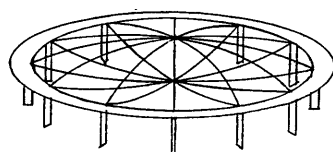


### 13 Estructuras neumáticas / Sistemas pneumáticos

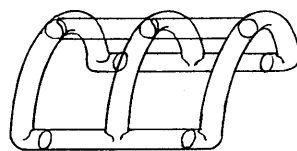
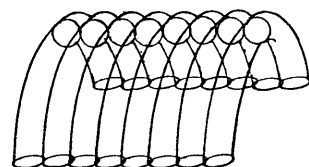
Sistemas de naves neumáticas  
Sistemas de controle de ar interno



Sistemas de colchones de aire  
Sistemas de colchão de ar

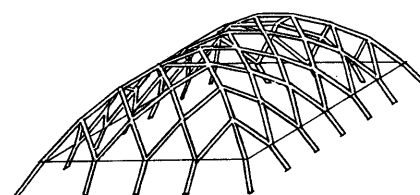
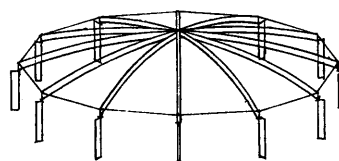
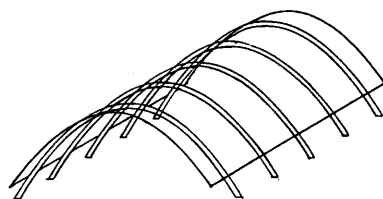


Sistemas de tubos de aire  
Sistemas de tubos de ar

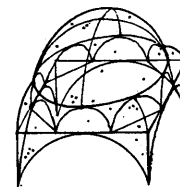
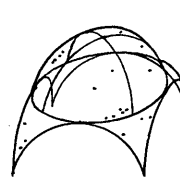
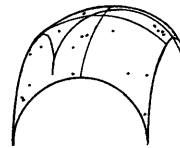
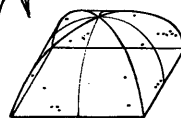
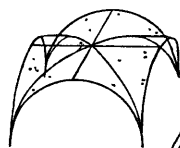
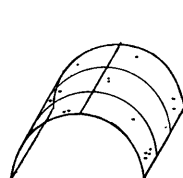


### 14 Estructuras de arcos / Sistemas de arco

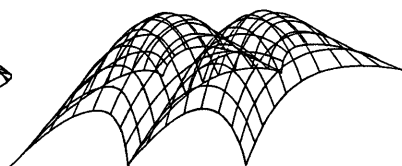
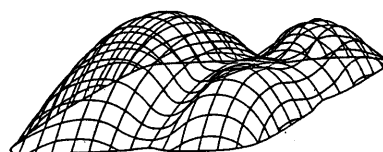
Arcos lineales  
Arcos lineares



Bóvedas  
Abóbadas



Retículas abovedadas  
Reticulas abobadadas



Aplicaciones: sistema de estructura - material de construcción - luces

Aplicações: sistema estrutural - material - vãos

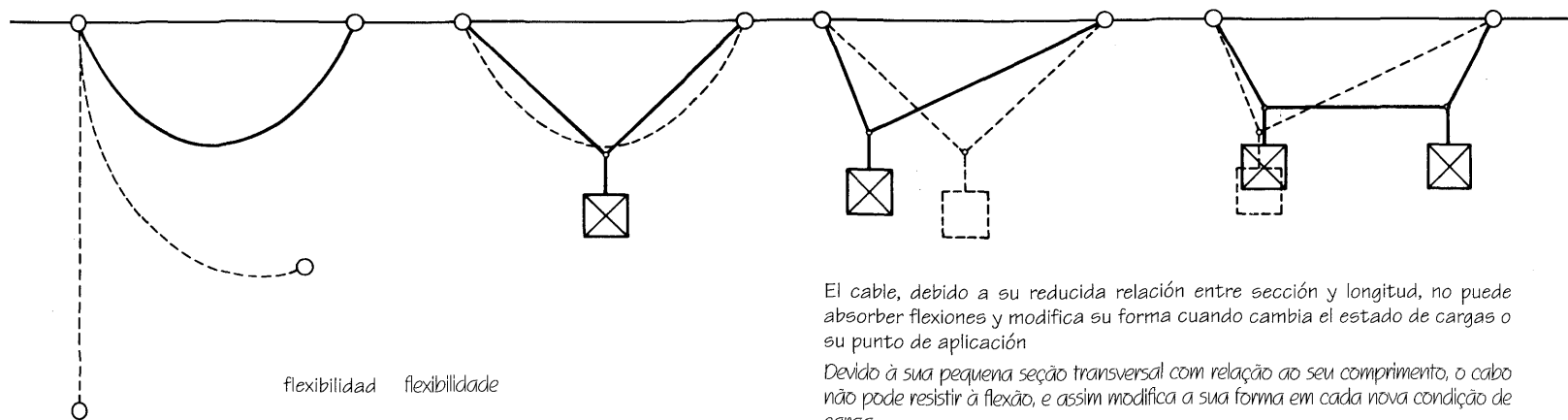
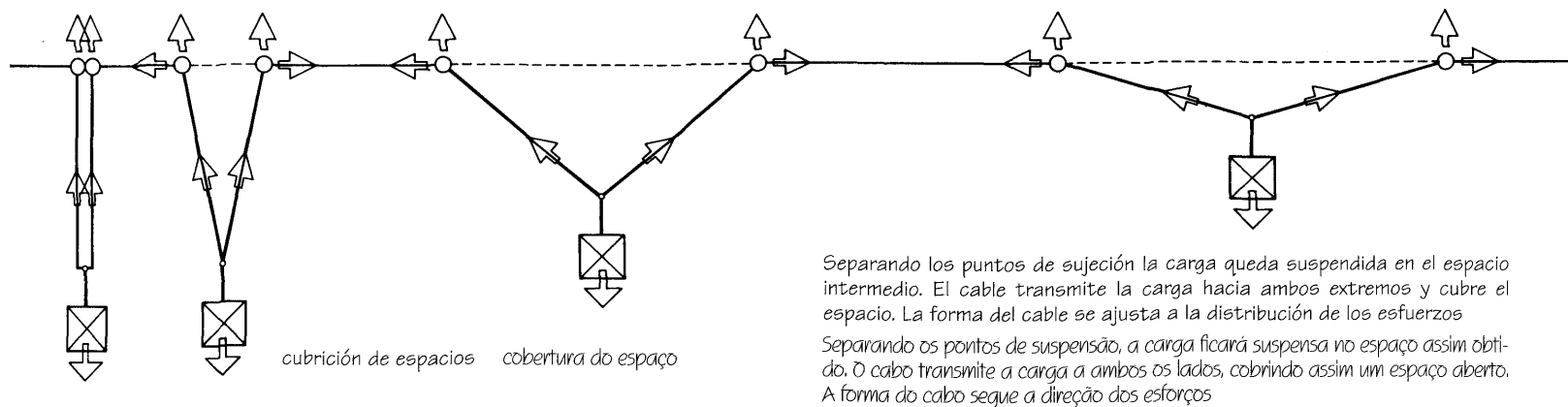
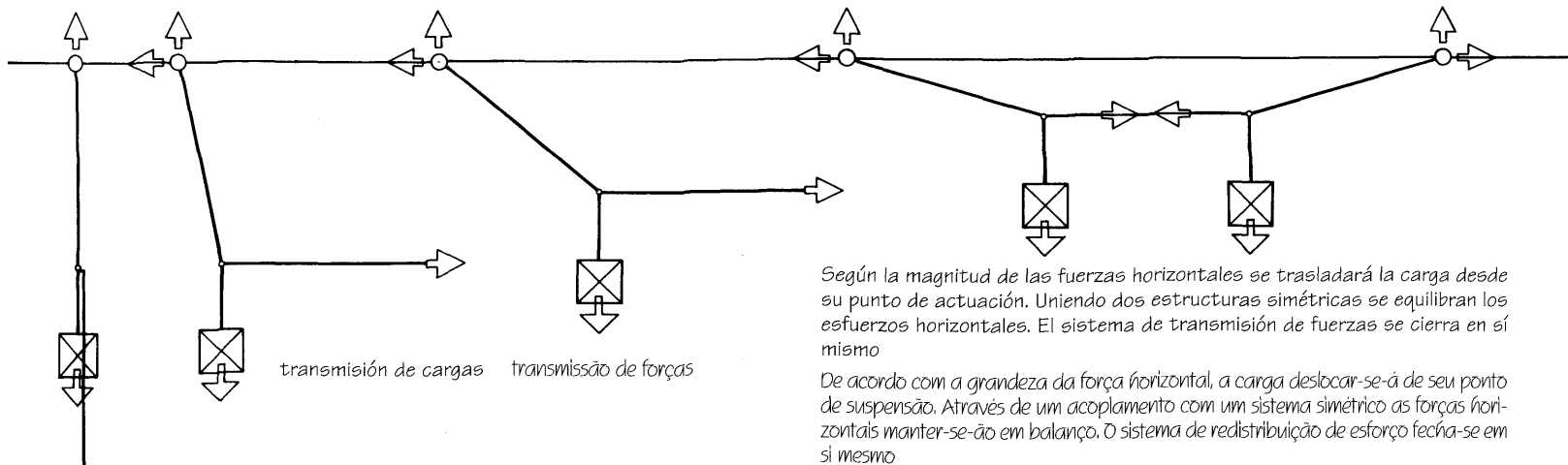
| Sistema de estructura / Sistema estrutural |         | Material básico                                                                  | Matéria prima                                                                                              | Luces en metros / Vãos em metros |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|--------------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                            |         |                                                                                  |                                                                                                            | 0                                | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |     |     |  |
| Estructuras de CABLES                      |         | sólo metal<br>metal +<br>hormigón<br>armado                                      | só metal<br>em metal<br>+ concreto<br>armado                                                               |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 50 |    | 200 |     |     |     |     |     |     | 500 |     |  |
|                                            | 1.1<br> | sólo metal<br>metal +<br>hormigón<br>armado                                      | só metal<br>em metal<br>+ concreto<br>armado                                                               |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 30 |    | 60  |     | 200 |     | 250 |     |     |     |     |  |
|                                            |         | sólo metal<br>metal + hor-<br>migón armado<br>/ + madera                         | só metal<br>em metal<br>+ concreto<br>armado /<br>+ madeira                                                |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 25 |    | 50  |     | 120 |     | 200 |     |     |     |     |  |
| Estructuras en forma de TIENDA             |         | textil +<br>metal / +<br>madera<br>plástico +<br>metal / +<br>madera             | tecido + metal<br>/ + madeira<br>plástico +<br>metal / +<br>madeira                                        |                                  | 5 |    |    | 10 |    | 25 |    | 40 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|                                            | 1.2<br> | textil +<br>metal / +<br>madera<br>plástico +<br>metal / +<br>madera             | tecido + metal<br>/ + madeira<br>plástico +<br>metal / +<br>madeira                                        |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 20 |    | 30  |     | 70  |     | 100 |     |     |     |     |  |
|                                            |         | plástico +<br>metal / +<br>horm. armado<br>textil + metal<br>/ + horm.<br>armado | plástico +<br>metal / +<br>horm. armado<br>concreto<br>textil + metal<br>tecido +<br>metal / +<br>concreto |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 20 |    | 30  |     | 80  |     | 150 |     |     |     |     |  |
| Estructuras NEUMÁTICAS                     |         | plástico<br>+ metal                                                              | plástico<br>+ metal                                                                                        |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 10 |    | 40  |     | 50  |     | 70  |     | 200 |     | 300 |  |
|                                            | 1.3<br> | plástico<br>+ metal /<br>+ madera /<br>+ hormigón<br>armado                      | plástico<br>+ metal /<br>+ madeira /<br>+ concreto                                                         |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 20 |     | 70  |     | 120 |     |     |     |     |     |  |
|                                            |         | plástico                                                                         | plástico                                                                                                   |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 10 |     | 50  |     | 70  |     |     |     |     |     |  |
| Estructuras de ARCOS                       |         | hormigón<br>armado<br>madera<br>laminada<br>metal                                | concreto<br>armado<br>madeira<br>laminada<br>metal                                                         |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    | 15 |    | 25  |     | 70  |     | 100 |     |     |     |     |  |
|                                            | 1.4<br> | obra de<br>fábrica                                                               | alvenaria                                                                                                  |                                  | 4 |    |    | 8  |    | 20 |    | 30 |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |  |
|                                            |         | metal<br>madera                                                                  | metal<br>madeira                                                                                           |                                  |   |    |    |    |    |    |    |    |    | 10 |     | 20  |     | 30  |     | 150 |     |     |     |  |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse

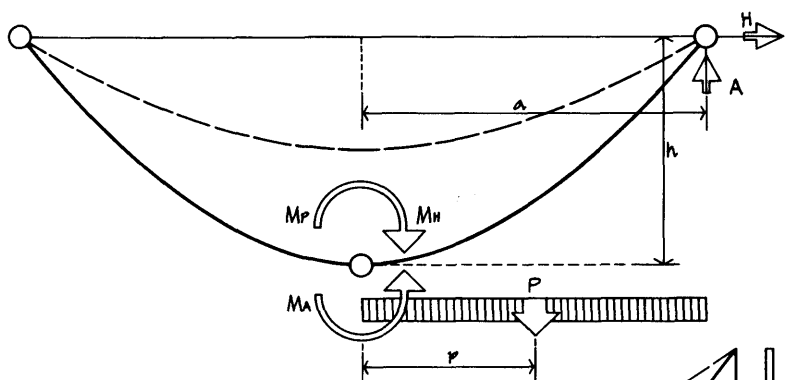
Para cada tipo de estrutura há uma condição de tensão específica inerente aos seus componentes. Esse trata essencial submete o projeto das estruturas a afiliações racionais na escolha dos principais tecidos estruturais, e a atribuição da capacidade do vão

Relación entre la dirección de los esfuerzos  
y la forma estructural del cable

Relação entre a direção dos esforços  
e a forma estrutural do cabo



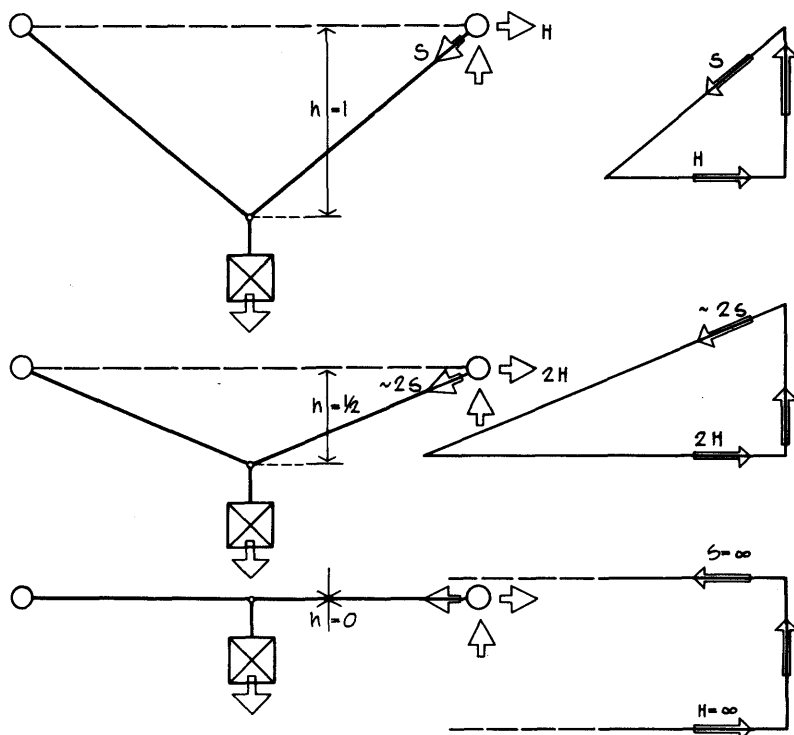
Mecanismo de palanca del cable suspendido  
Mecanismo de alavanca do cabo de suspensão



Debido al momento de la reacción horizontal  $M_H$ , se compensa la diferencia entre los momentos  $M_P$  y  $M_A$  y se elimina la flexión

Por causa do momento de reação horizontal  $M_H$ , a disparidade dos momentos  $M_P$  e  $M_A$  é compensada, e a flexão eliminada

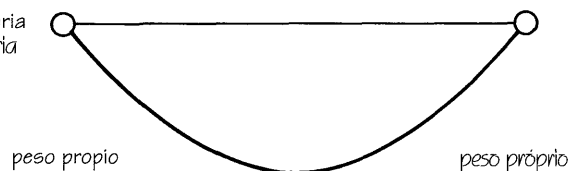
Influencia de la flecha en la distribución de esfuerzos  
Influência da curvatura na distribuição de esforços



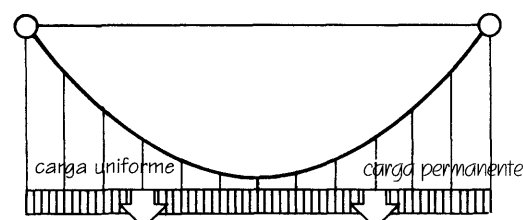
El esfuerzo  $S$  en el cable y el empuje horizontal  $H$  son inversamente proporcionales a su flecha. Si la flecha es igual a cero, el esfuerzo en el cable y el empuje horizontal se vuelven infinitamente grandes y el cable suspendido no puede absorber la carga. Os esforços  $S$  no cabo e o impulso horizontal  $H$  de um cabo de suspensão são inversamente proporcionais à flecha  $h$ . Se a flecha for zero, o esforço no cabo e o impulso horizontal tornar-se-ão infinitos, isto é, o cabo de suspensão não pode resistir à carga.

Formas geométricas de un cable  
Formas geométricas funiculares

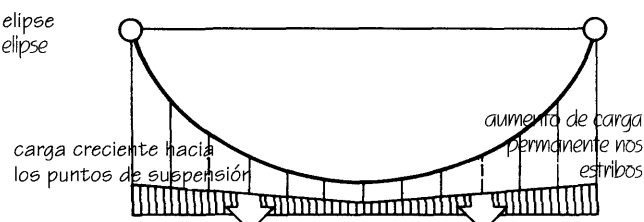
catenaria  
catenária



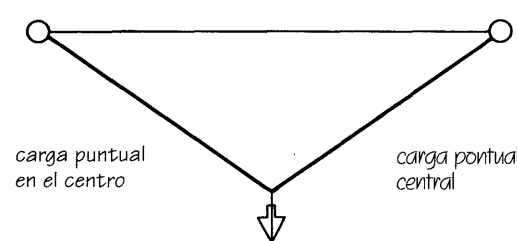
parábola  
parábola



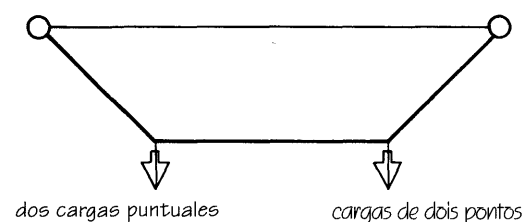
elipse  
elipse



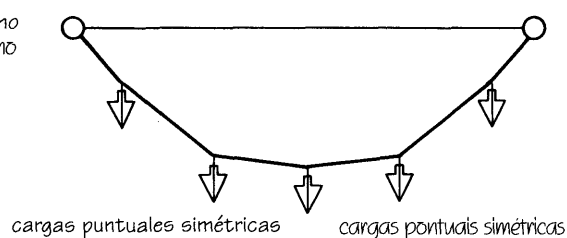
triángulo  
triângulo

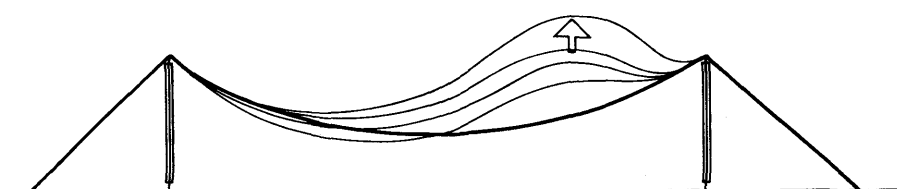


trapezio  
trapezóide

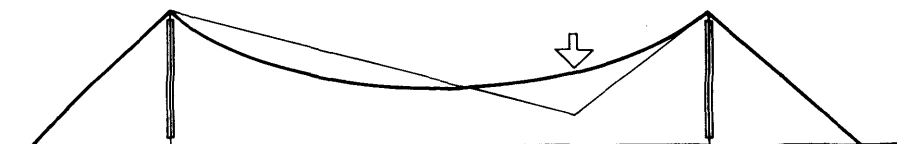


polígono  
polígono

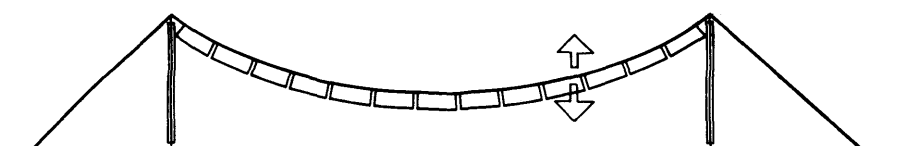




Deformaciones críticas del cable suspendido  
Deformações críticas no cabo de suspensão



El cable suspendido, debido a su escaso peso propio en relación a la luz y a su flexibilidad, es muy sensible a la succión del viento, las vibraciones y las cargas asimétricas y dinámicas.  
Devido ao pequeno peso próprio em relação ao seu vão, e sua flexibilidade, o cabo de suspensão é muito suscetível às elevações pelo vento, vibrações, cargas móveis e assimétricas.



Estabilización del cable suspendido  
Estabilização do cabo de suspensão

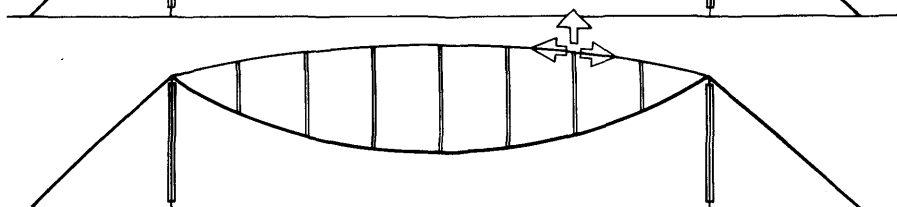
aumento del peso propio

aumento do peso próprio



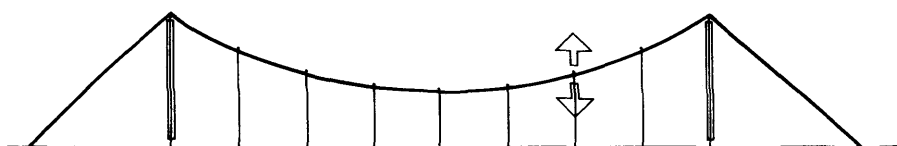
rigidización mediante construcción como arco invertido (o membrana)

enriecimento pela construção em forma de arco invertido (ou casca)



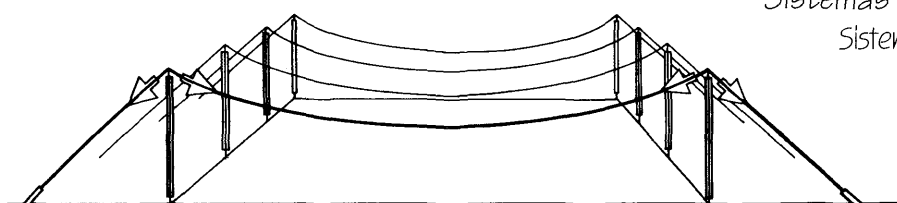
arriostramiento con un cable de curvatura opuesta

evasão contra um cabo de curvatura oposta



arriostramiento con cables transversales anclados al suelo

reforço com cabos transversais ancorados no solo



Sistemas de tensado para cables suspendidos en paralelo  
Sistemas de retenção para cabos de suspensão paralelos

cable tensor

cabo de retenção

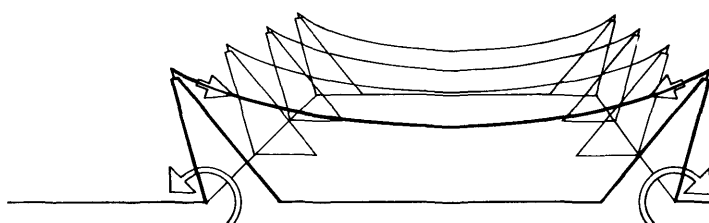
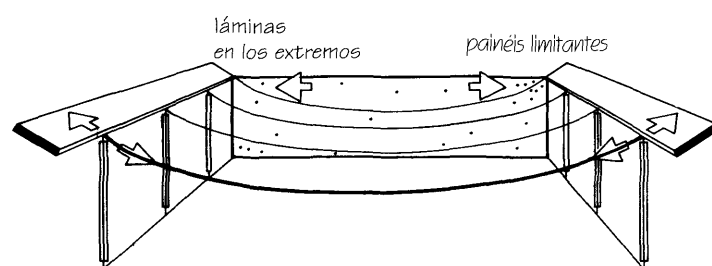


lámina resistente a flexión

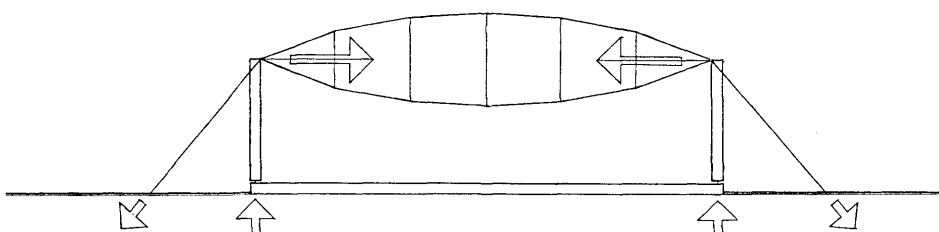
arcobotante



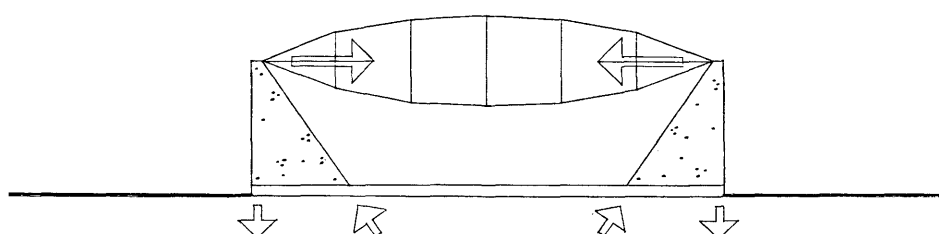
viga horizontal

viga horizontal

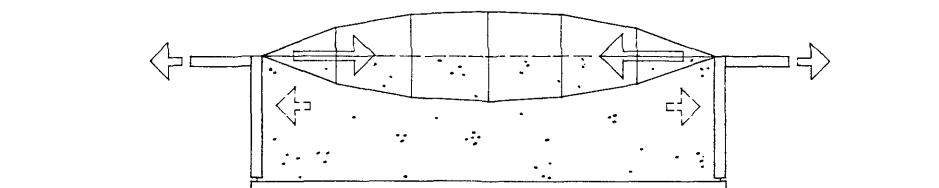
Sistemas de arriostramiento para estabilizar los puntos de suspensión  
Sistemas de contenção para a estabilização de pontos em suspensão



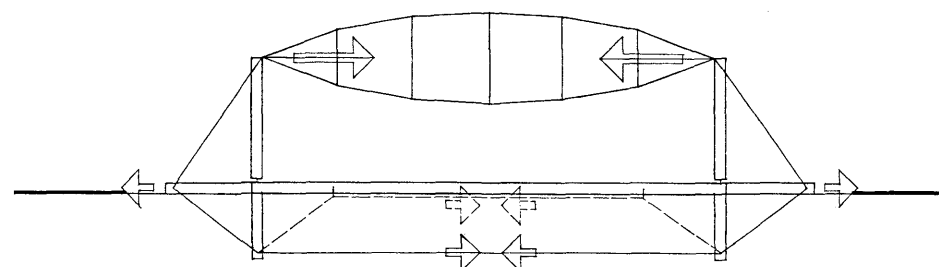
Tensado de los puntos de suspensión con anclaje de los tensores en el suelo  
Cabo de contenção dos pontos em suspensão com cabos ancorados no solo



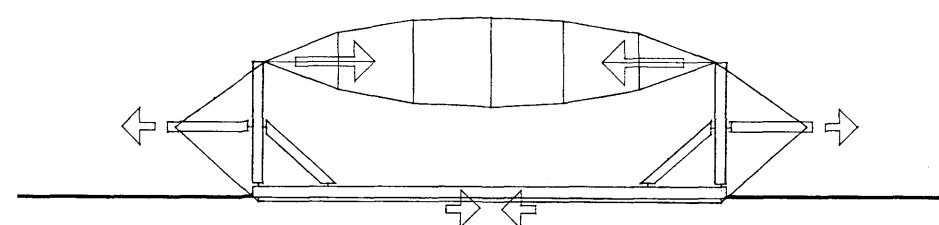
Reorientación de las fuerzas en los puntos de suspensión mediante contrafuertes o riostras  
Redistribuição de forças nos pontos suspensos através de reforços ou contrafortes



Transmisión de las fuerzas mediante vigas horizontales a unas paredes transversales o vigas a compresión  
Transmissão de forças de vigas horizontais a paredes transversais ou vigas de compressão



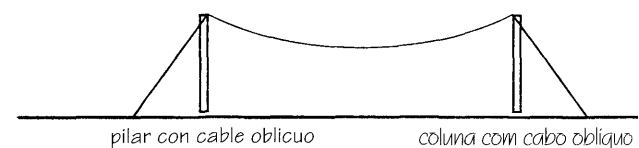
Tensado de los cables mediante un tirante a tracción bajo la losa del suelo  
Cabo de contenção com conexão atirantada em balanço dentro da laje do chão



Tensado y arriostramiento mediante un tirante a tracción en la losa del suelo  
Contenção e suporte com conexão atirantada dentro da laje do chão

Estructuras para los puntos de suspensión  
Estruturas para pontos em suspensão

de forma activa / forma-ativa



pilar con cable oblicuo

coluna com cabo obliquo



pilar inclinado con cable

coluna obliqua com cabo

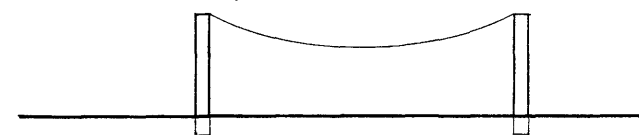
de vector activo / vetor-ativo



pilar de celosía

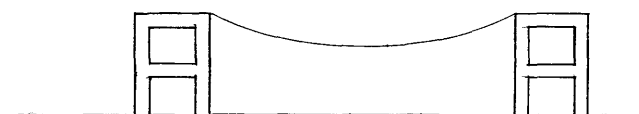
plótis entrelaçado

de sección activa / seção-ativa



pilar empotrado

coluna com extremo fixo



pórtico resistente a flexión

pórtico rígido

de superficie activa / superfície-ativa

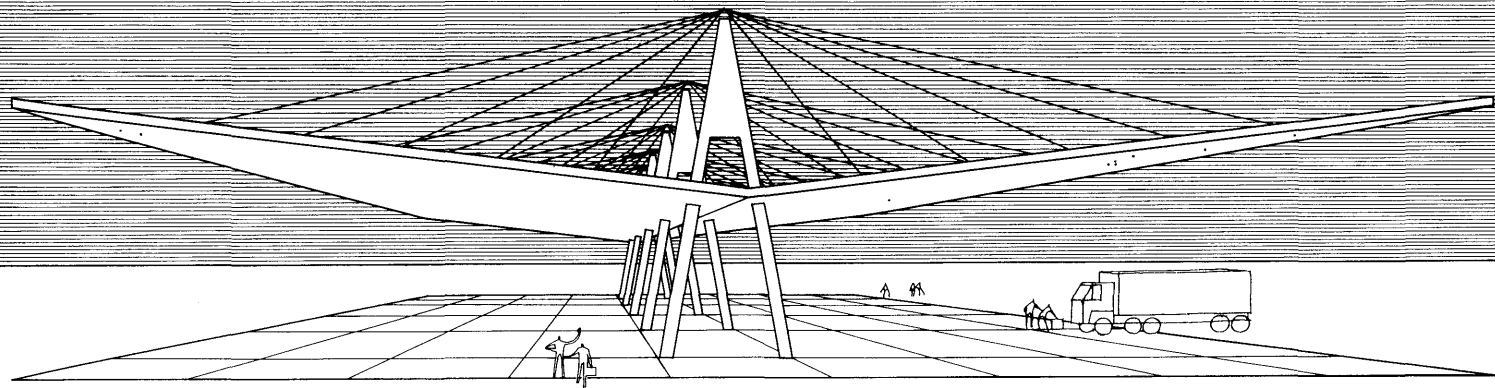


contrafuerte

parede contraforte

Sistemas paralelos sencillos estabilizados  
con el peso de la cubierta

Sistemas simples paralelos com estabilização por meio  
do peso da cobertura



Suspensión directa desde los pilares  
centrales

Suspensão direta por pilotis centrais

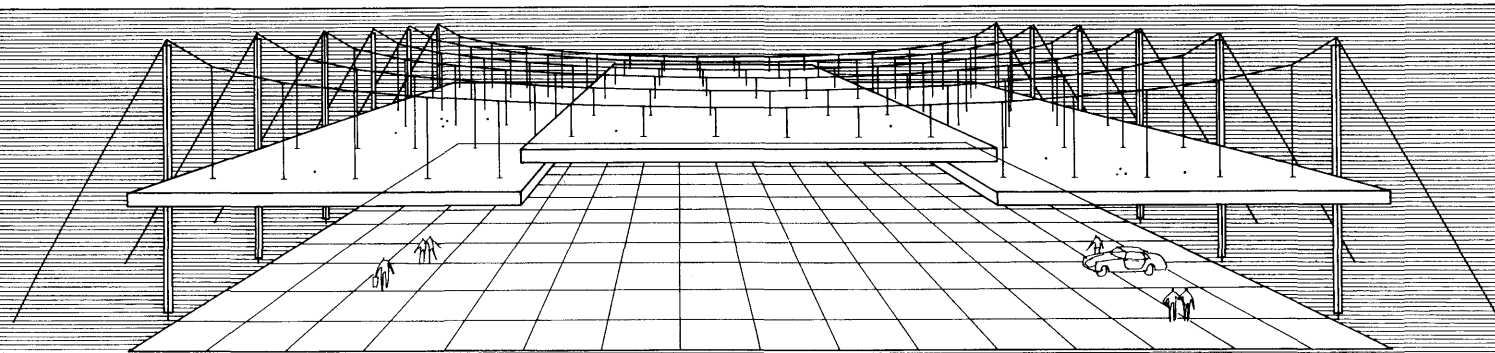
mecanismo portante y de estabilización  
mecanismo de suspensão e estabilização

peso propio

peso próprio

viento

vento



Cubierta suspendida del cable

Teto suspenso por cabos

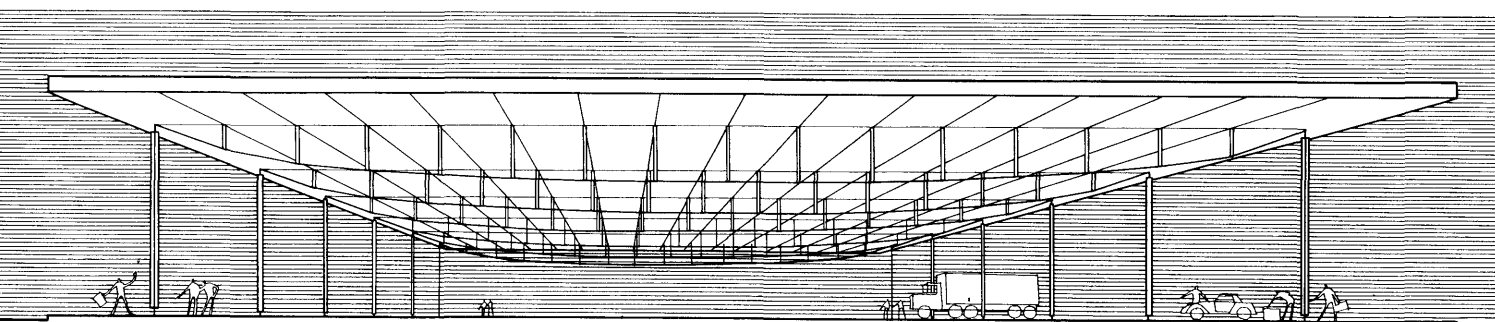
mecanismo portante y de estabilización  
mecanismo de suspensão e estabilização

peso propio

peso próprio

succión  
del viento

elevação pelo vento



Cubierta apoyada en el cable suspendido

Teto apoiado sobre cabo de suspensão

mecanismo portante y de estabilización  
mecanismo de suspensão e estabilização

peso propio

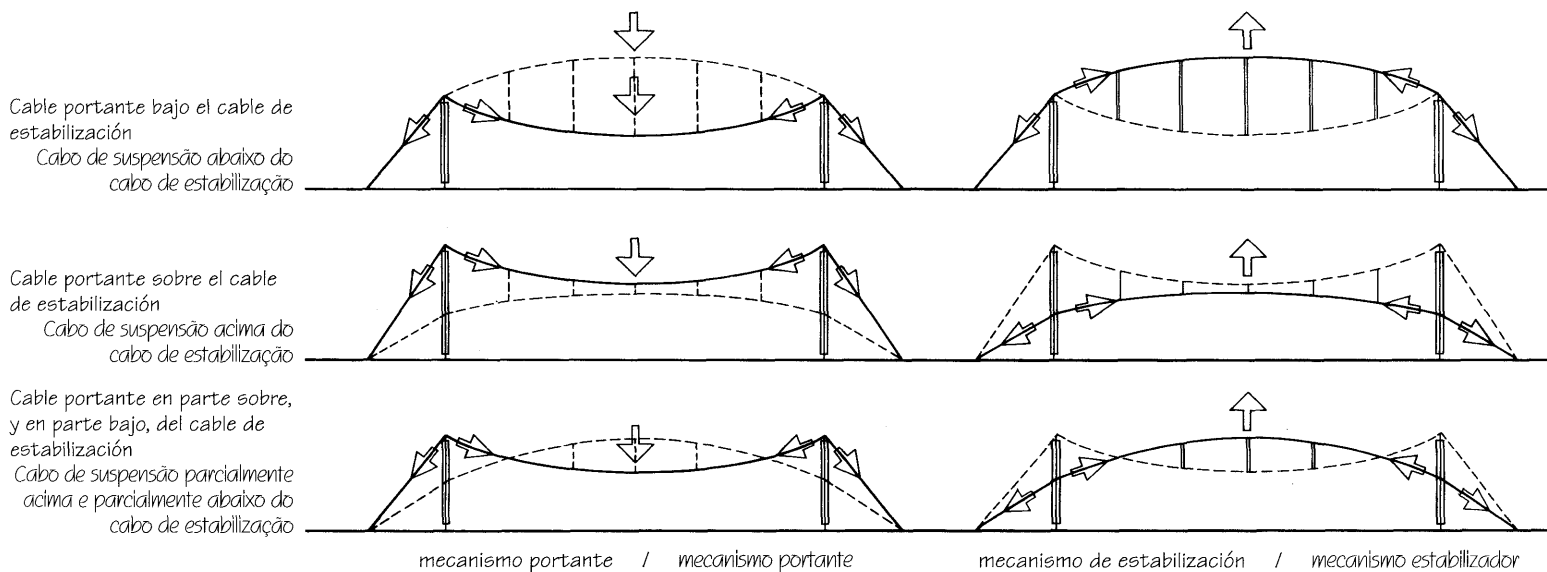
peso próprio

succión  
del viento

elevação pelo vento

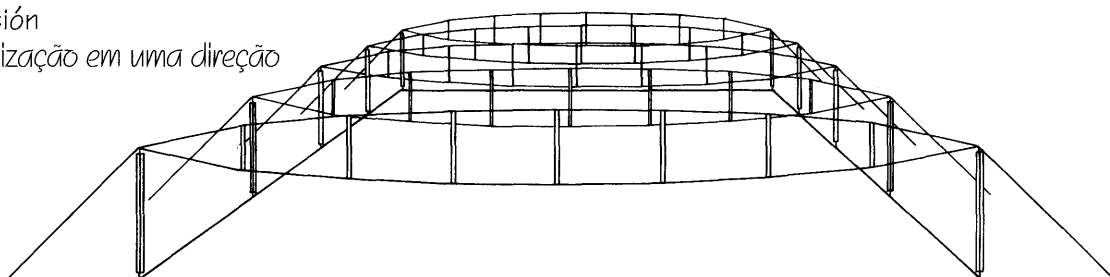
Mecanismo portante y de estabilización  
de los sistemas pretensados

Mecanismo portante e estabilizador  
de sistemas protendidos

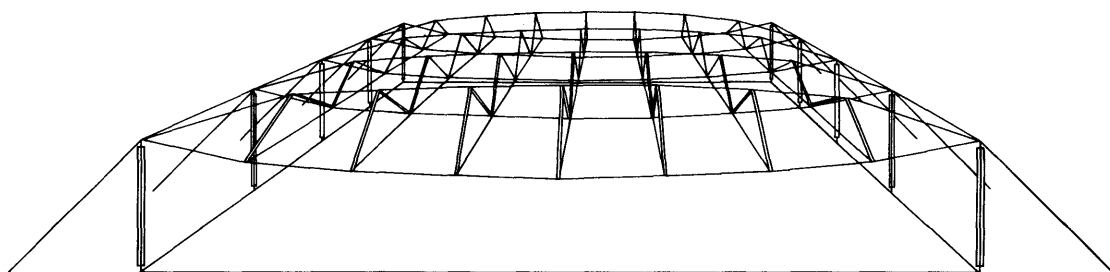


Sistemas con cables portantes y cables  
de estabilización en una dirección  
Sistemas com suspensão e estabilização em uma direção

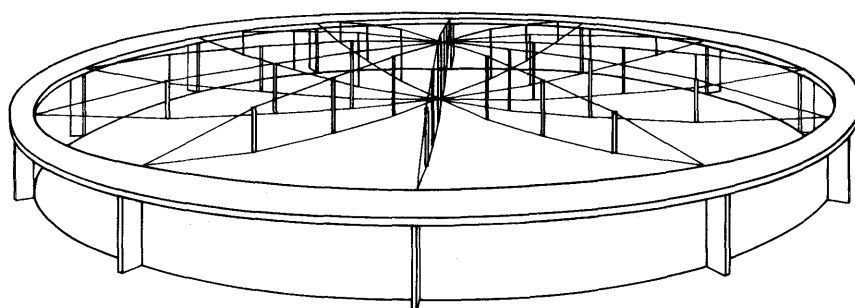
Sistema paralelo bidimensional  
Sistema paralelo plano



Sistema paralelo tridimensional  
Sistema paralelo espacial



Sistema de revolución plano  
Sistema rotativo plano



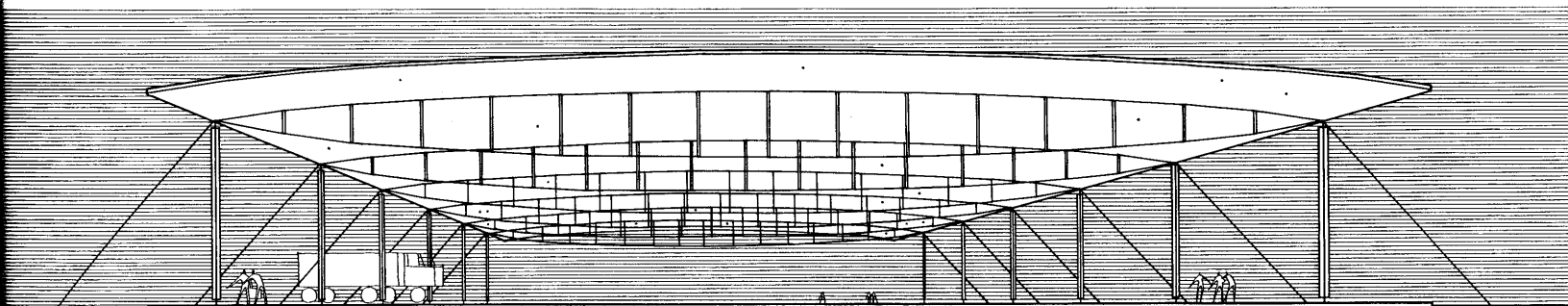


Sistemas paralelos planos con estabilización  
mediante cables de curvatura opuesta

Cable de suspensión y cable de estabilización en un plano

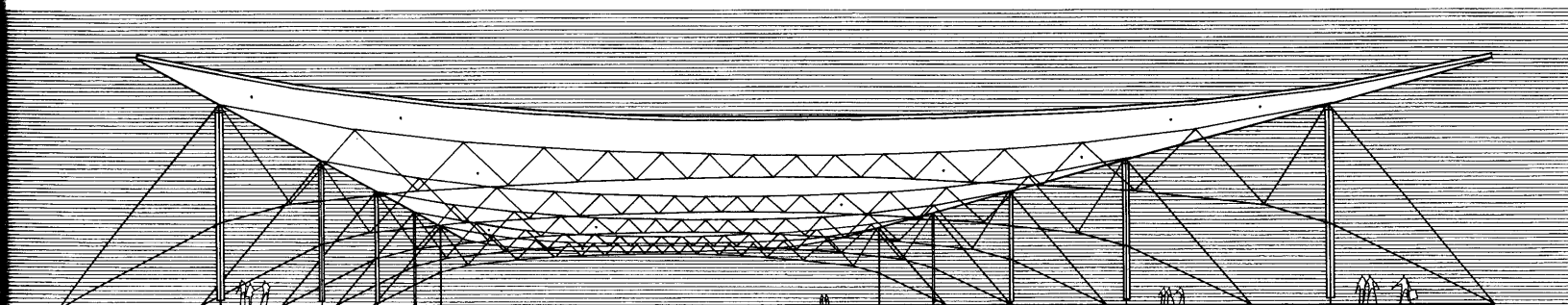
Sistemas paralelos planos com estabilização  
por meio de contracabos

Cabo de suspensão e estabilização em um plano



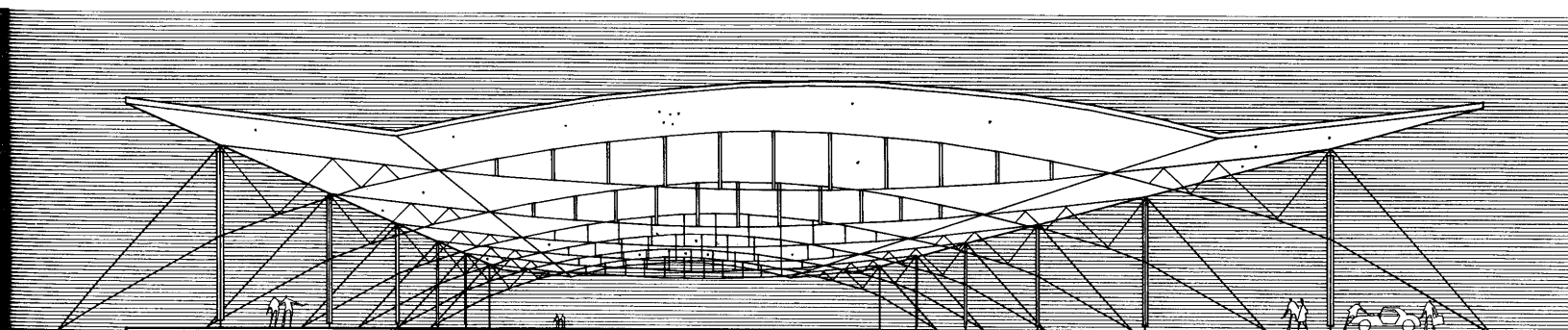
Cable de estabilización sobre cable portante

Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão



Cable de estabilización bajo cable portante

Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão



Cable de estabilización en parte sobre, y en parte bajo, del cable portante

Cabo de estabilização parcialmente acima e parcialmente abaixo do cabo de suspensão

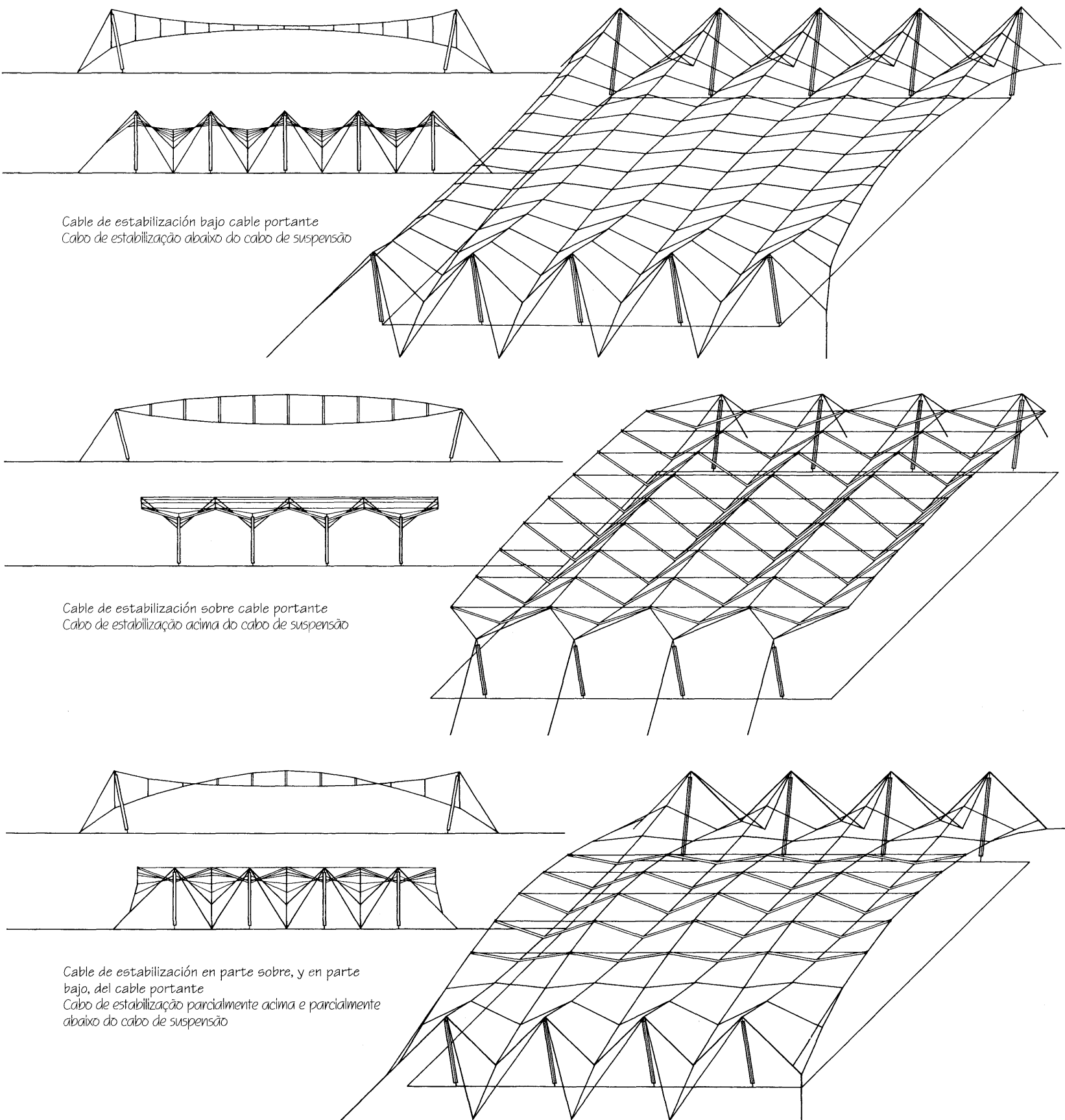
Sistemas paralelos espaciales estabilizados  
mediante cables de curvatura opuesta  
Cable portante y cable de estabilización en diferentes planos

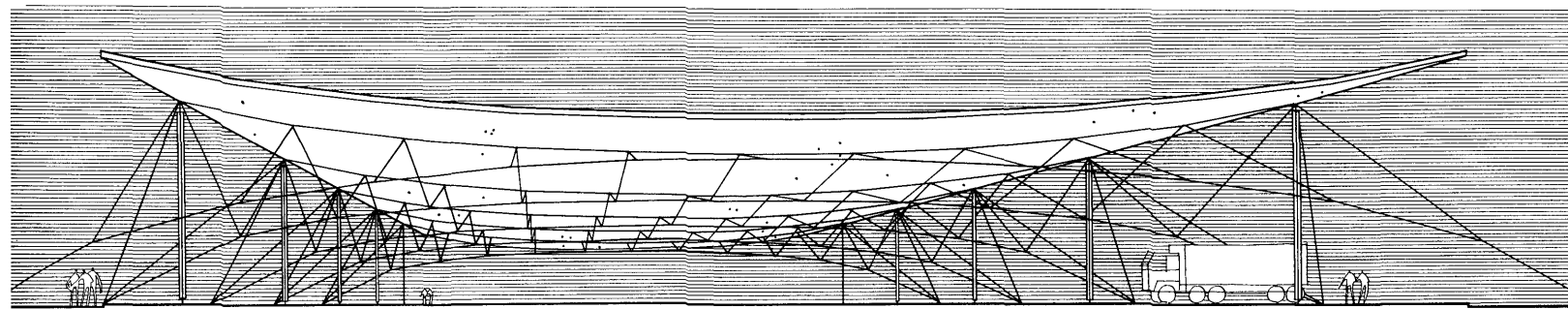
Sistemas paralelos espaciais com estabilização  
através de contracabos  
Cabo de suspensão e de estabilização em planos diferentes

Cable de estabilización bajo cable portante  
Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão

Cable de estabilización sobre cable portante  
Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão

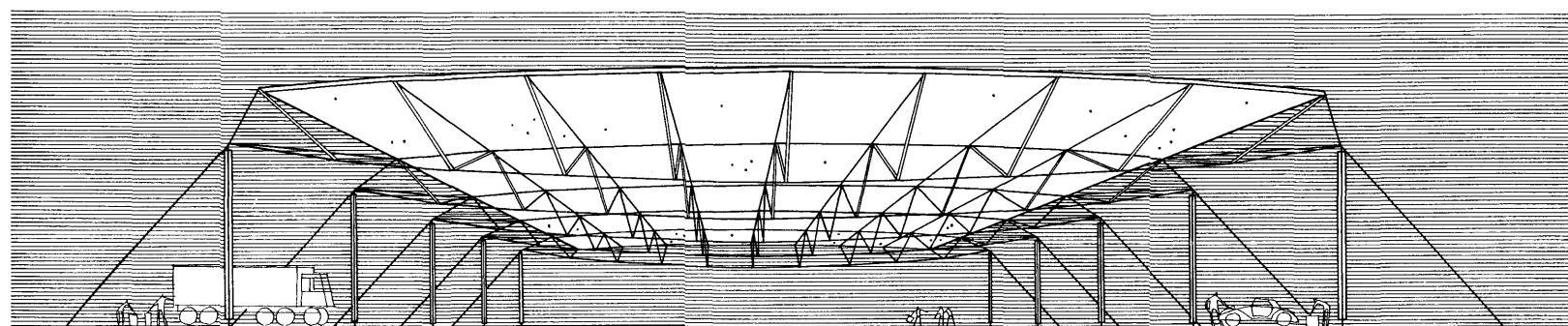
Cable de estabilización en parte sobre, y en parte  
bajo, del cable portante  
Cabo de estabilização parcialmente acima e parcialmente  
abaixo do cabo de suspensão





Cable de estabilización bajo cable portante

Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão

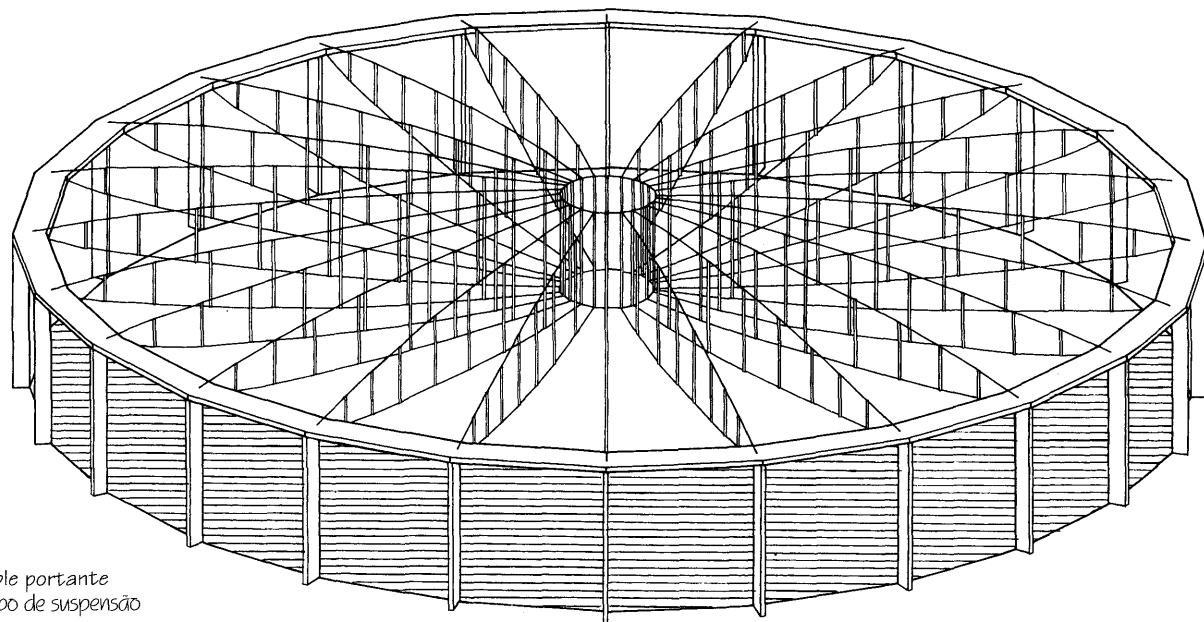


Cable de estabilización sobre cable portante

Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão

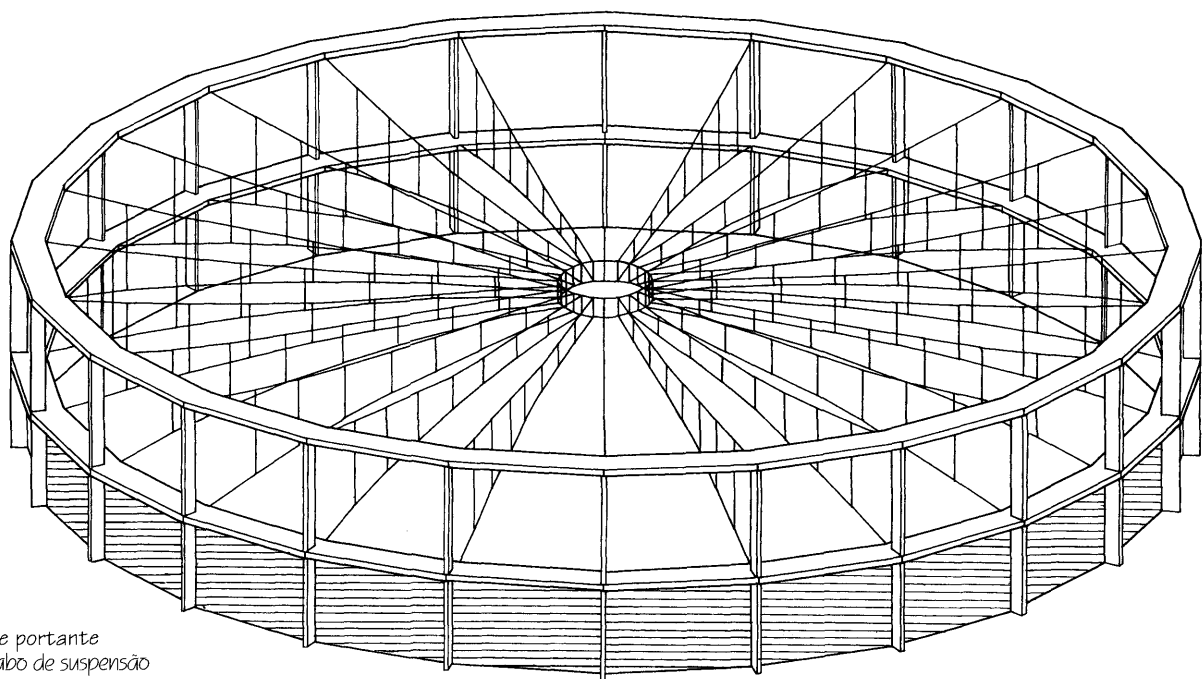
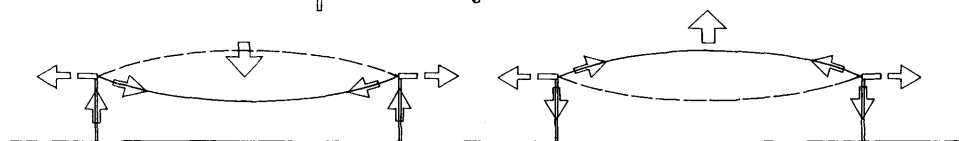
Sistemas de revolución planos con estabilización mediante cables de curvatura opuesta

Sistemas planos de rotação com estabilização através de contracabos



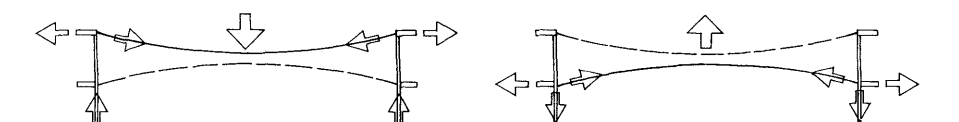
Cable de estabilización sobre cable portante  
Cabo de estabilização acima do cabo de suspensão

Mecanismo portante y de estabilización  
Mecanismo de suspensão e de estabilização



Cable de estabilización bajo cable portante  
Cabo de estabilização abaixo do cabo de suspensão

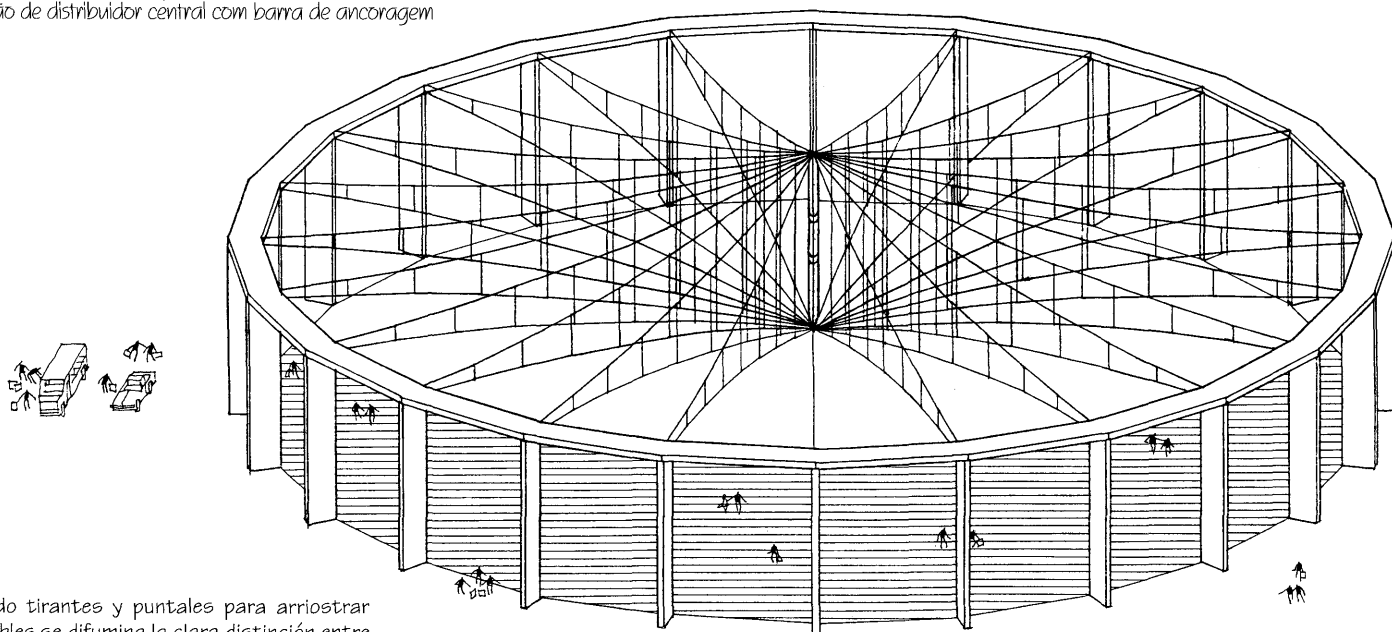
Mecanismo portante y de estabilización  
Mecanismo de suspensão e de estabilização



## Sistemas de revolución con diferentes técnicas de arriostramiento

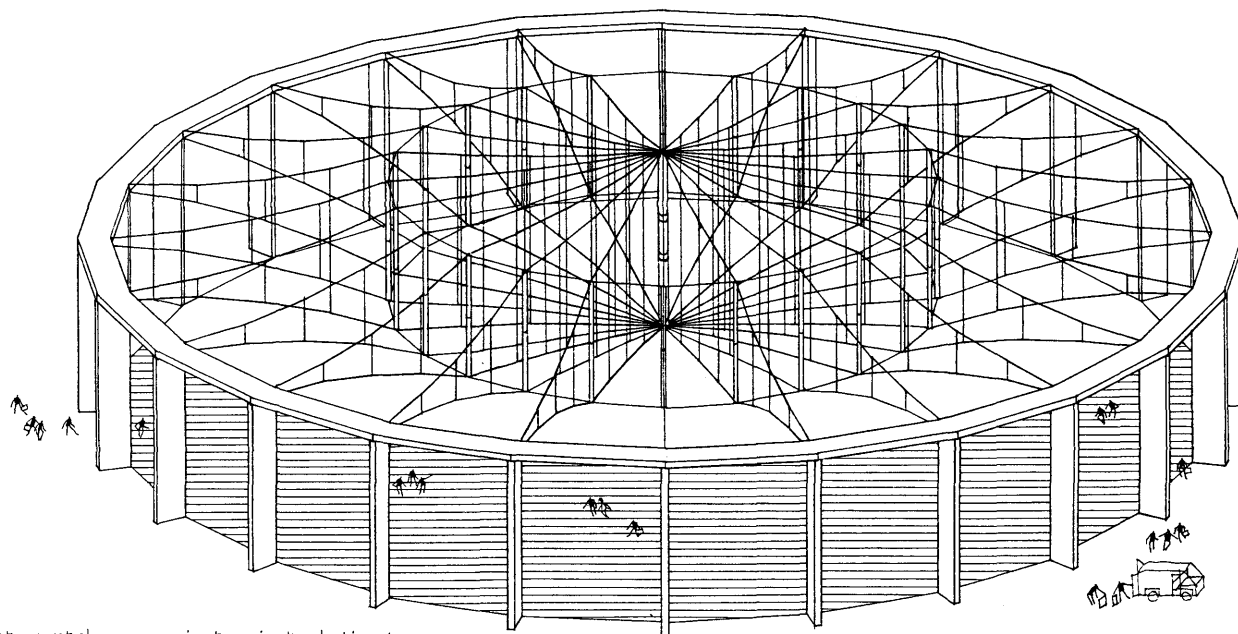
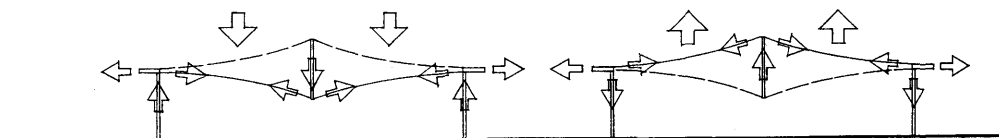
Estabilización combinada mediante puntal y tirantes

Estabilización mediante un puntal central y tirantes de arriostramiento  
Estabilização de distribuidor central com barra de ancoragem

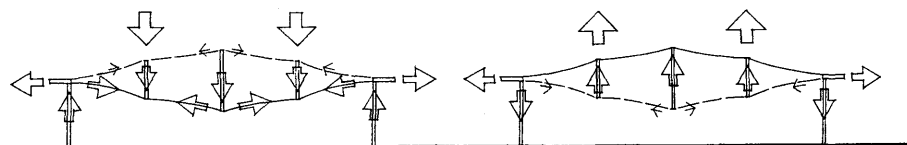


Combinando tirantes y puntales para arriostrar los dos cables se difumina la clara distinción entre cable portante y cable de estabilización. Ambos cables asumirán una función resistente, cualquiera que sea el estado de cargas

Combinando os tirantes de ancoragem com as barras de distribuição, dissolve-se a clara diferença entre cabos de suspensão e de estabilização. Ambos os cabos funcionais serão ativos ao resistir a distintas condições de carga

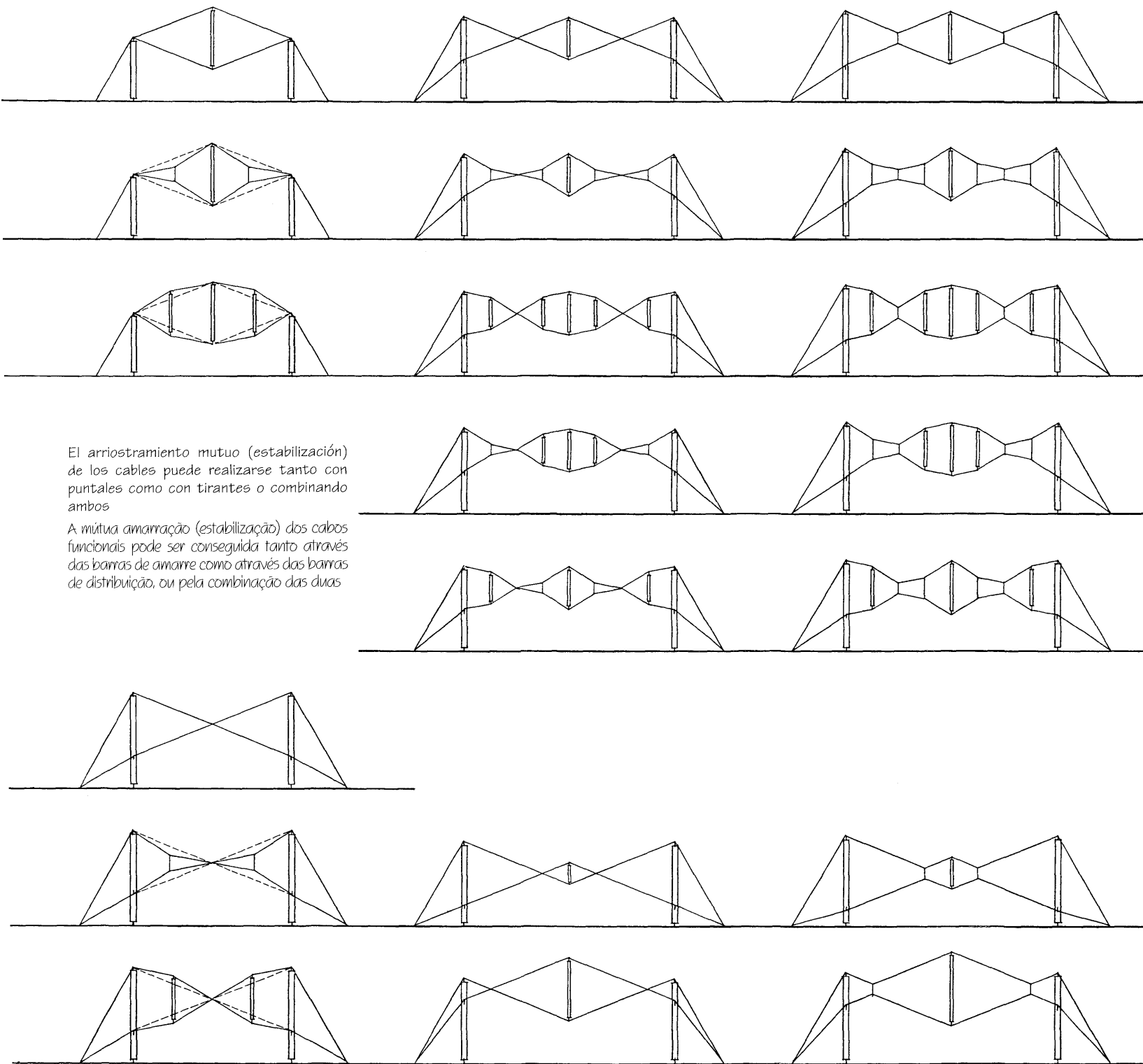


Triple estabilización mediante puntales con arriostramiento de tirantes  
Estabilização de distribuidor triplo com tirantes de ancoragem



Sistemas de arriostramiento para estabilizar los cables  
los cables  
Combinaciones de puntales y tirantes

Sistemas de sujeição para estabilização de cabos funcionais  
Combinações de tirantes de ancoragem  
e barra de distribuição



El arriostramiento mutuo (estabilización) de los cables puede realizarse tanto con puntales como con tirantes o combinando ambos

A mútua amarração (estabilização) dos cabos funcionais pode ser conseguida tanto através das barras de amarre como através das barras de distribuição, ou pela combinação das duas

Utilizando conjuntamente tirantes y puntales para arriostrar los cables se difumina la clara distinción entre cable portante y cable de estabilización. Ambos cables asumen una función resistente cualquiera que sea el estado de cargas

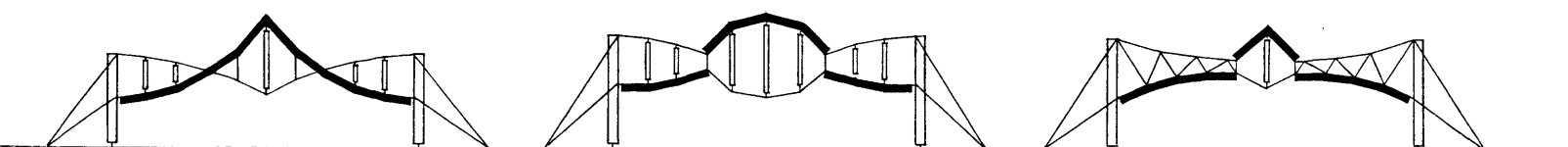
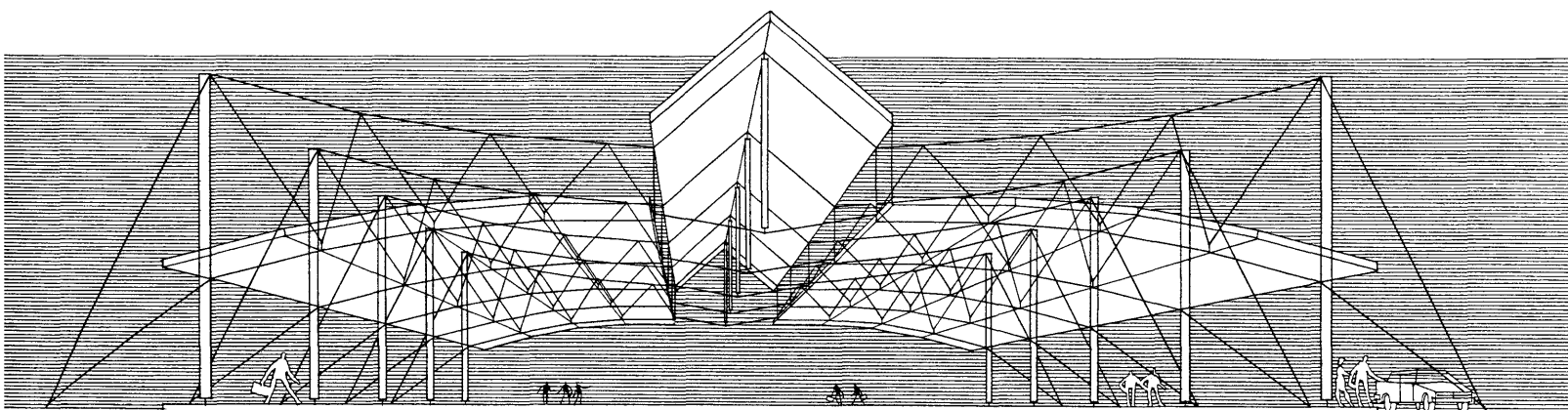
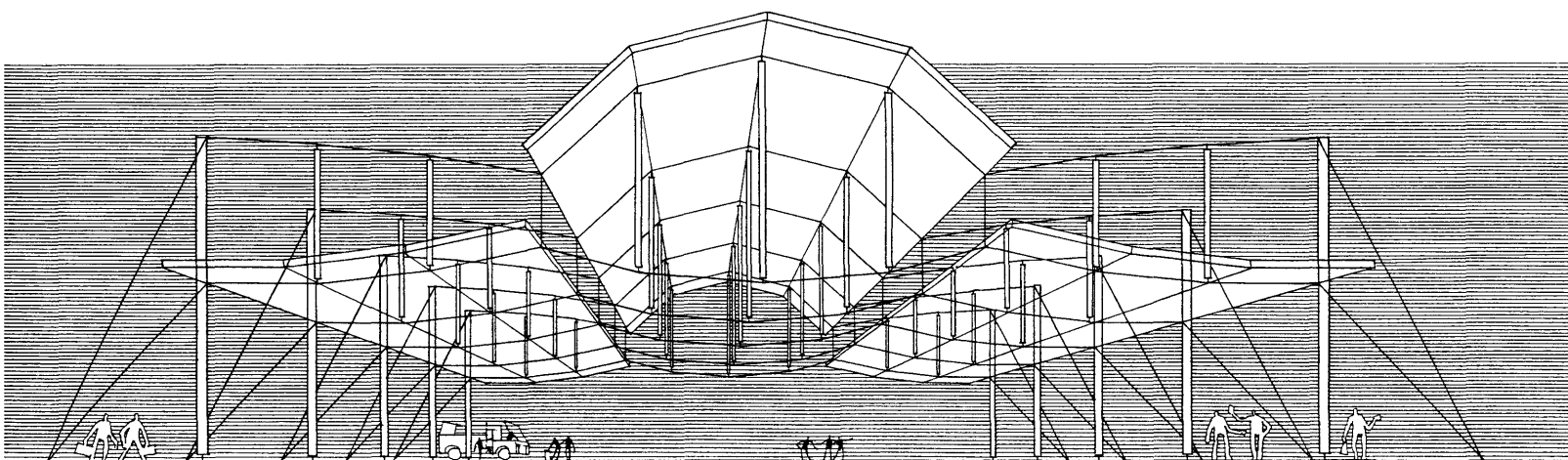
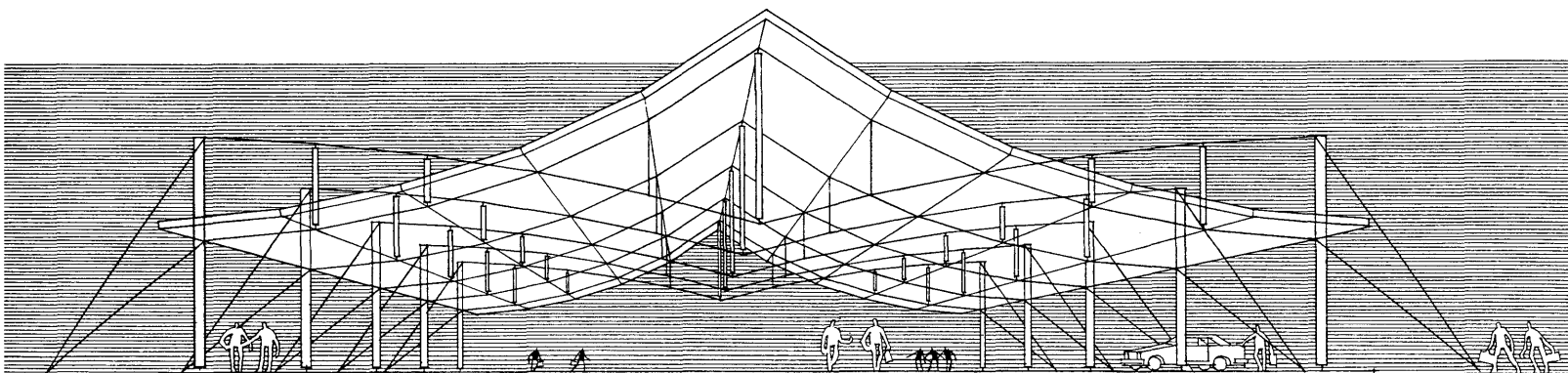
Através da aplicação mútua das barras de amarre e das barras de distribuição para a estabilização dos cabos funcionais desaparece a distinção de separação do cabo de suspensão e do cabo de estabilização. Ambos os cabos funcionais são tensionados com qualquer condição de carga

### Sistemas paralelos con diferentes técnicas de arriostramiento

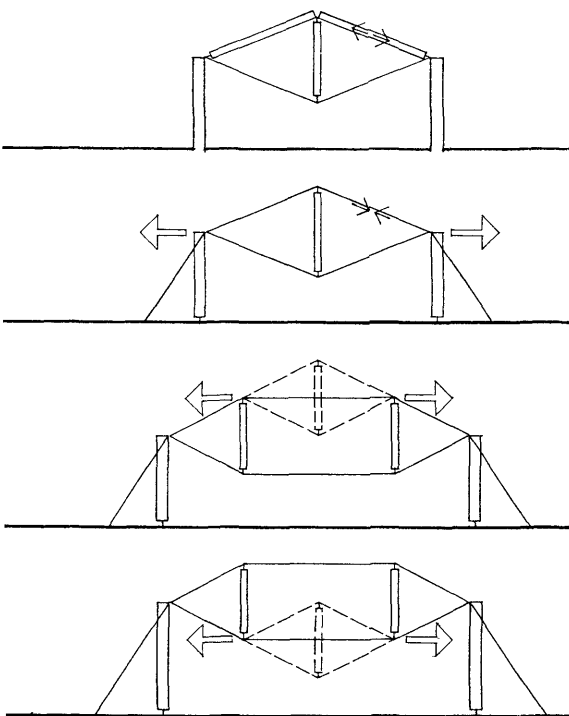
Estabilización combinada mediante puntal y tirantes

### Sistemas paralelos com técnicas alternativas de estabilização

Combinação de barra de distribuição com tirante de ancoragem

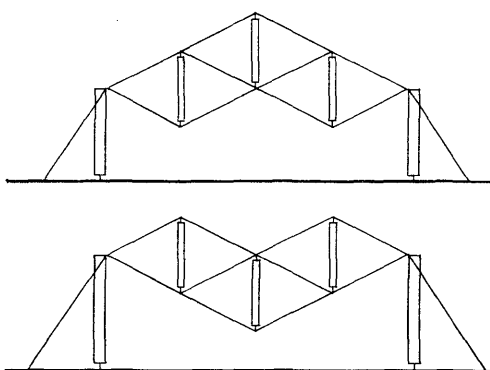


Desarrollo de las celosías de cables a partir de las celosías romboidales



Formas típicas

Formas típicas



Derivação de treliças em losango em cabo de treliça

Aplicando fuerzas horizontales opuestas (por ejemplo, mediante cables de arriostamiento) los cordones superiores, en vez de estar sometidos a compresiones, están traccionados. Por lo tanto, pueden realizarse con cables: CELOSÍAS DE CABLES.

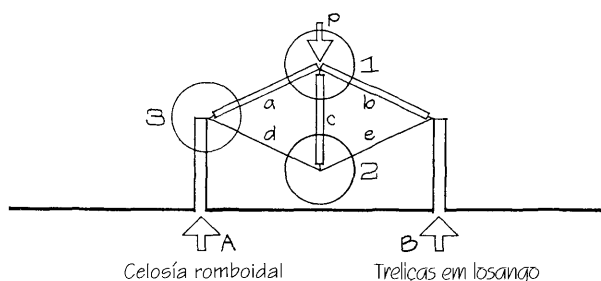
La estructura portante descansa en la combinación entre la absorción de las diferentes cargas puntuales que se transmiten escalonadamente a los puntos de apoyo. Los cordones superiores no participan en este proceso, sólo sirven para arriostar y atirantar.

Aplicando-se duas forças horizontais opostas (assim como cabos de retensão) as cordas da parte de cima não estão mais sujeitas aos esforços de compressão, mas sim de tensão. Portanto elas podem ser consideradas cabos: CABOS DE TRELIÇA.

O sistema de estrutura apoia-se na interligação da suspensão de carga individual que, passo a passo, transmite as cargas aos suportes finais. As cordas de topo não participam desta ação, servindo somente para tensionar e estabilizar a estrutura.

Comparación entre los diagramas de tensiones

de las celosías romboidales y las celosías de cables

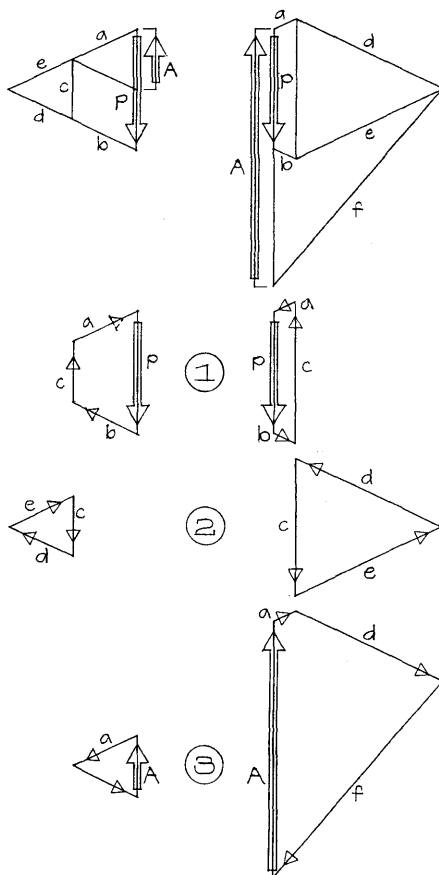


Celosía romboidal

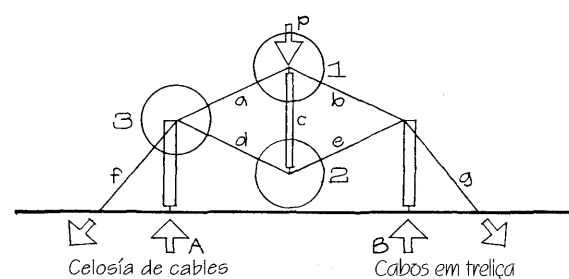
Treliças em losango

Si el ángulo de inclinación de los cordones superiores  $a/b$  y los cordones inferiores  $c/d$  es el mismo, la carga  $P$  es absorbida al 50% por cada uno de los cordones. Pero, incluso, si la inclinación es diferente, los esfuerzos en los nudos siguen siendo relativamente reducidos.

Com a mesma inclinação das cordas de topo  $a/b$  e as cordas superiores  $c/d$ , a carga  $P$  será recebida equilibradamente pelas cordas. Mas com diferentes inclinações das cordas, as tensões nos nós da treliça serão relativamente menores.



Comparação de distribuição de esforços de treliça em losango e cabo entrelaçado



Celosía de cables

Cabo em treliça

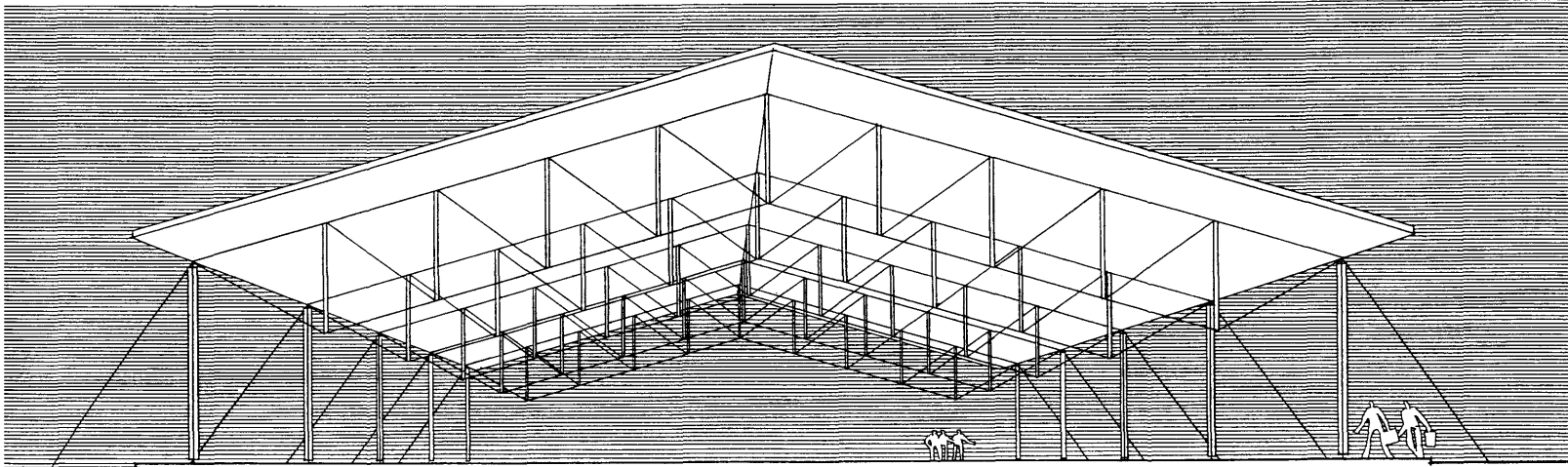
En el caso de las celosías de cables y para una misma carga  $P$ , se originan unas tensiones mucho más elevadas en los nudos que en el caso de las celosías romboidales, incluso si los cordones superiores  $a/b$  (cables de estabilización) están sometidos a una tracción reducida.

Mesmo com somente uma leve tensão nas cordas superiores  $a/b$  (cabos de estabilização) baixo a mesma carga de topo  $P$ , os nós do cabo entrelaçado estarão sujeitos a uma tensão essencialmente mais alta que a dos nós de treliças em losango.



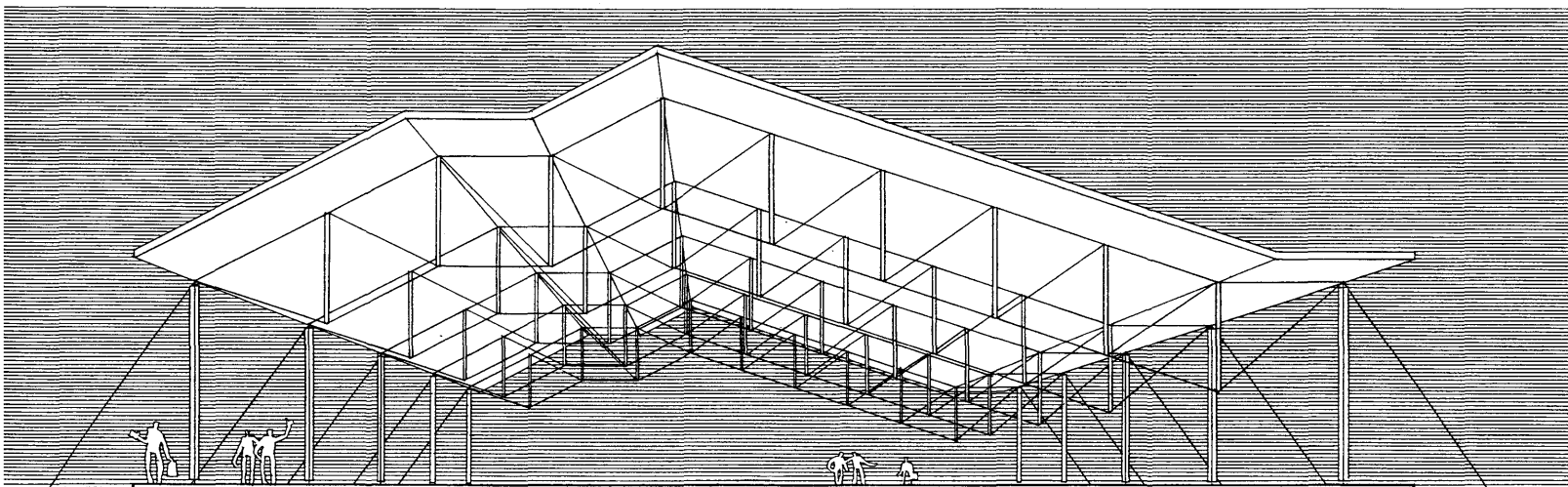
Sistemas de celosías planas de cables en paralelo

Sistemas de cabo em treliça plana com vão paralelo



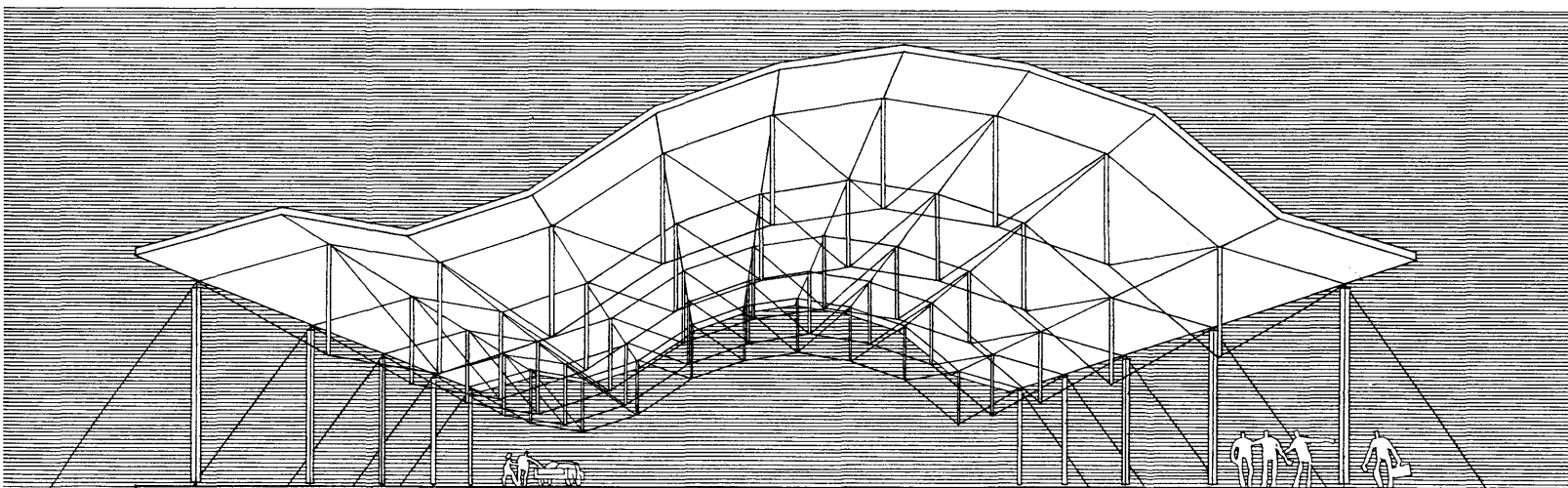
Cubierta a dos aguas continua

Cobertura de duas águas em forma de linha reta



Cubierta a dos agua asimétrica

Forma de cobertura de duas águas com ruptura em linha assimétrica

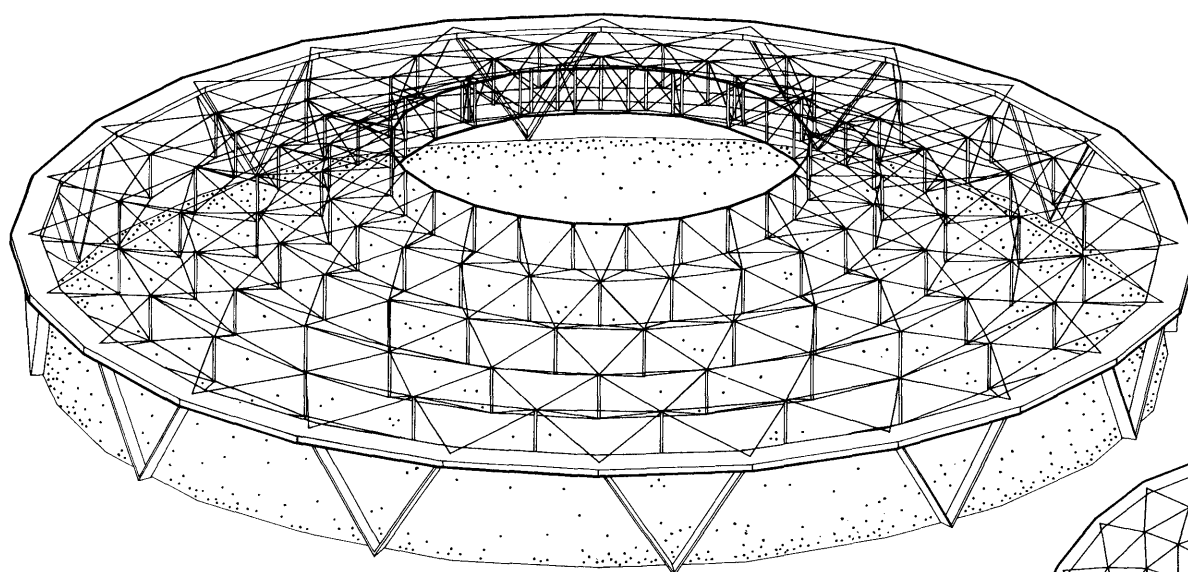


Cubierta de forma poligonal libre

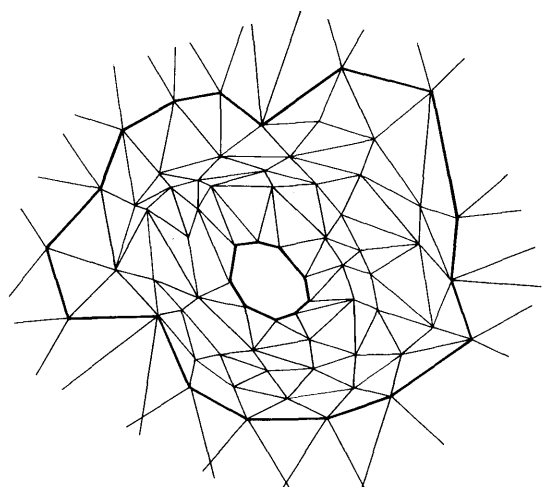
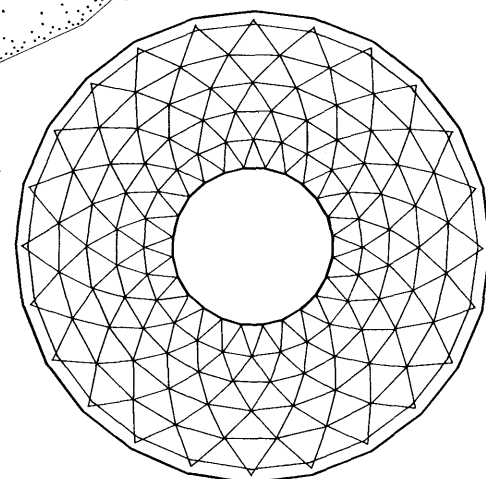
Desenho poligonal em forma livre alargada

Sistemas radiales de celosías de cables  
con una elevación central

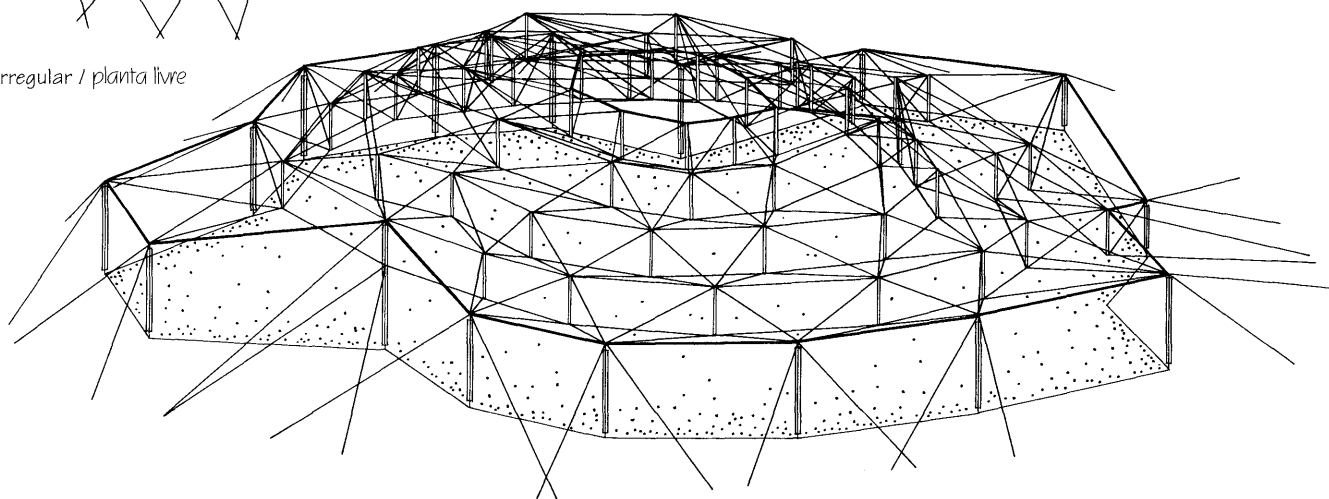
Sistemas de cabos em treliças radiais com elevação  
em direção ao centro



planta de forma circular / planta circular

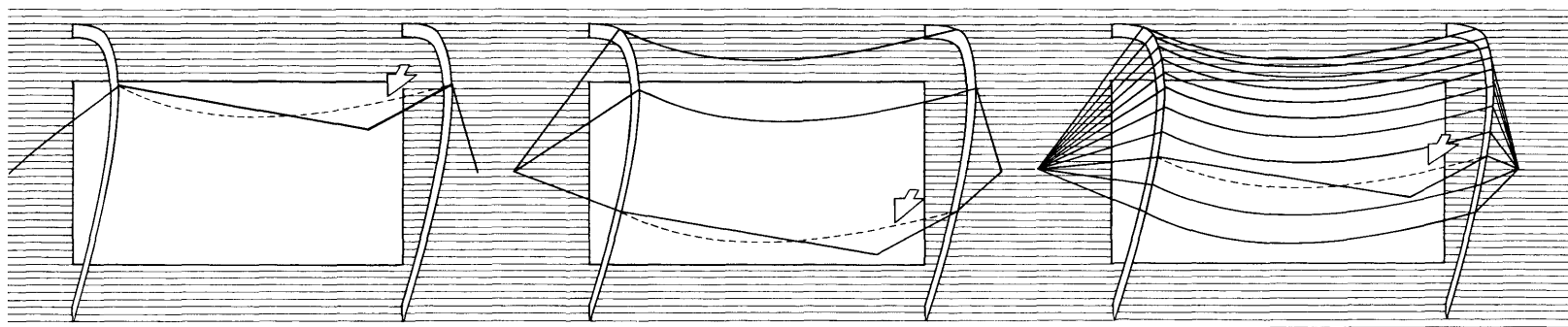


planta irregular / planta livre



### Sistemas pretensados con cables de estabilización transversales

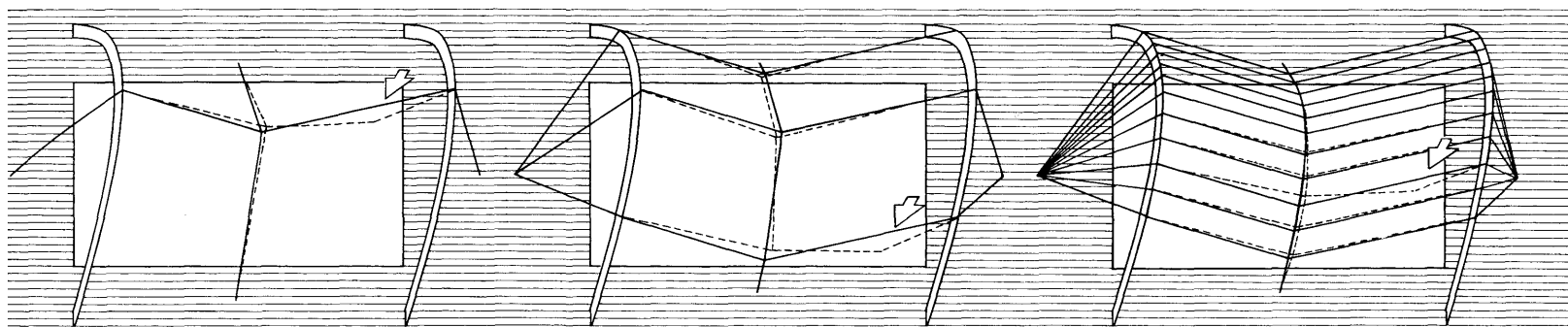
Evolución desde el cable simplemente suspendido hasta la malla de cables de curvatura en dos sentidos



las cargas puntuales originan grandes deformaciones que sólo afectan al cable en el que actúa dicha carga

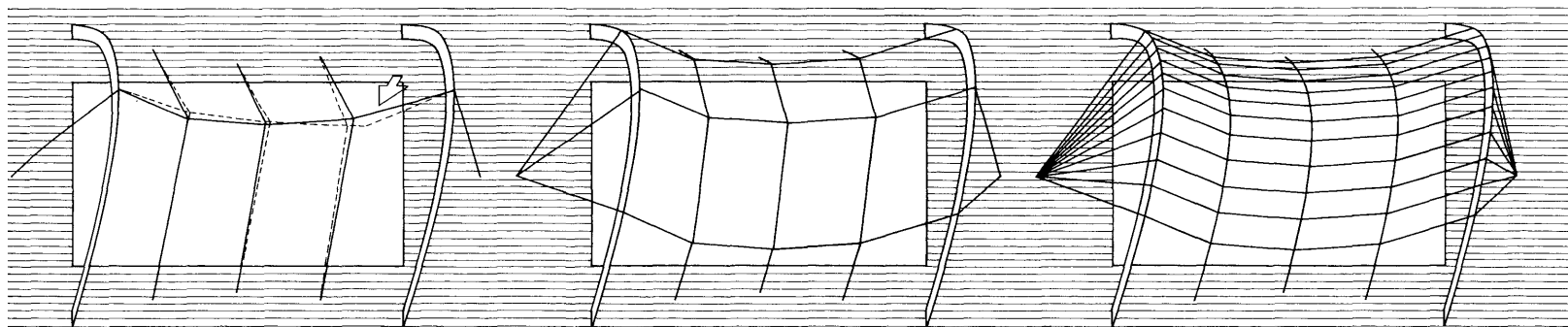
### Sistemas protendidos com cabos de estabilização transversal

Desenvolvimento de um cabo simples de suspensão até uma rede de cabos com curvatura oposta



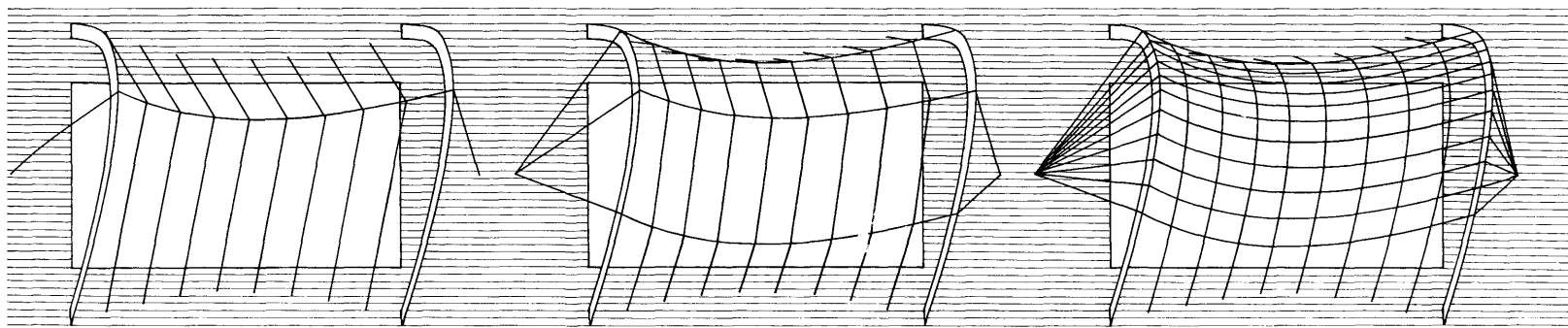
el cable de estabilización transversal tensa el cable portante y evita una mayor deformación

o cabo de estabilização transversal tensiona o cabo de suspensão e resiste à deformação



al aumentar el número de cables de estabilización se aumenta la resistencia frente a las cargas puntuales

o aumento dos cabos de estabilização reforça a resistência contra as cargas pontuais

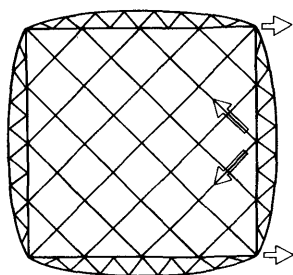


todos los cables participan en el mecanismo de resistencia frente a las deformaciones

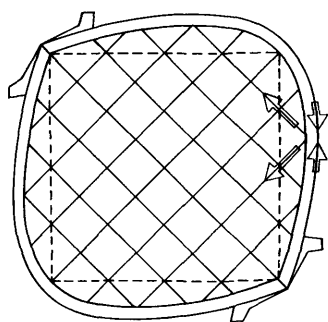
todos os cabos participam do mecanismo de resistência à deformação por carga concentrada

Diferentes soluciones para resolver el perímetro de mallas de cables con curvatura en dos direcciones a partir de una planta de forma cuadrada

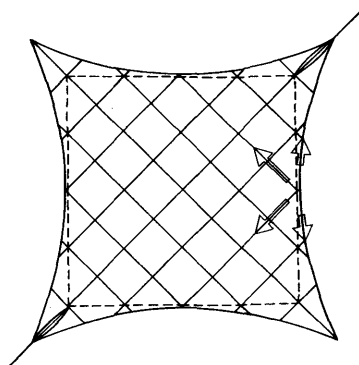
Sistemas de desenho perimetral para redes de cabos com curvaturas opostas derivação de planta de forma quadrada



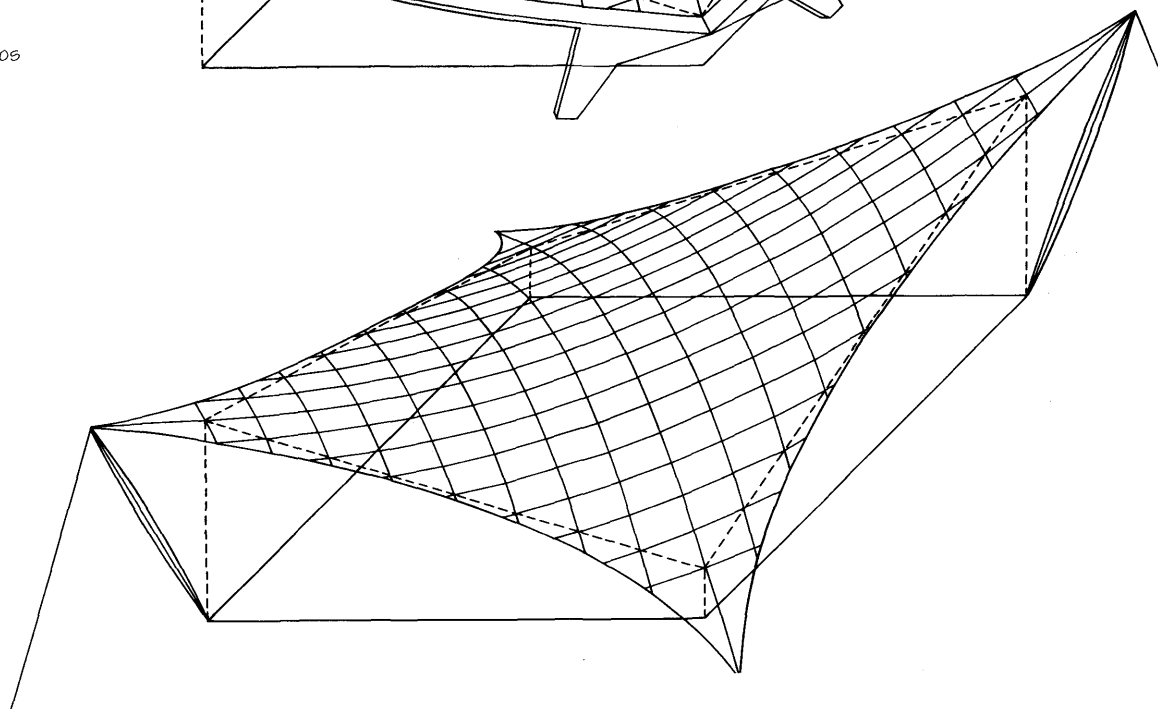
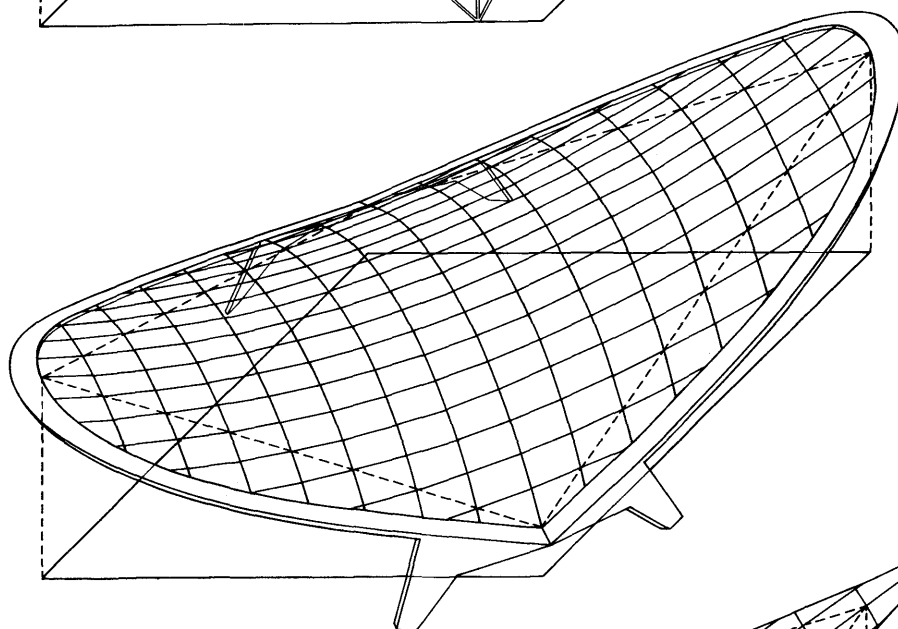
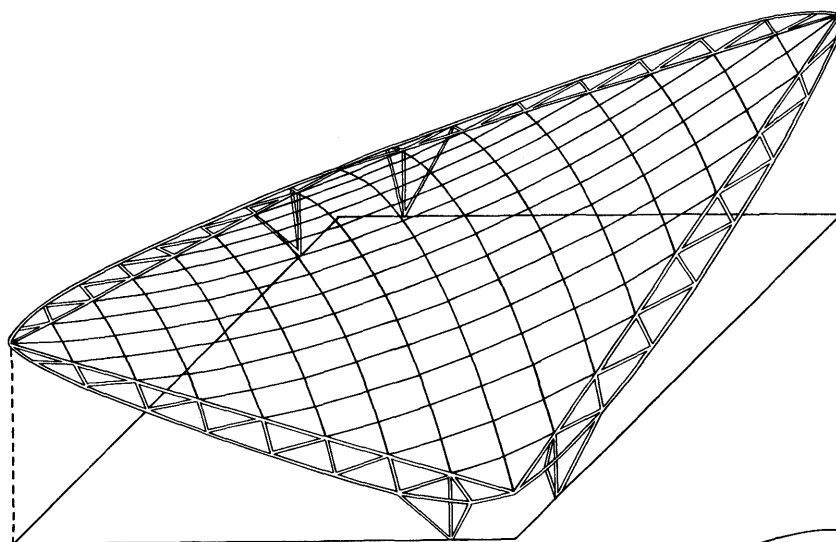
Celosías inclinadas apoyadas sobre pilares  
Trelças inclinadas apoiadas em suportes



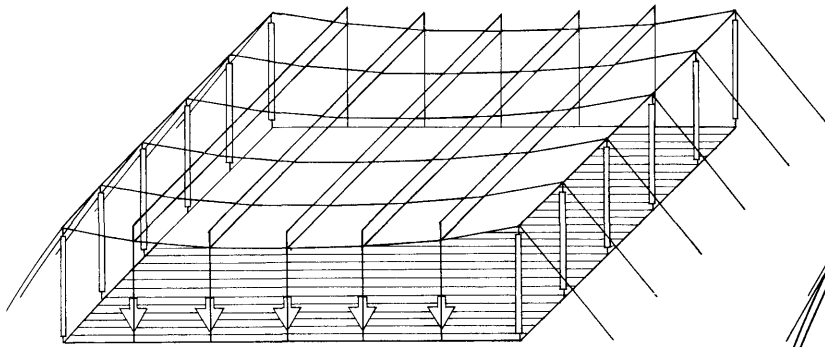
Arcos inclinados apoyados sobre pórticos  
Arcos inclinados apoiados em pórticos



Cables perimetrales entre puntales  
Cabos de borda entre pilotis



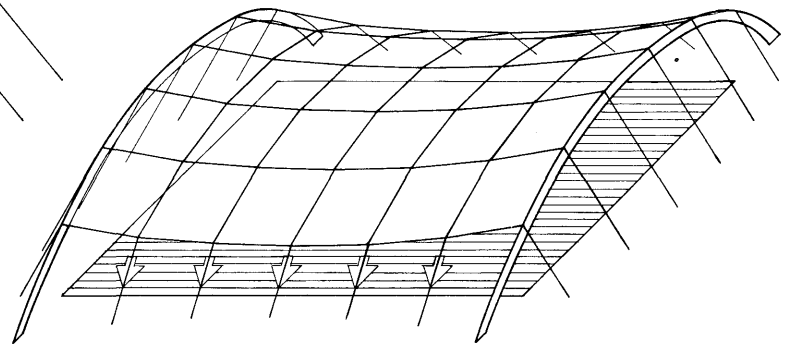
## Sistemas pretensados con estabilización transversal



Estabilización mediante vigas transversales resistentes a flexión y ancladas al suelo

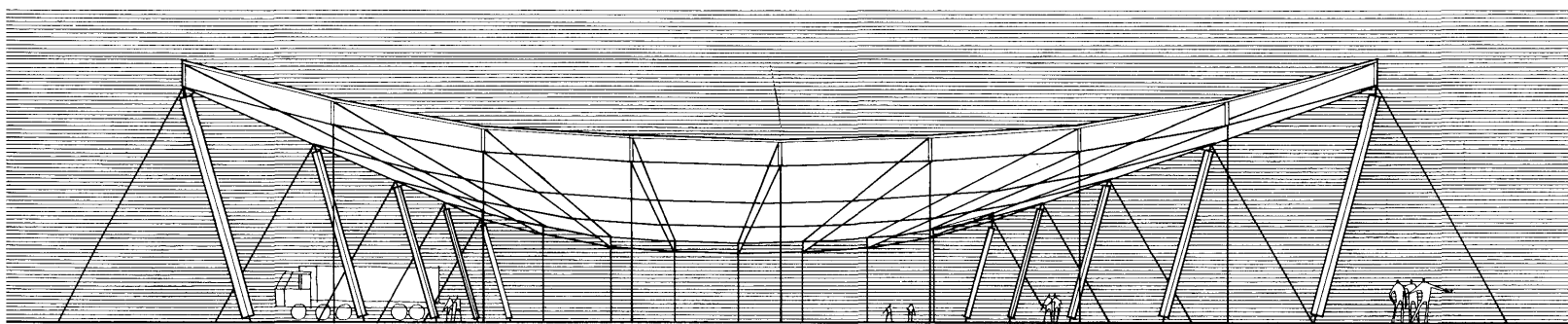
Estabilização por meio de vigas transversais fixas na base

## Sistemas protendidos com estabilização transversal



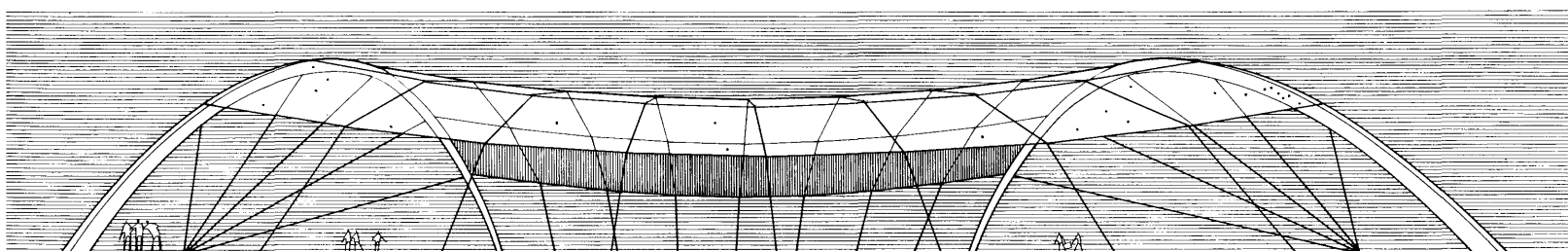
Estabilización mediante cables anclados al suelo con curvatura en dos direcciones

Estabilização por meio de cabos transversais com curvaturas opostas



Sistema con vigas de estabilización transversales

Sistema com vigas transversais de estabilização

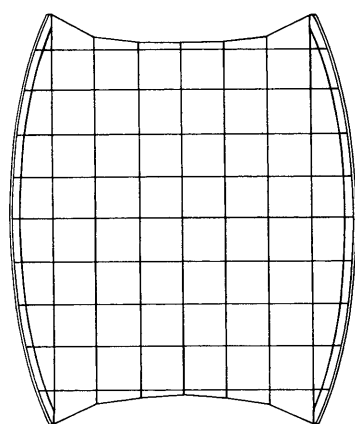
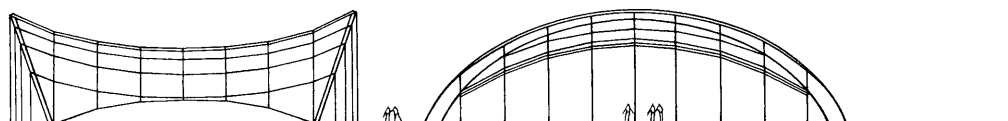


Sistema con cables de estabilización transversales

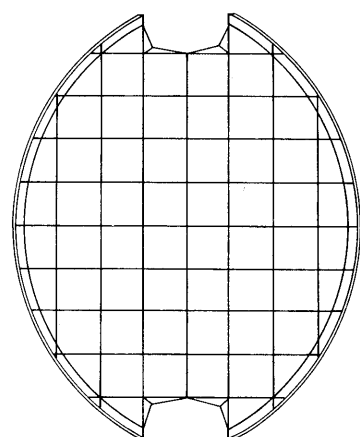
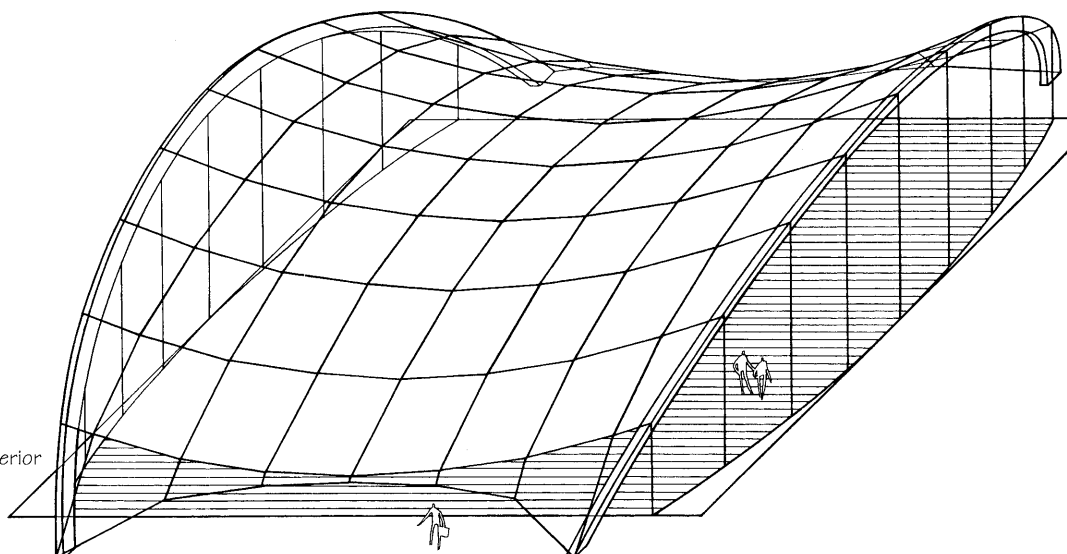
Sistema com cabos transversais de estabilização

Sistemas de arcos de apoyo para mallas  
de cables de curvatura en dos direcciones

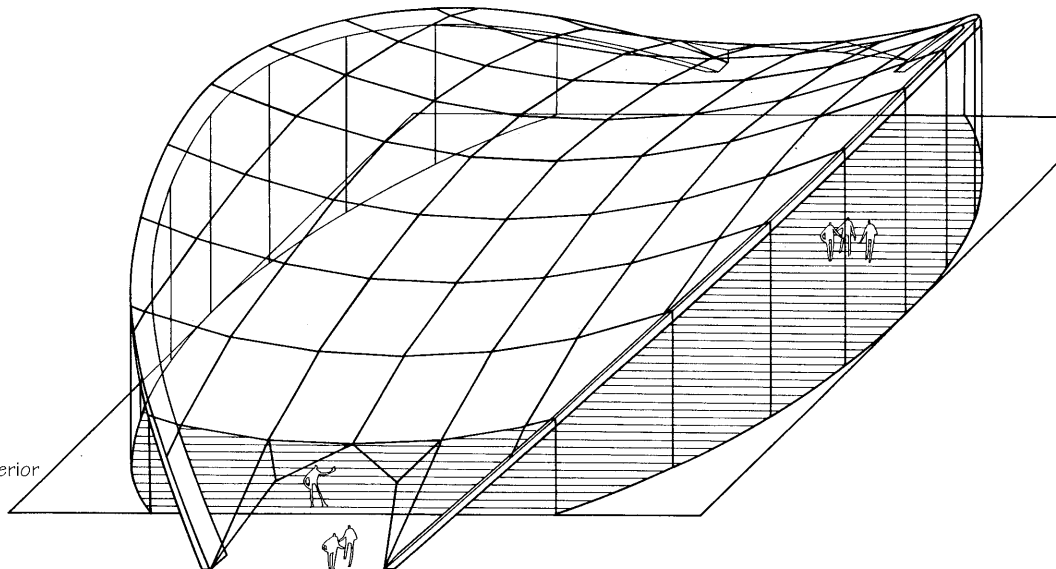
Sistemas de arcos para redes de cabos  
com curvaturas opostas



Arcos de apoyo ligeramente inclinados hacia el exterior  
Arcos levemente inclinados para fora



Base de los arcos de apoyo desplazada hacia el interior  
Pontos de apoio dos arcos virados para dentro

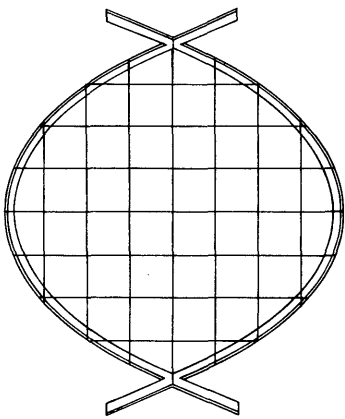
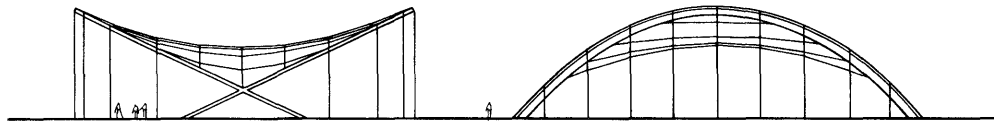


Sistemas de arcos de apoyo para mallas de cables de curvatura en dos direcciones

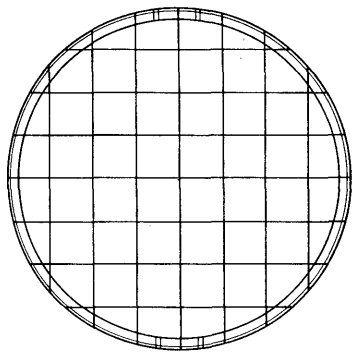
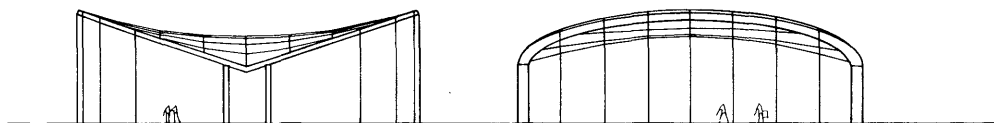
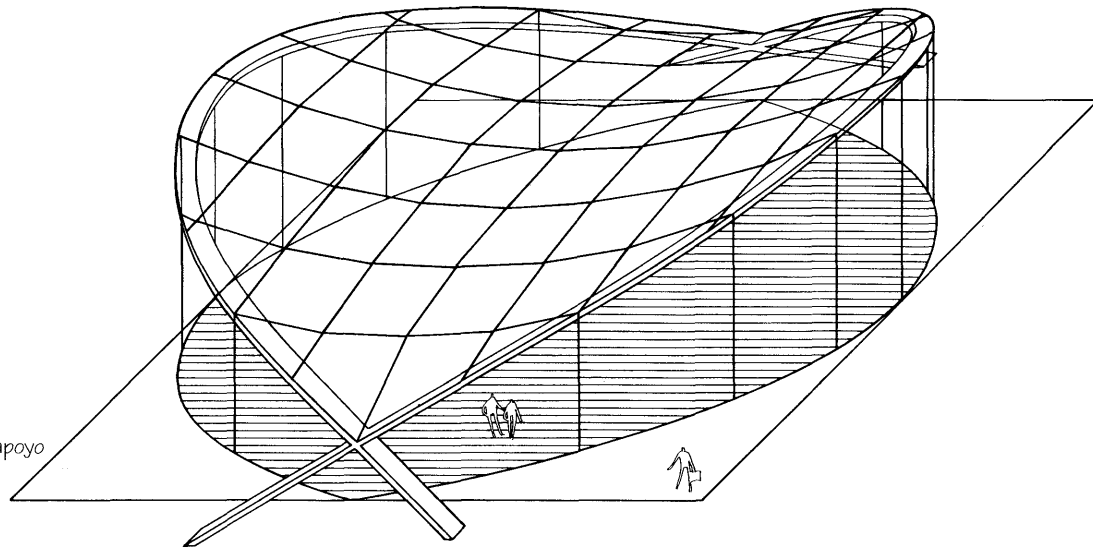
Transición del arco de apoyo a viga anular

Sistemas de arcos para redes de cables com curvatura oposta

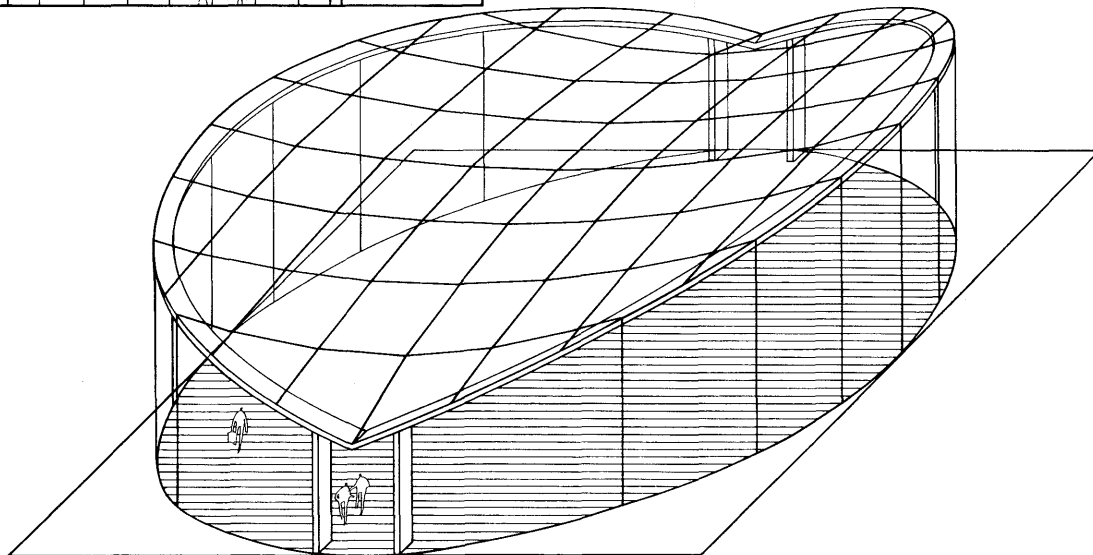
Transição do arco para o apoio anular



Arcos inclinados y cruzados sobre los puntos de apoyo  
Arcos inclinados que se cruzam sobre as suas bases

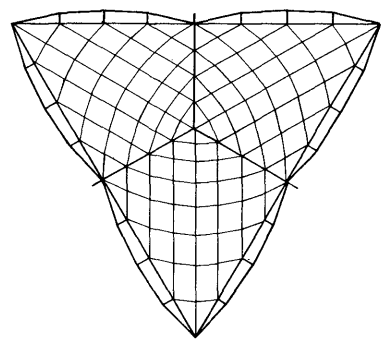
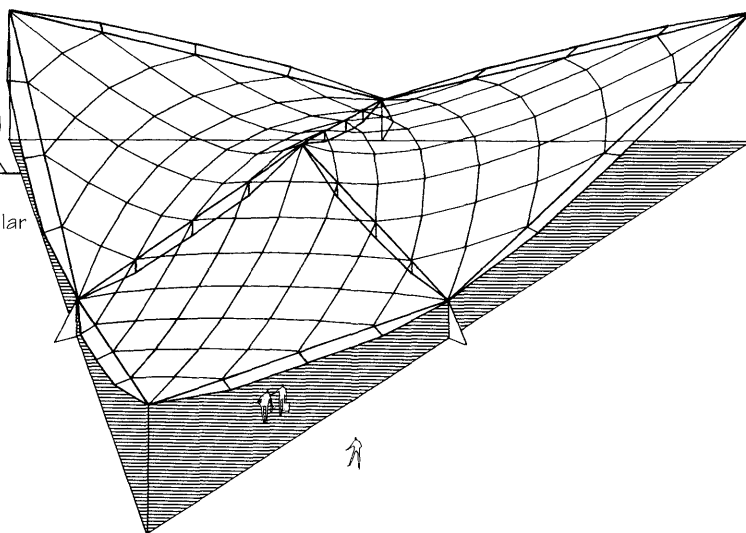


Viga anular inclinada apoyada sobre pilares  
Apoio anular dobrado sobre suportes extremos

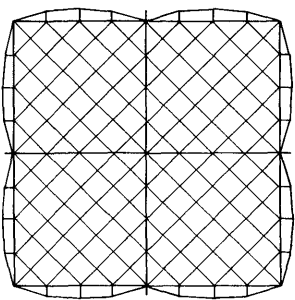
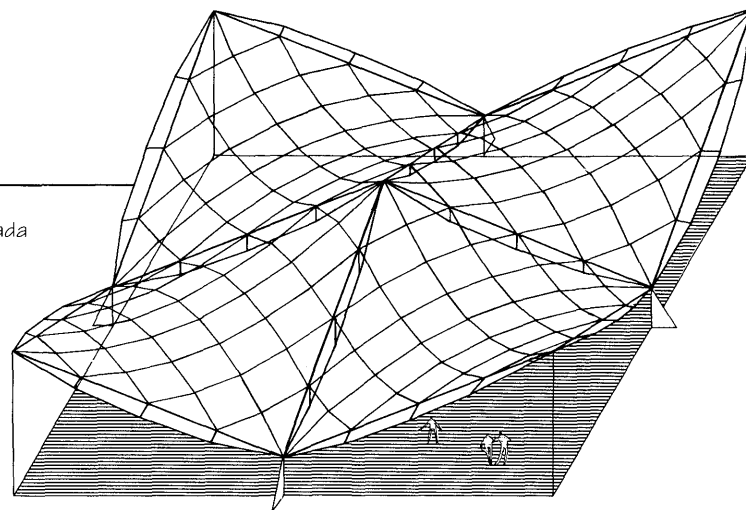
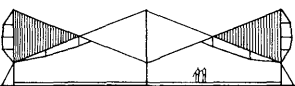


Combinación de mallas de cables con curvatura en dos direcciones con perímetro recto

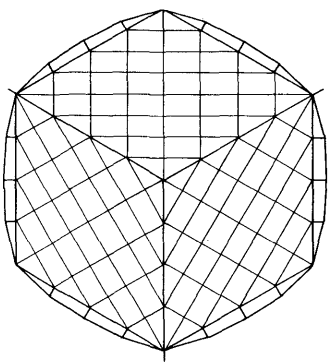
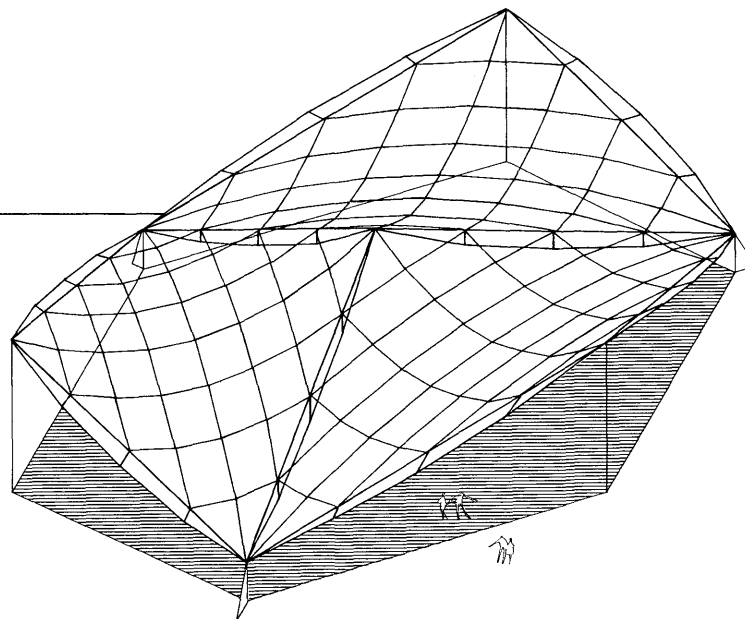
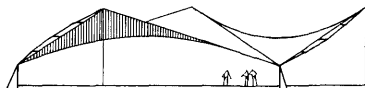
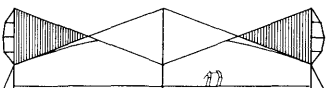
Combinação de redes de cabos de curva reversa com bordas retas



Tres unidades sobre una planta triangular  
Três unidades sobre planta triangular



Cuatro unidades sobre una planta cuadrada  
Quatro unidades sobre planta quadrada

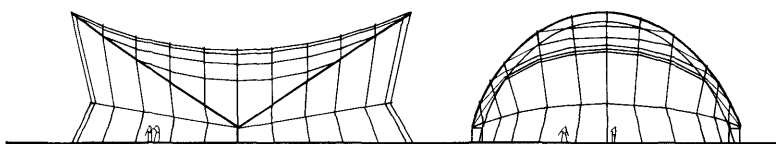


Tres unidades sobre una planta hexagonal  
Três unidades sobre planta hexagonal

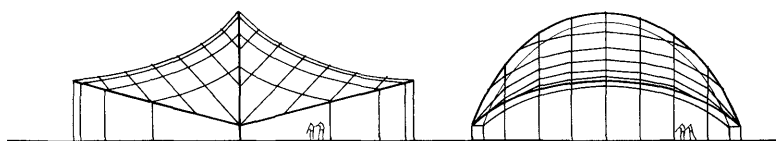
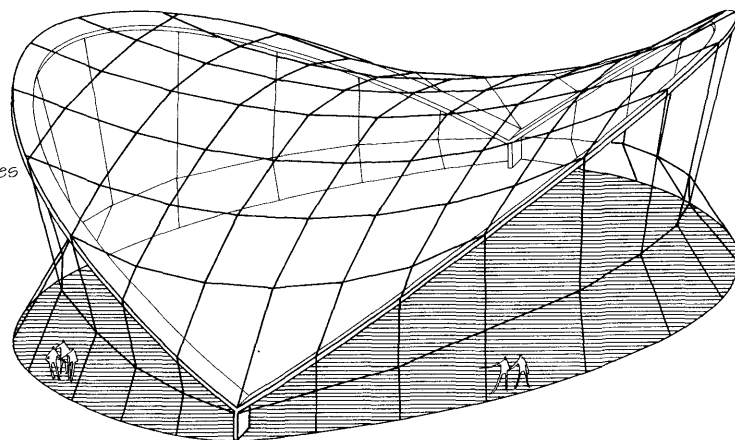
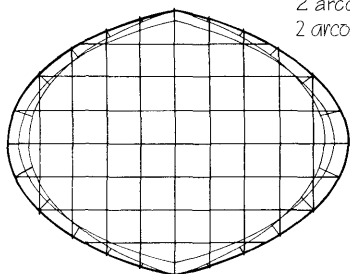


Combinación de mallas de cables con curvatura  
en dos direcciones y arcos perimetrales

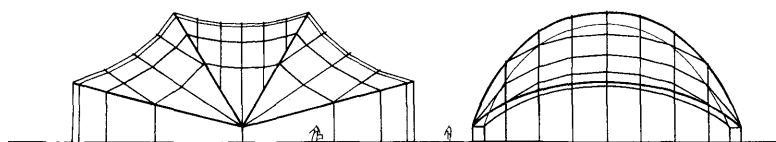
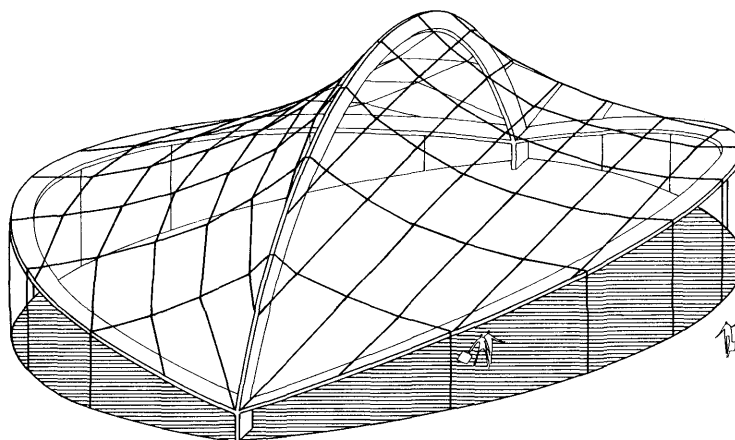
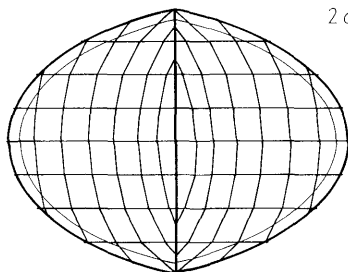
Combinação de redes de cabos de curva reversa  
com arcos de borda



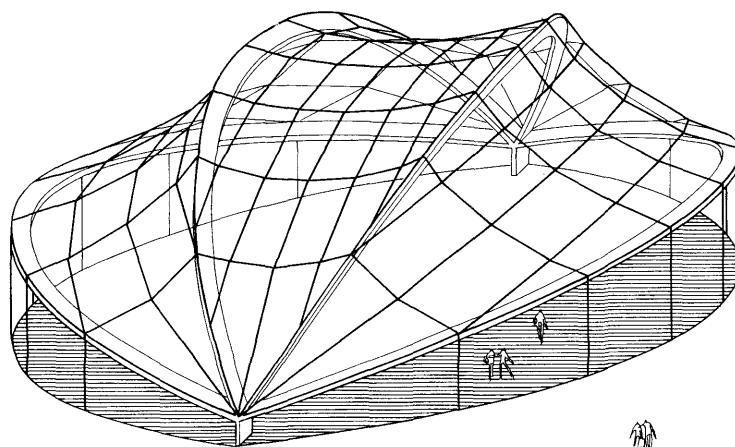
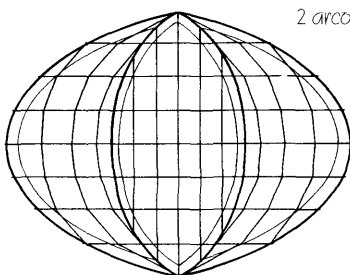
2 arcos perimetrales con puntos de apoyo comunes  
2 arcos de borda com apoios comuns



2 arcos perimetrales con arco central  
2 arcos de borda com um arco central

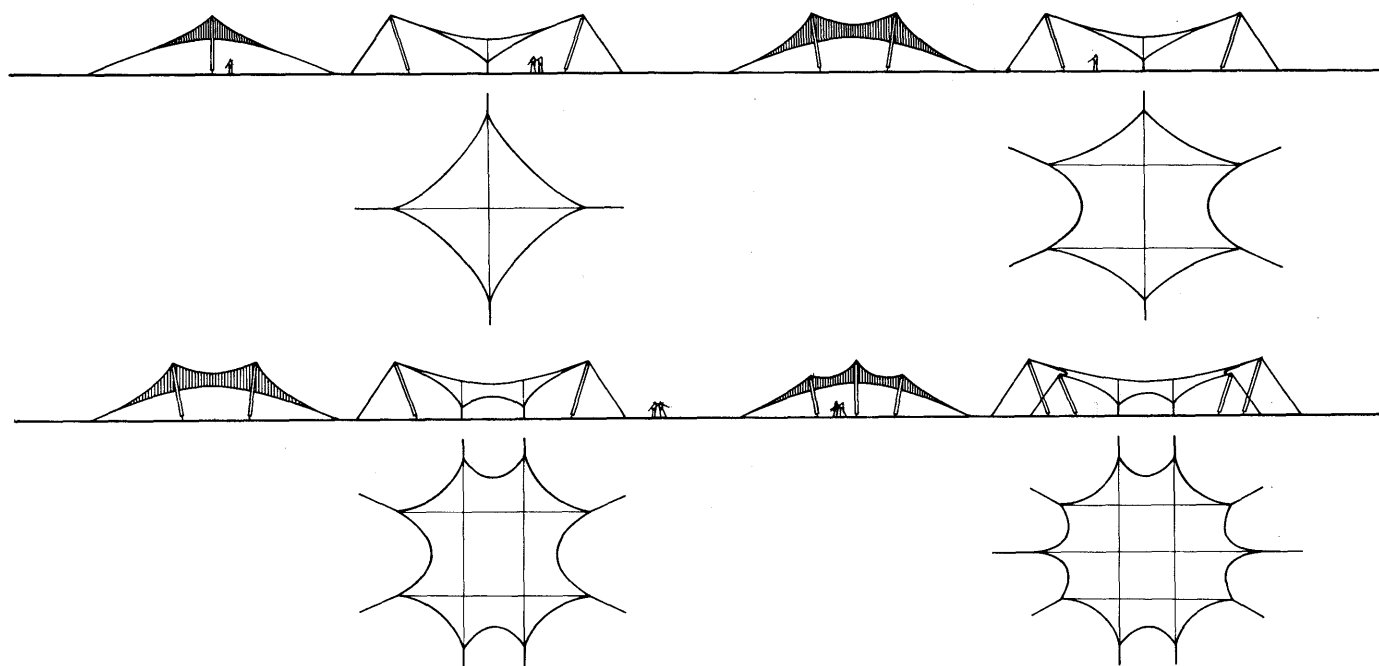


2 arcos perimetrales con dos arcos intermedios  
2 arcos de borda com dois arcos intermediários



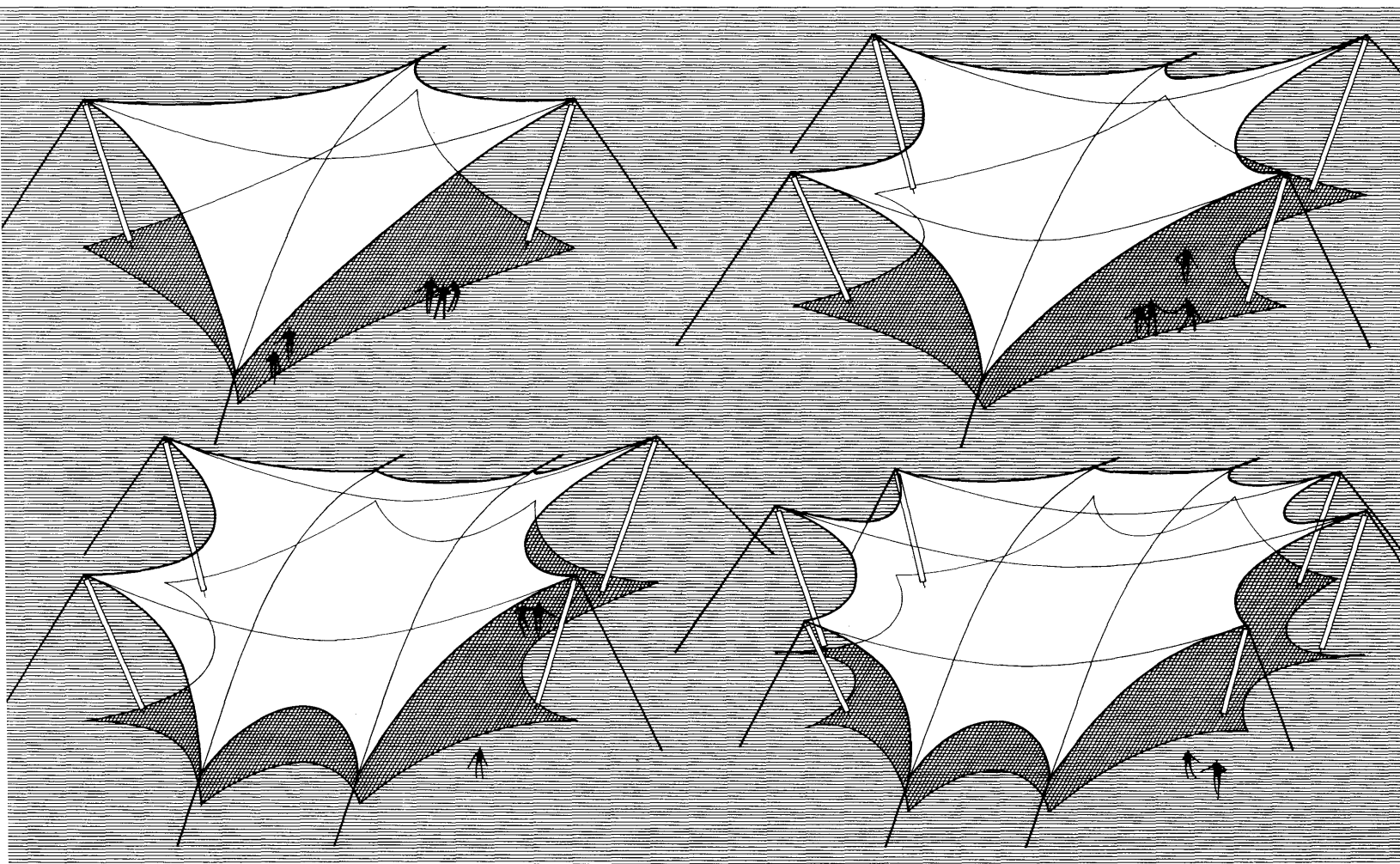
Sistemas en forma de tienda con soportes exteriores  
mediante barras a compresión

Sistemas con superficies sencillas a dos aguas



Sistemas de tenda com apoio externo por meio  
de barras de compressão

Sistemas com superfícies em forma de sela simples

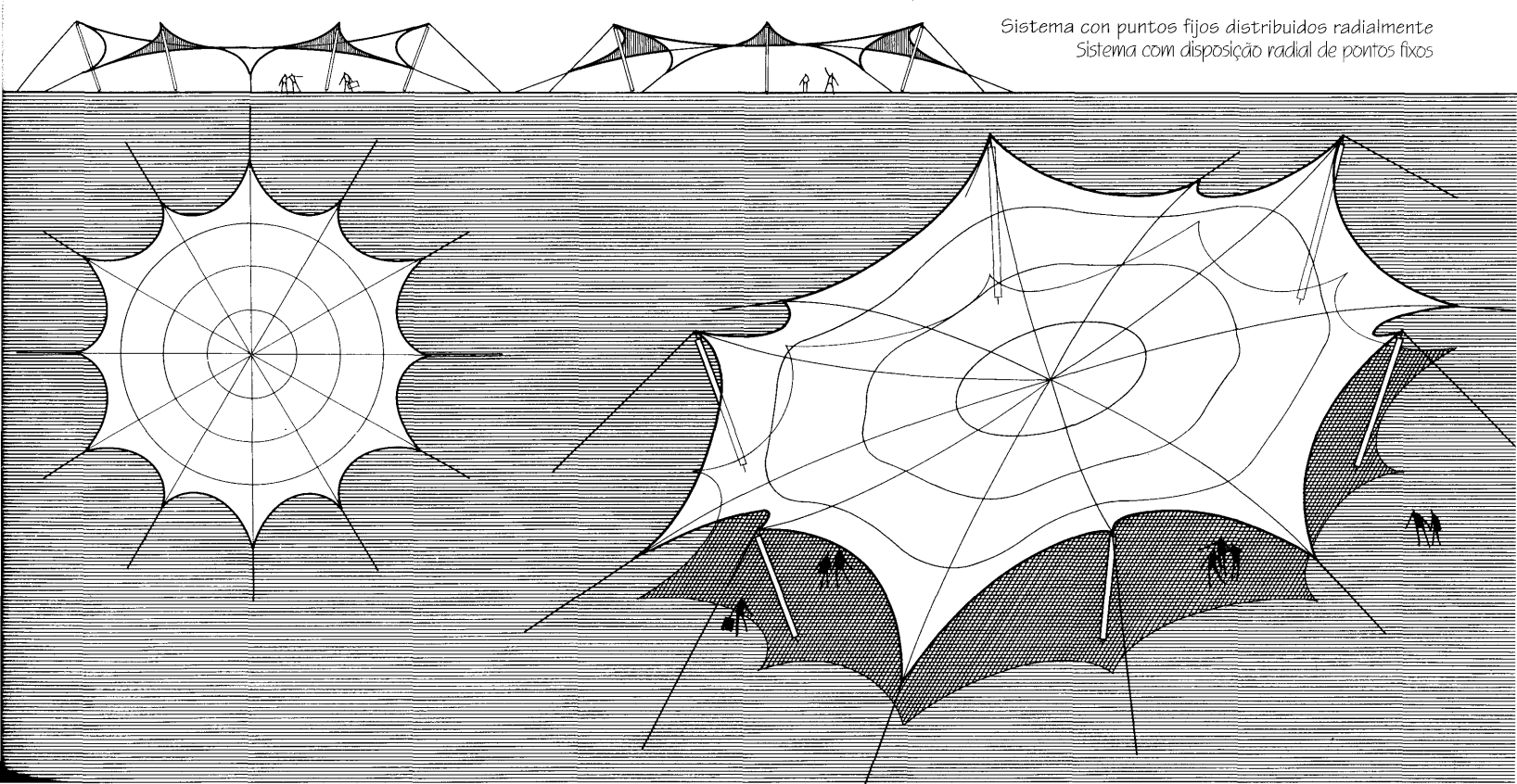
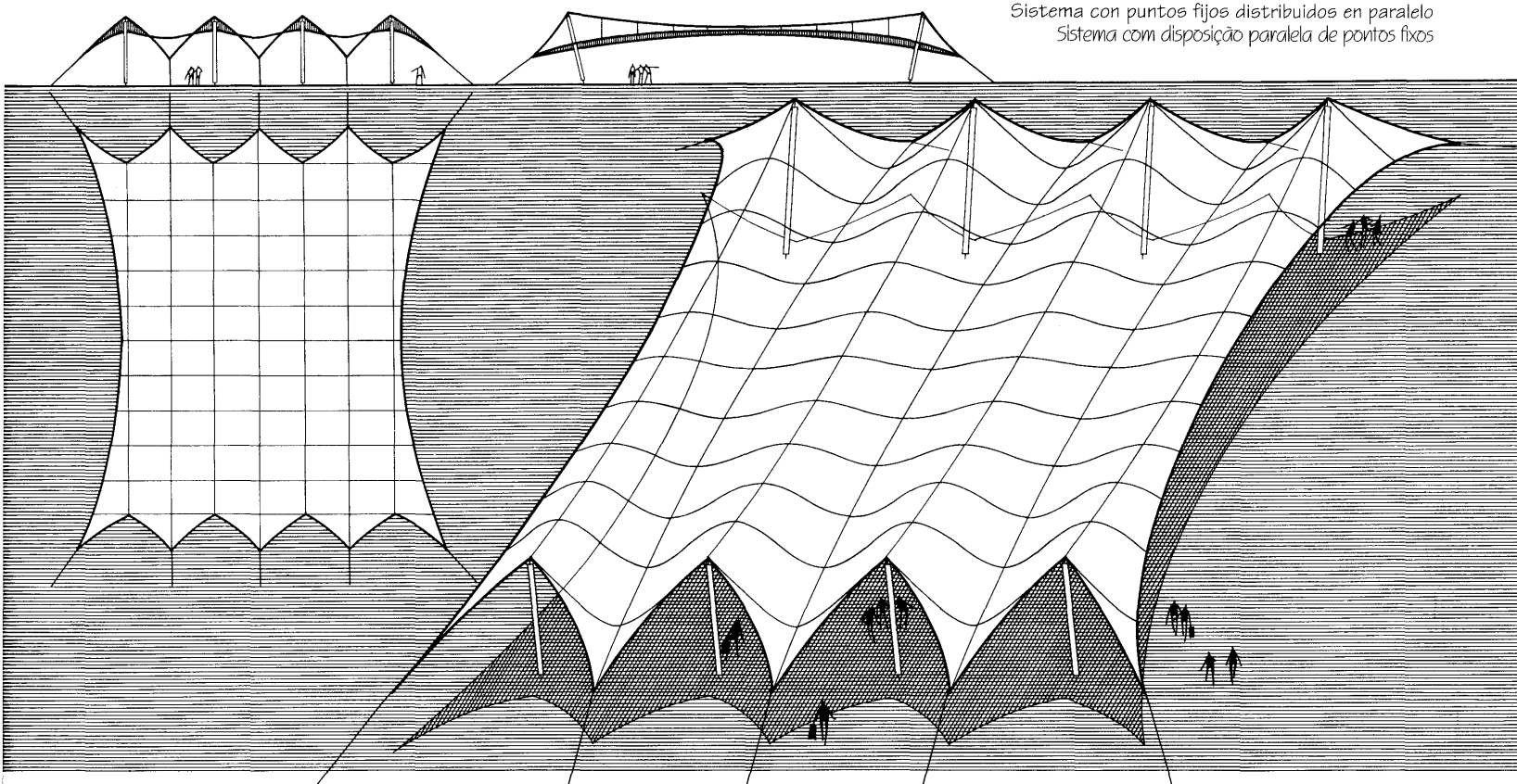


Sistemas en forma de tienda con puntos de soporte y anclaje alternados

Sistemas con superficies onduladas

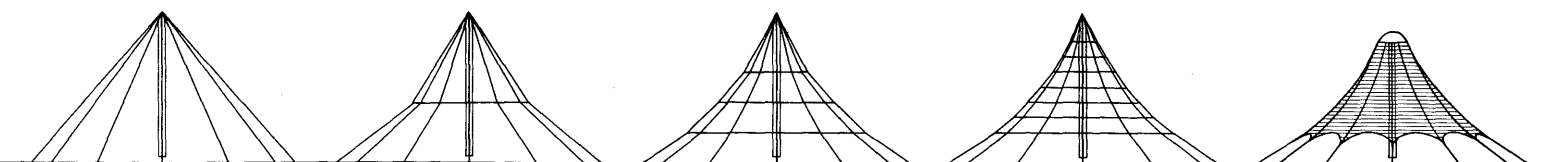
Sistemas de tenda com suportes e pontos de ancoragem alternados

Sistemas com superfícies onduladas



## Sistemas en forma de tienda con apoyo interior mediante barras a compresión

Sistemas con superficies peraltadas



Derivación de la superficie peraltada a partir de una malla de cables cónica

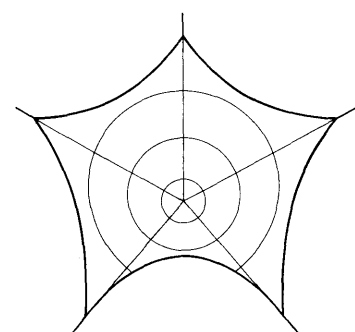
colocando cables anulares horizontales se aumenta la capacidad de resistencia frente a cargas asimétricas. Aumentando la densidad de los cables anulares y meridianos se llega a la membrana en forma de tienda. Gracias a la concentración de las fuerzas en la cúspide, se ha de ampliar la superficie del punto más alto. Surge la punta redondeada.

## Sistemas de tenda com apoio interno por meio de barras de compressão

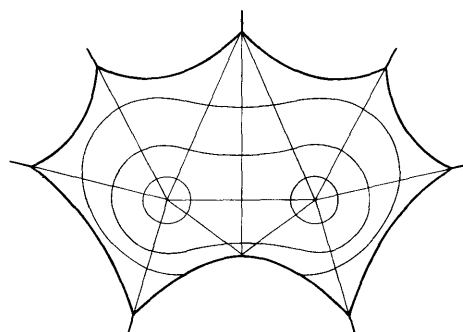
Sistemas com superfícies em forma de corcova

Derivação das superfícies em corcova de uma rede cônica de cabo

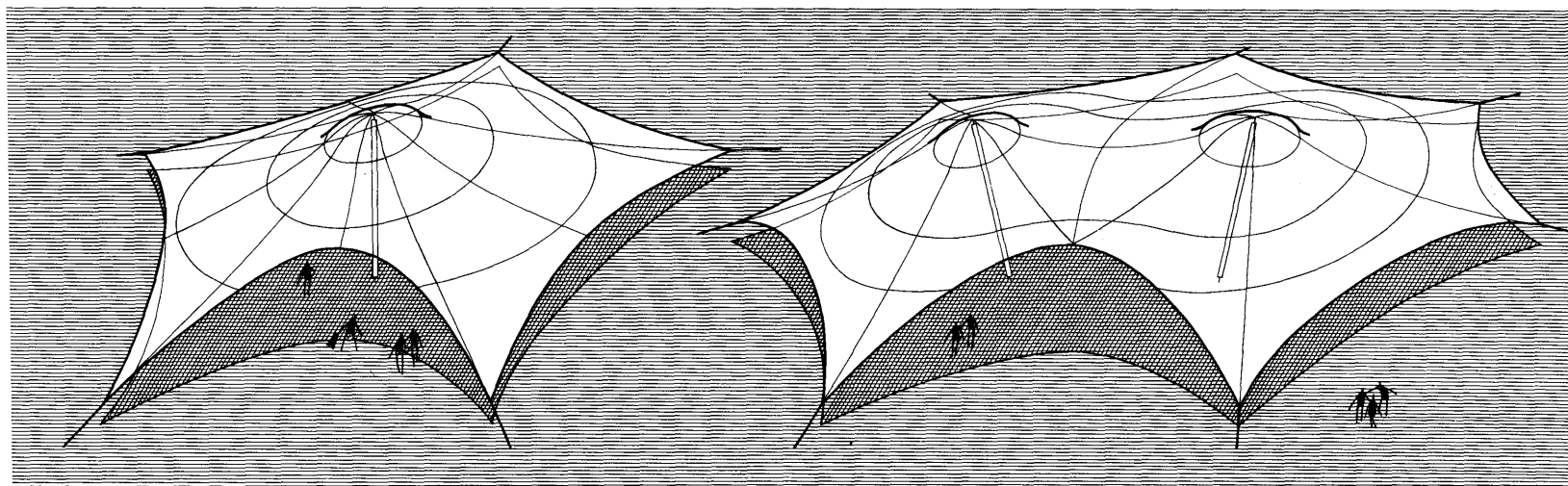
por meio de contração com cabos em anel horizontal, aumenta-se a resistência às cargas assimétricas. A condensação de cabos circular e meridional conduz à membrana da tenda. Devido à concentração de forças no ponto alto, o topo deve ser achatado para a ampliação da superfície. A forma torna-se corcovada



Sistema con cúspide única  
Sistema com um ponto elevado

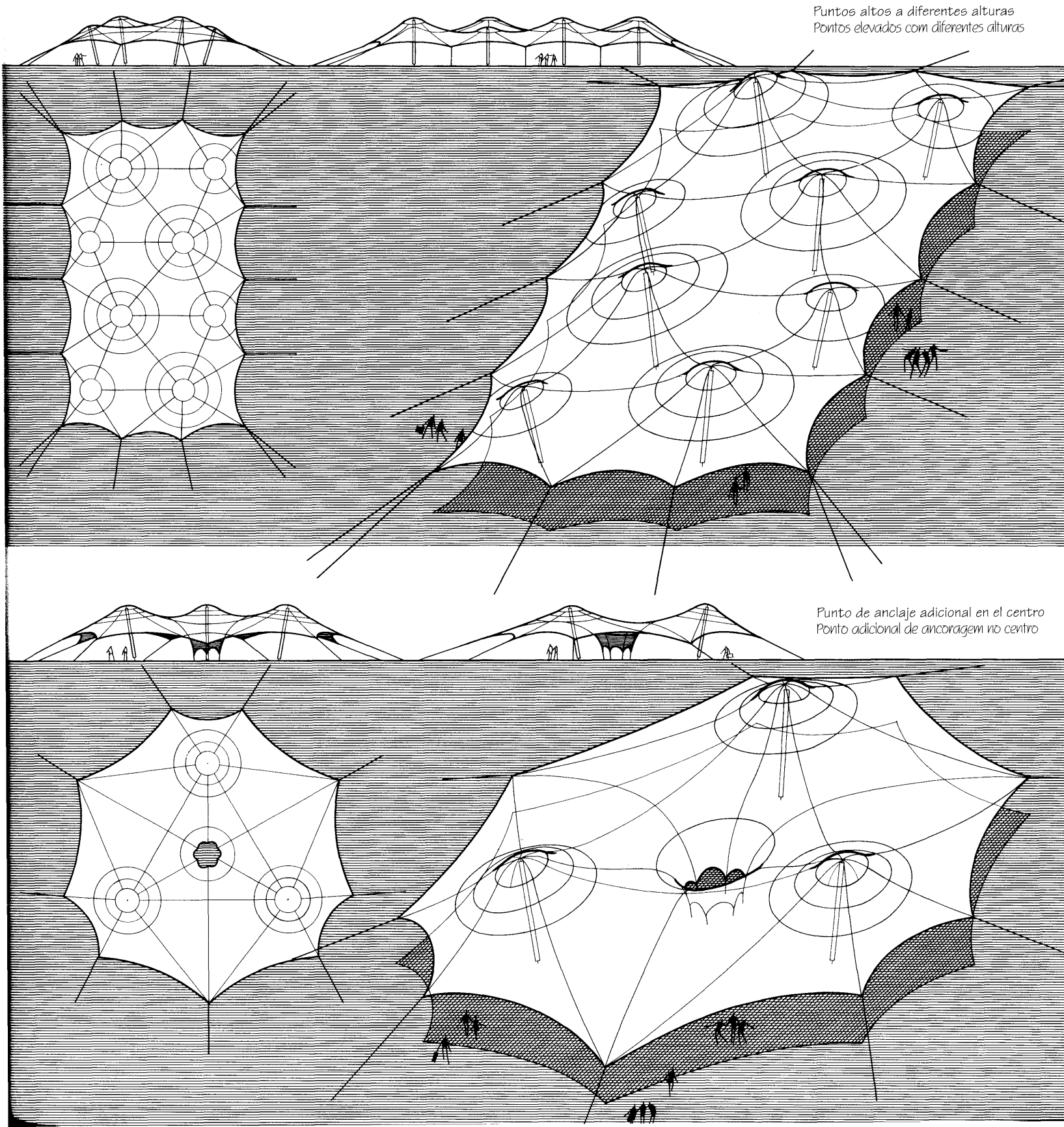


Sistema con dos cúspides  
Sistema com dois pontos elevados



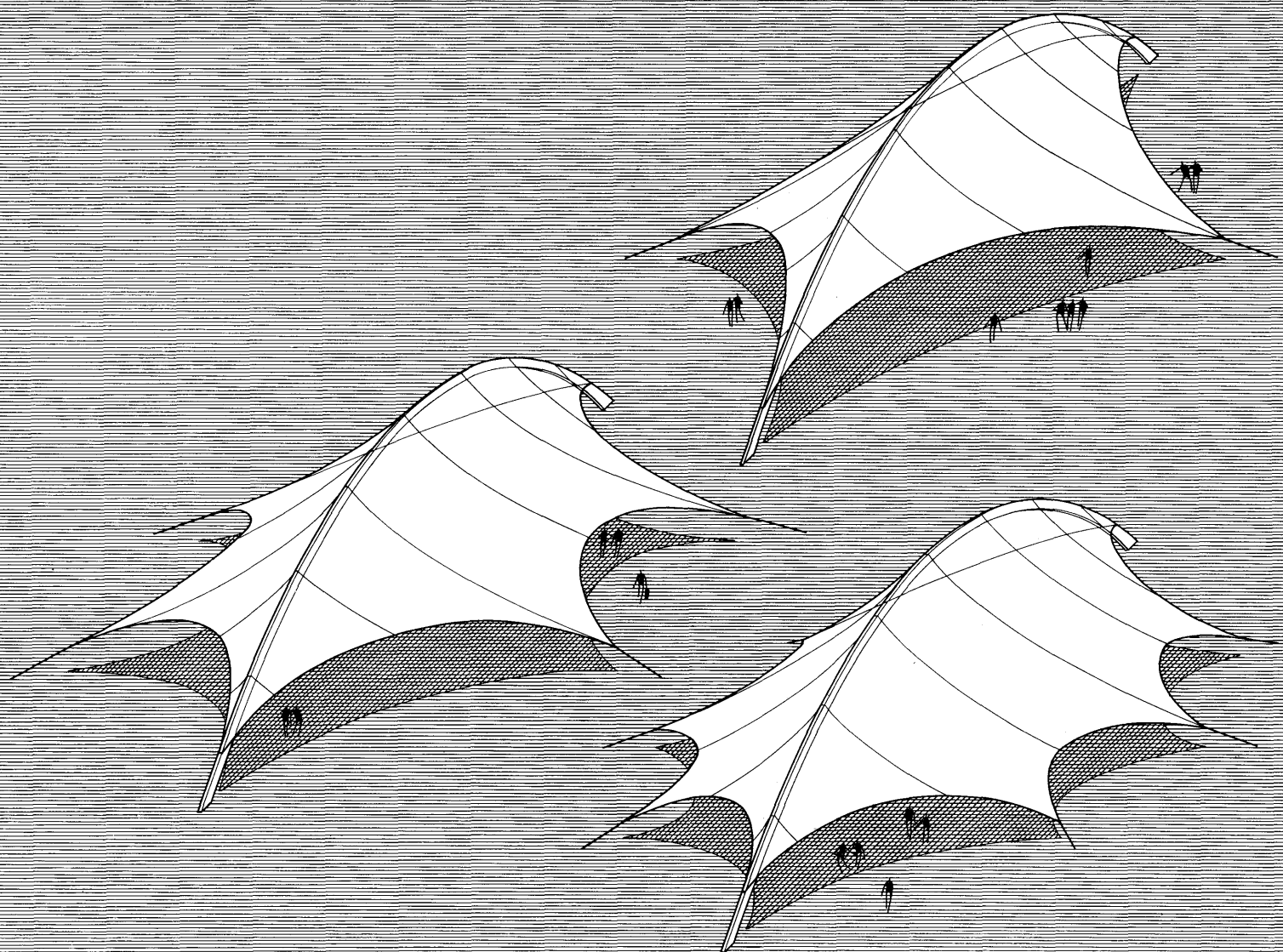
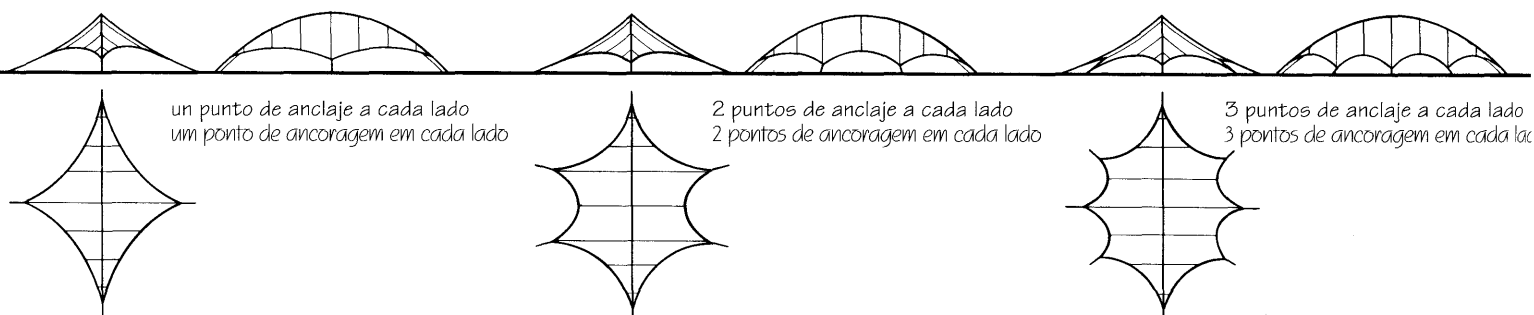
Sistemas en forma de tienda con apoyo interior  
mediante barras a compresión

Sistemas de tenda com apoio interno através  
de barras de compressão



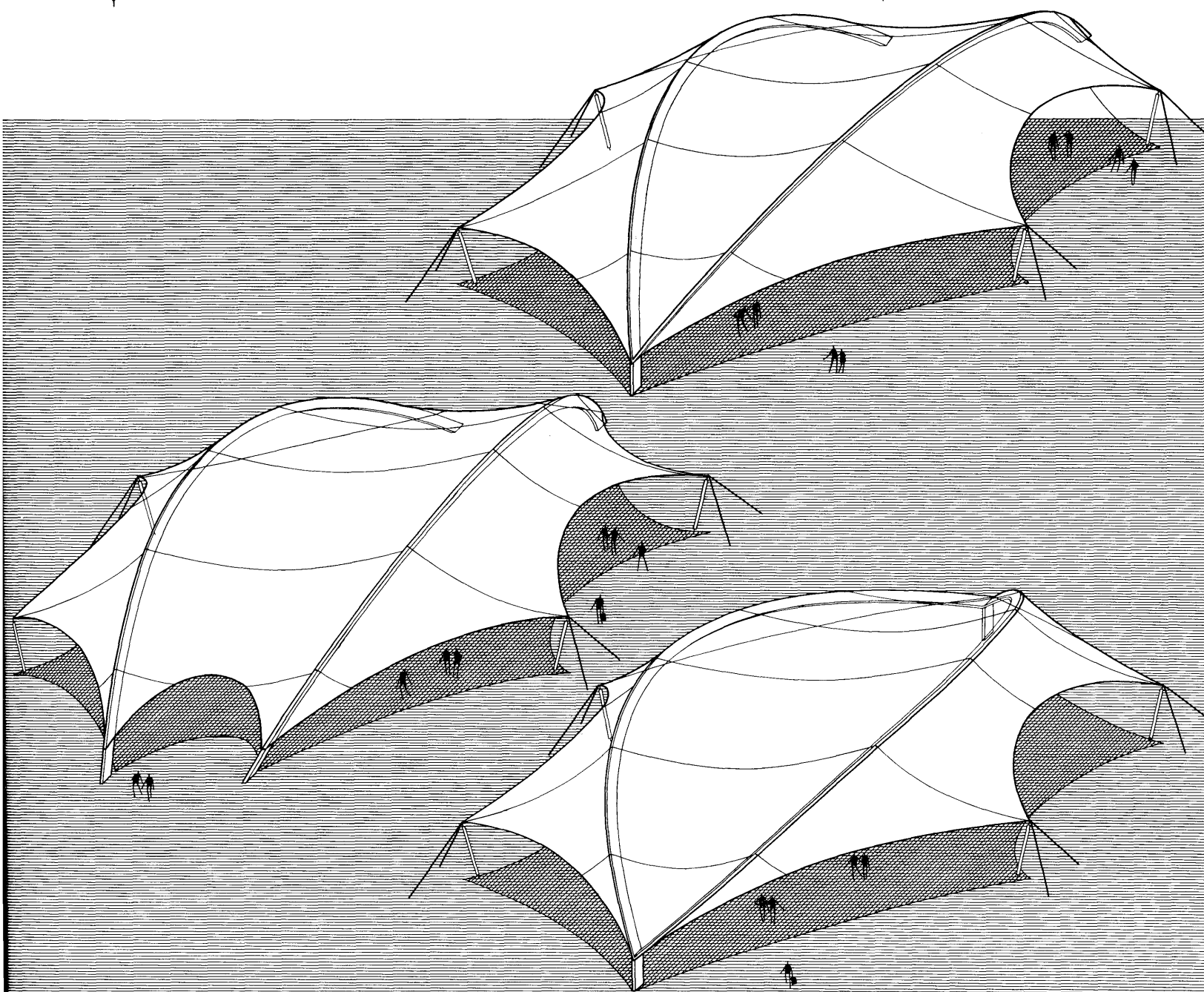
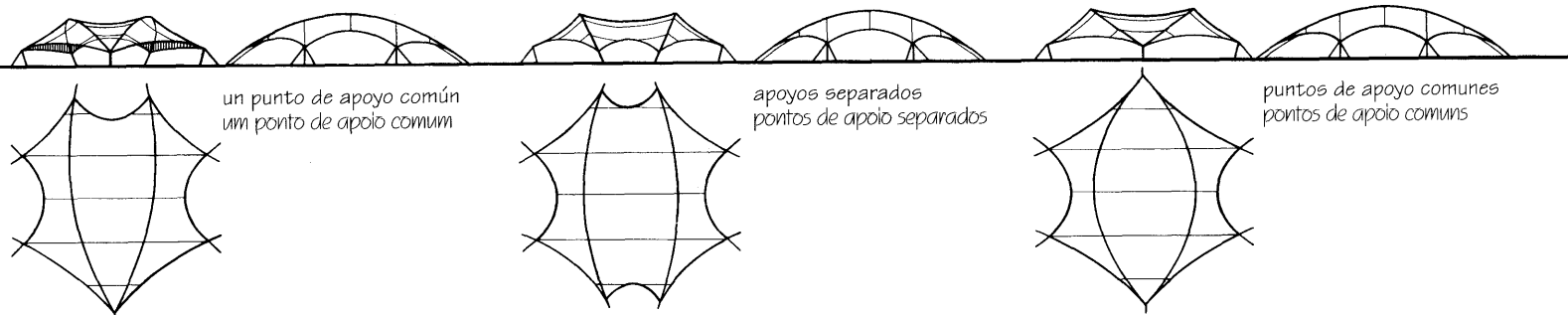
Sistemas en forma de tienda con un arco de apoyo interior para construir el punto alto

Sistemas de tenda com arco interno para a construção do ponto elevado



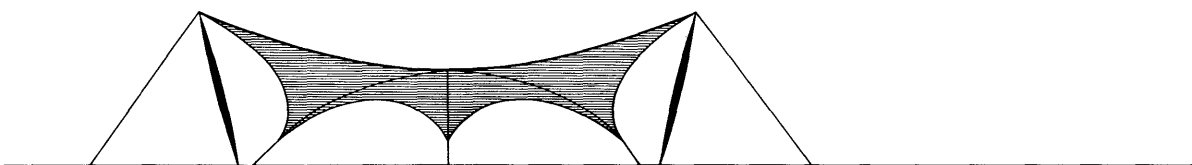
Sistemas en forma de tienda con dos arcos de apoyo interiores para construir el punto alto

Sistemas de tenda com dois arcos centrais para a construção do ponto elevado



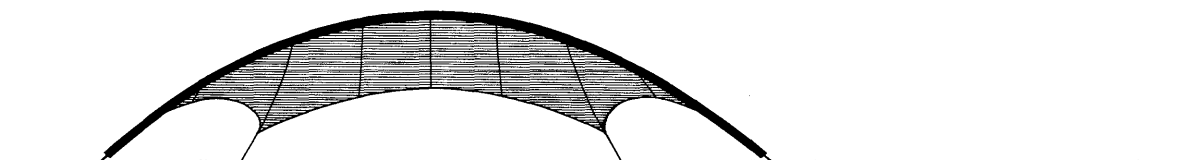


Sistemas de construcción directos para puntos altos  
Sistemas de construção direta para pontos elevados



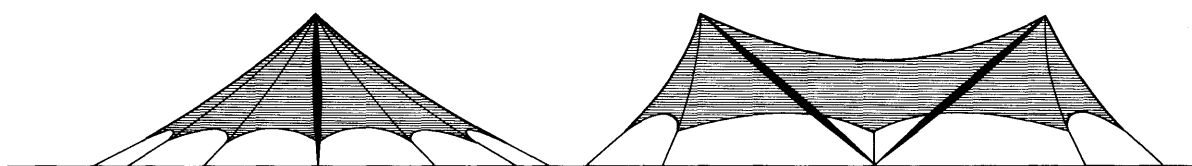
soportes exteriores para puntos altos  
perimetrales

suportes externos para pontos elevados  
dispostos perifericamente



arco interior para puntos altos  
situados axialmente (lineales)

arco interno para pontos elevados  
dispostos axialmente



soportes interiores para puntos altos  
situados en el centro

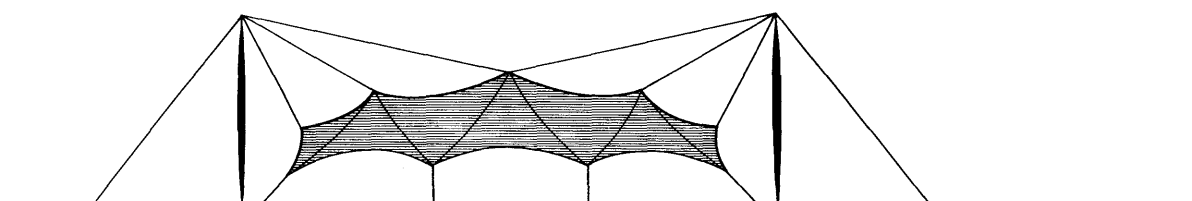
suportes internos para pontos elevados  
dispostos centralmente



soportes exteriores para puntos altos  
situados en el centro

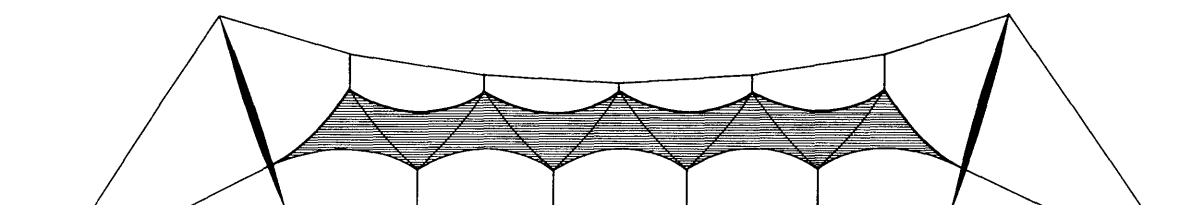
suportes externos para pontos elevados  
dispostos centralmente

Sistemas de construcción indirectos para puntos altos  
Sistemas de construção indireta para pontos elevados



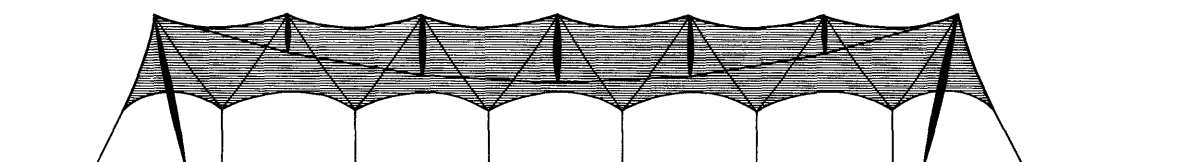
soportes exteriores con cables  
suspendidos para puntos altos  
situados en el centro

suportes externos com cabos suspensos  
para pontos elevados dispostos  
centralmente



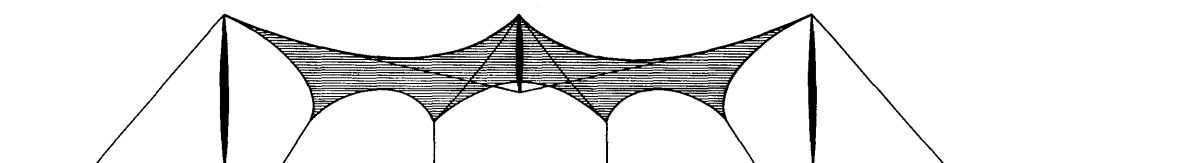
soportes exteriores con cable portante  
para suspender los puntos altos  
centrales

suportes externos com cabo portante para  
suspensão de pontos elevados dispostos  
centralmente



soportes interiores con cable portante  
para apoyar los puntos altos centrales

suportes internos com cabo portante para  
suspensão de pontos elevados dispostos  
centralmente

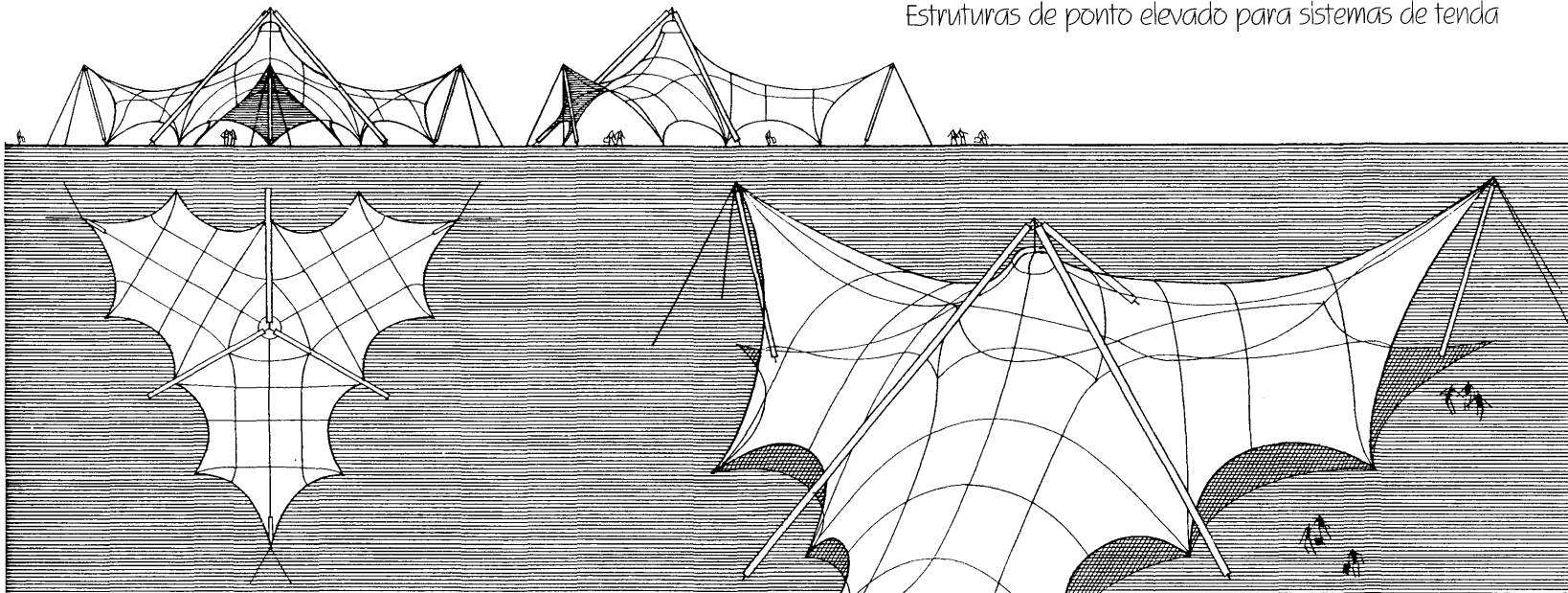


soportes exteriores para puntos altos  
perimetrales y un cable suspendido para  
apoyar el punto alto adicional central

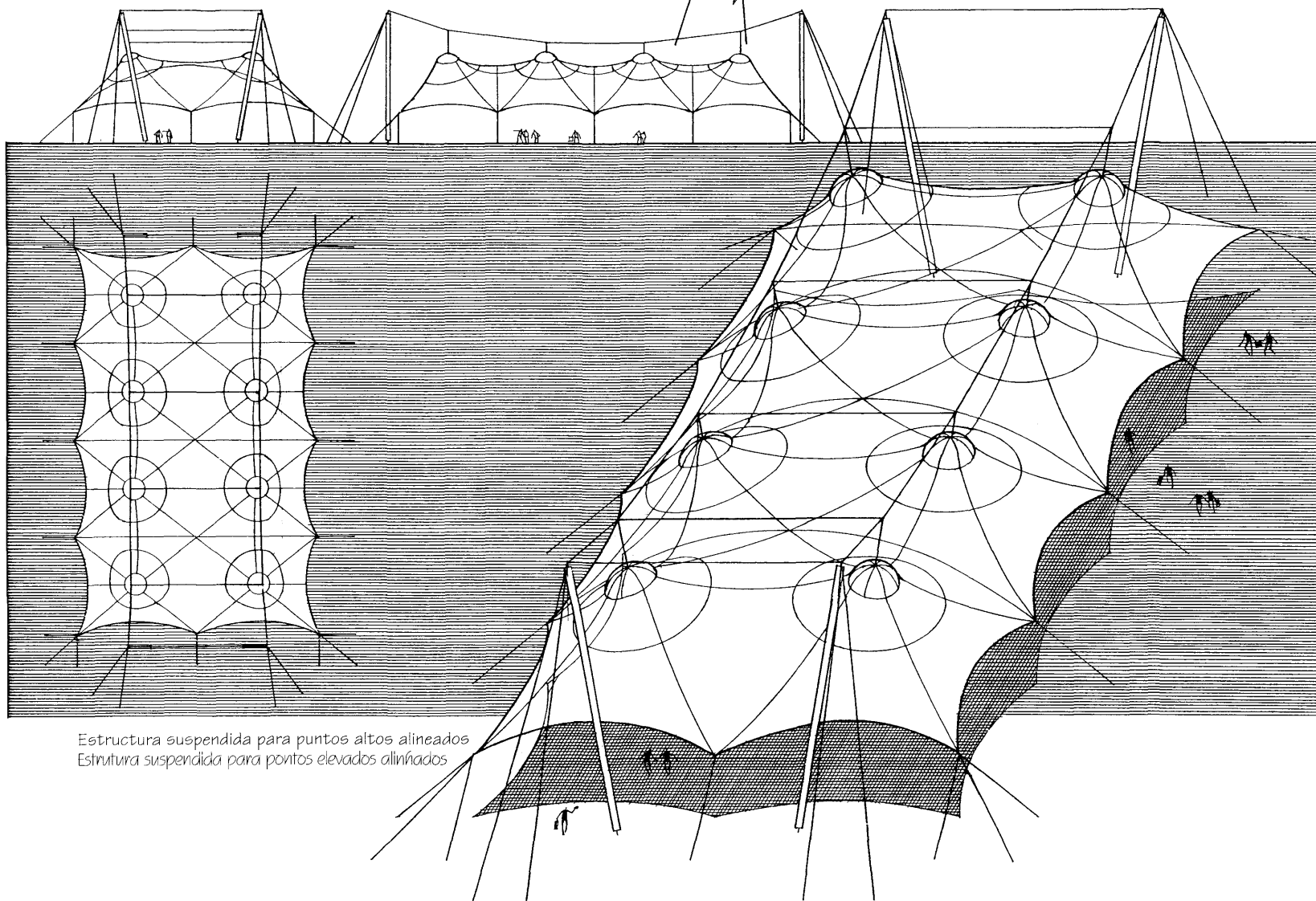
suportes externos para pontos elevados  
periféricos, com cabo de suspensão para  
ponto elevado adicional disposto  
centralmente



Estructuras con punto alto para sistemas en forma de tienda  
Estruturas de ponto elevado para sistemas de tenda



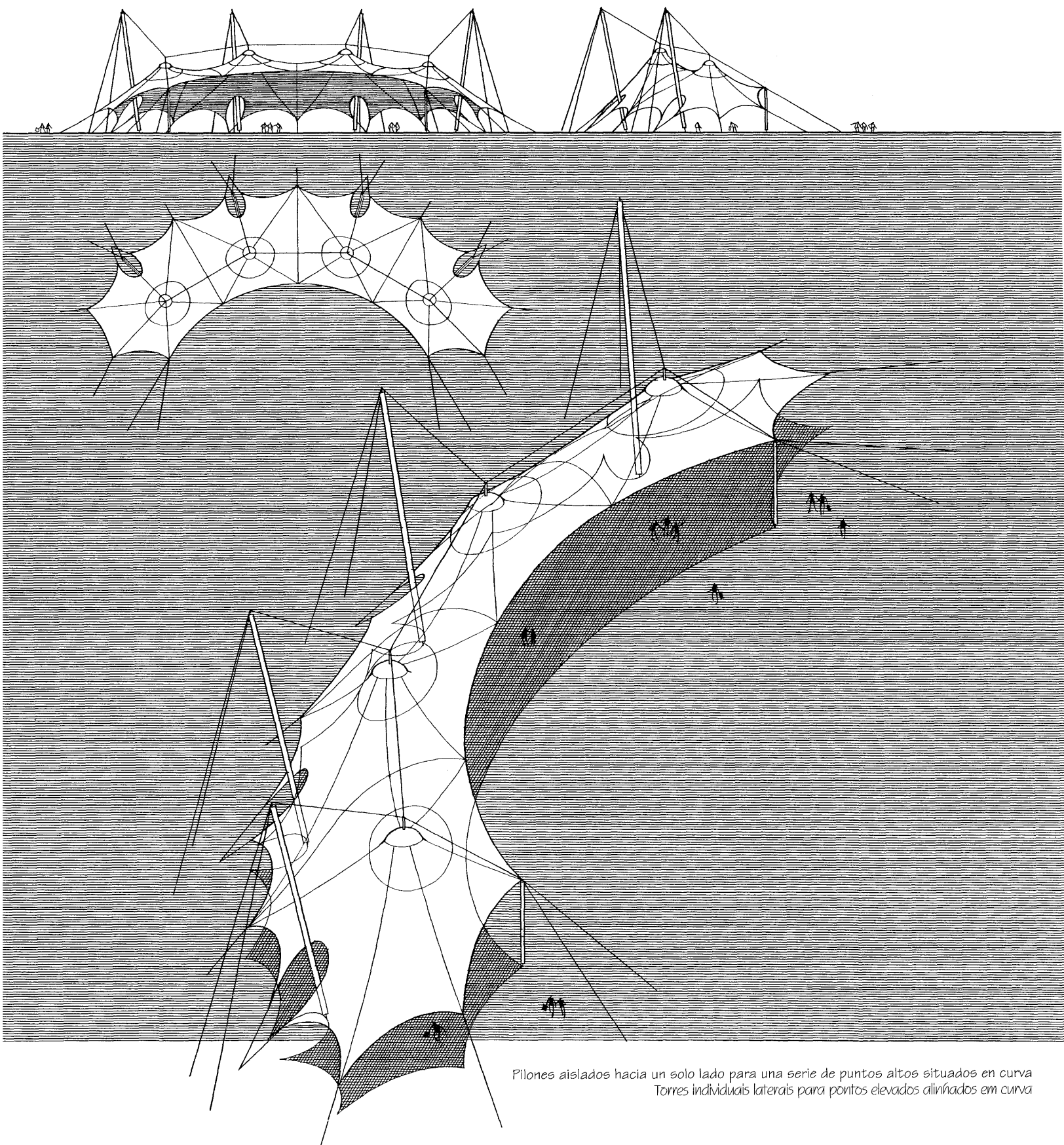
Estructura con tres pilares para el punto alto central  
Estrutura de três colunas para ponto elevado central



Estructura suspendida para puntos altos alineados  
Estrutura suspendida para pontos elevados alinhados

Estructuras con punto alto para sistemas en forma de tienda

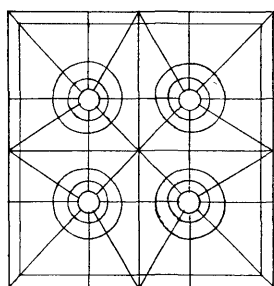
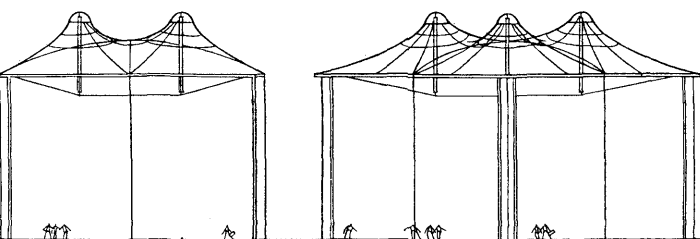
Estruturas de ponto elevado para sistemas de tenda



Pilones aislados hacia un solo lado para una serie de puntos altos situados en curva  
Torres individuais laterais para pontos elevados alinhados em curva

Sistemas en forma de tienda para cubrir  
construcciones macizas rectilíneas

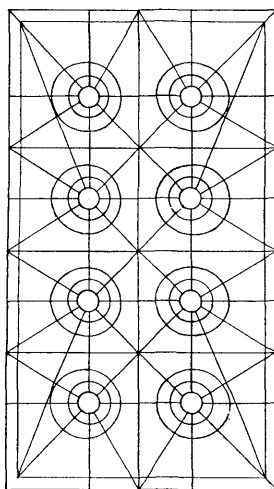
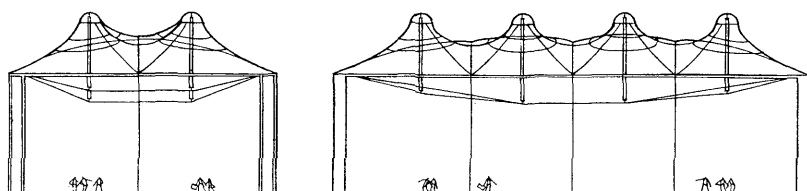
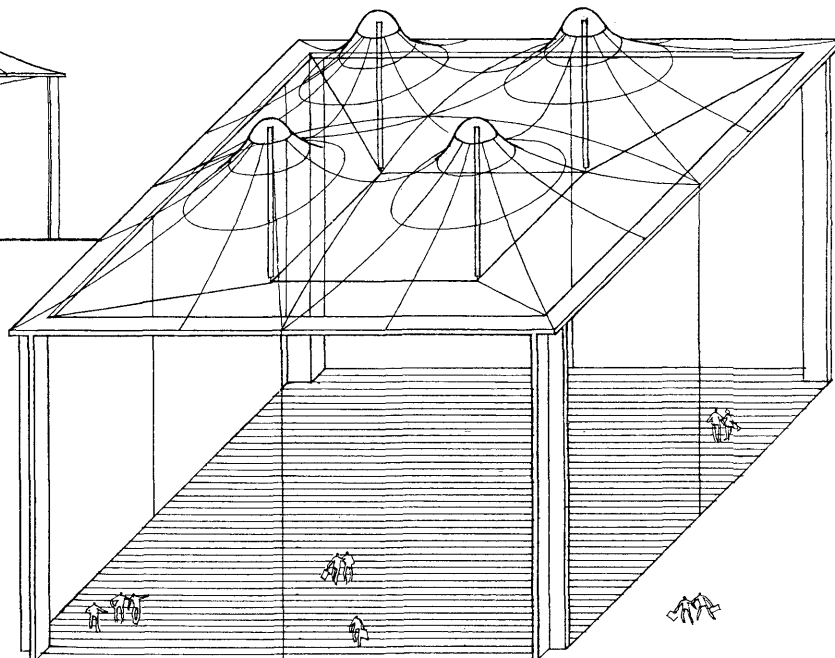
Estructuras atirantadas para apoyar los puntos altos



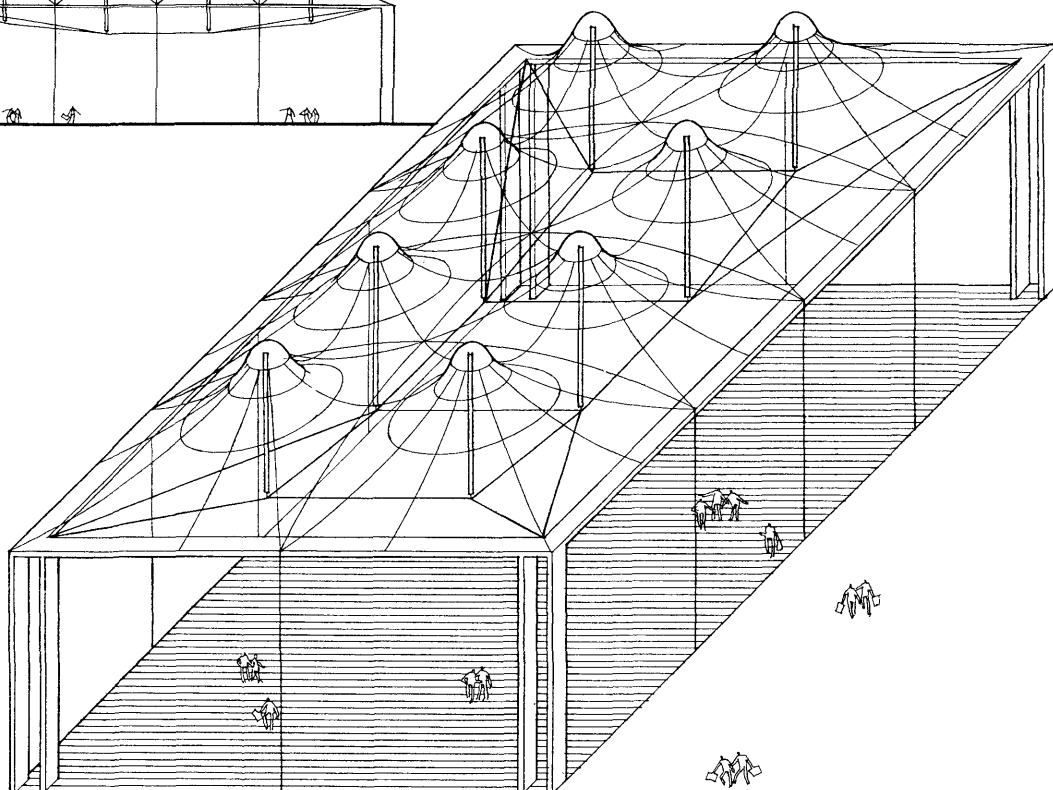
Puntos altos dispuestos en el centro de una planta cuadrada  
Pontos elevados posicionados centralmente sobre planta  
de base quadrada

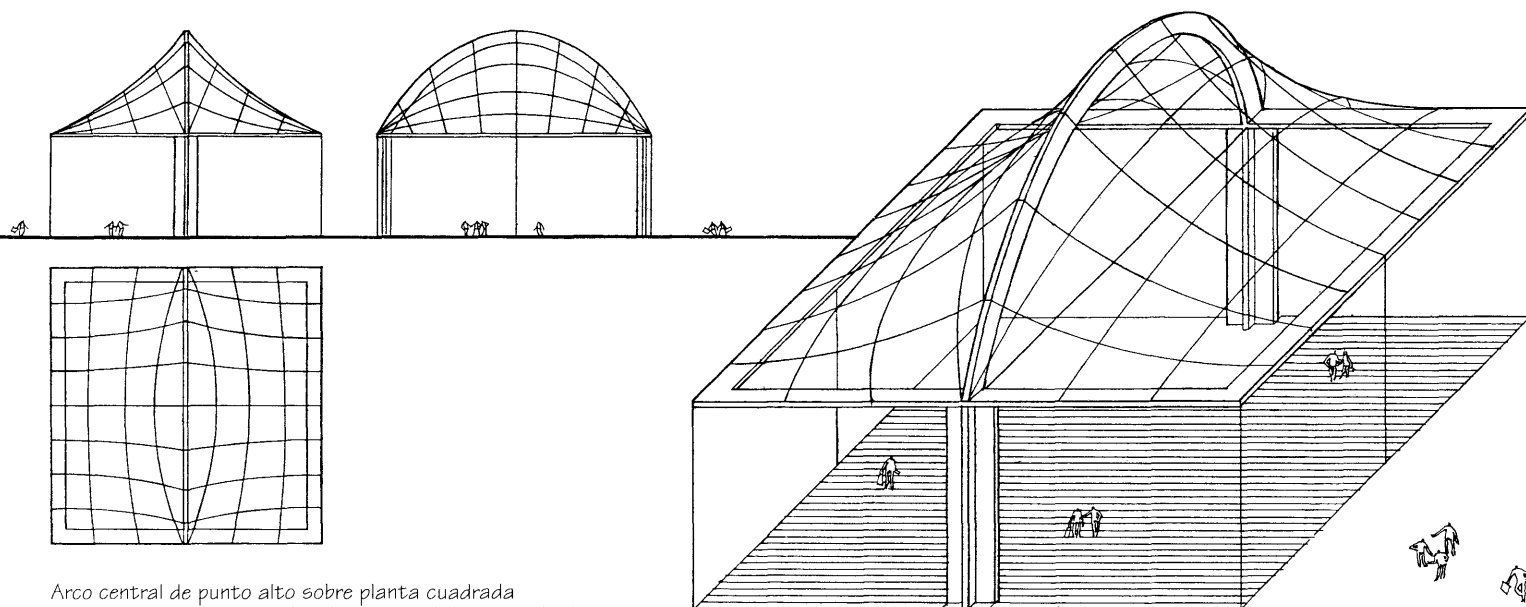
Sistemas de tendas para vãos retilíneos  
em subestruturas sólidas

Construções de pontos elevados suportadas por cabos



Alineación de puntos altos encima  
de una planta rectangular  
Disposição alinhada de pontos elevados  
sobre planta de base retangular





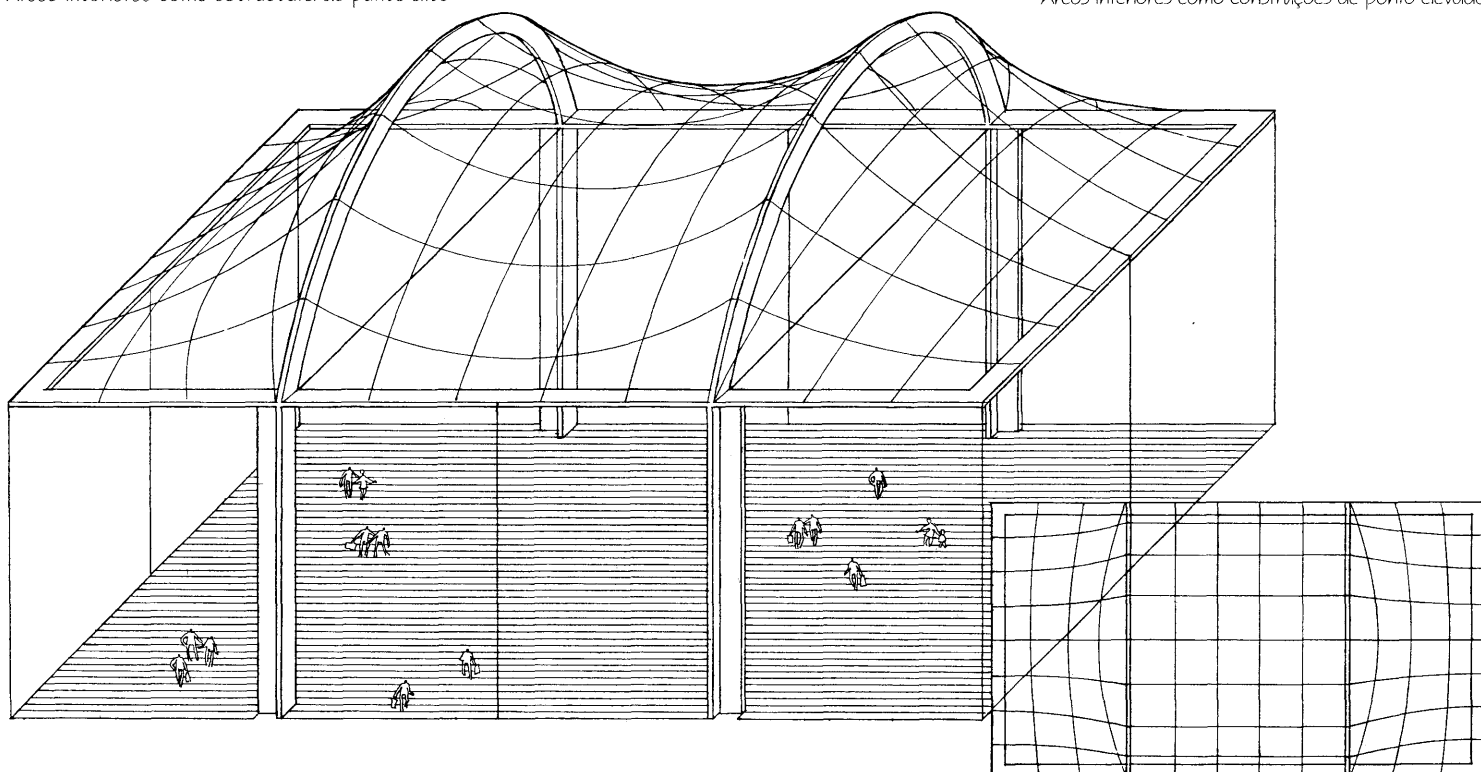
Arco central de punto alto sobre planta cuadrada  
Arco central de ponto elevado sobre planta de base quadrada

Sistemas en forma de tienda para cubrir  
construcciones macizas rectilíneas

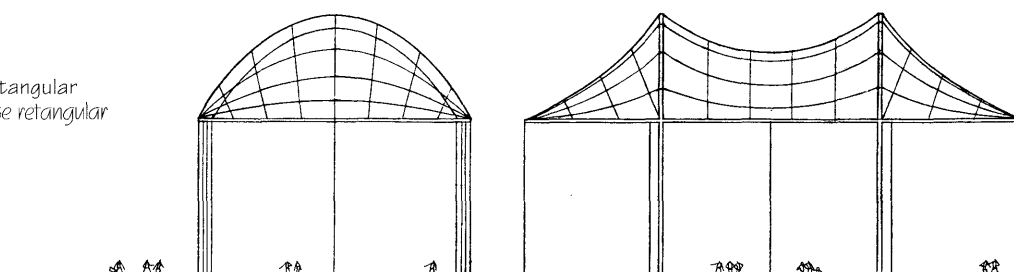
Arcos interiores como estructura de punto alto

Sistemas de tenda para vãos retilíneos  
em subestruturas sólidas

Arcos interiores como construções de ponto elevado

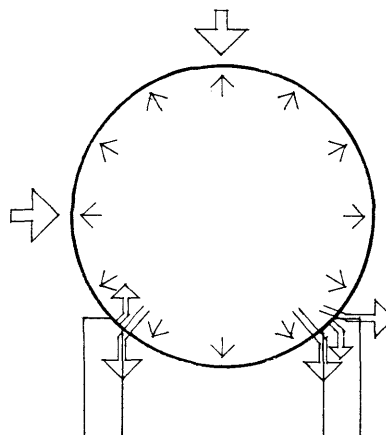
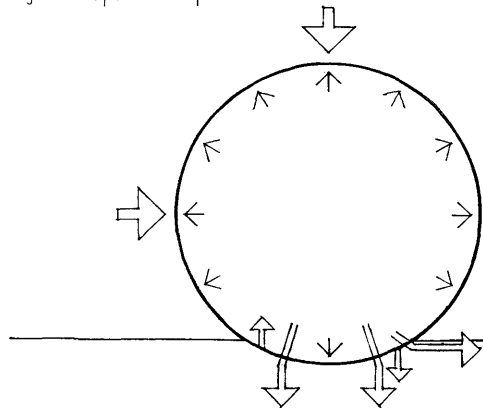


Arcos paralelos de puntos altos sobre planta rectangular  
Arcos paralelos de ponto elevado sobre planta de base retangular



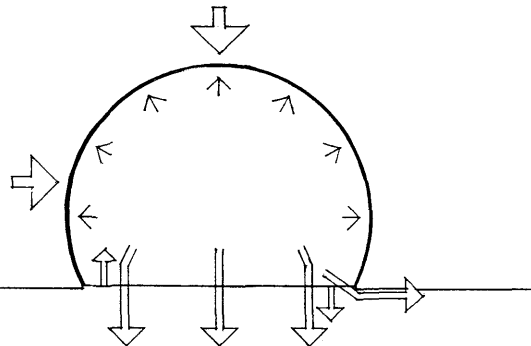
## El aire como elemento portante

Objetos soportados por aire



## Ar como meio de suporte

Objetos suportados por ar



EL VOLUMEN DE AIRE encerrado en una envoltura flexible y resistente a tracciones (=membrana) y a mayor presión que el aire exterior (=sobrepresión) se comporta como un SÓLIDO homogéneo y elástico. Como tal, el aire puede absorber, transmitir y trasladar fuerzas exteriores: ESTRUCTURAS NEUMÁTICAS.

Estas propiedades mecánicas del aire descansan en tres condiciones:

- 1 El material de la envoltura ha de poder resistir tracciones y ser estanco al aire.
- 2 La presión interior estabilizadora del aire ha de ser permanente y superior a la suma de todas las fuerzas exteriores que actúen sobre la membrana.
- 3 Cualquier modificación de la forma de la envoltura (manteniendo la cantidad de superficie) conduce a una reducción del volumen encerrado.

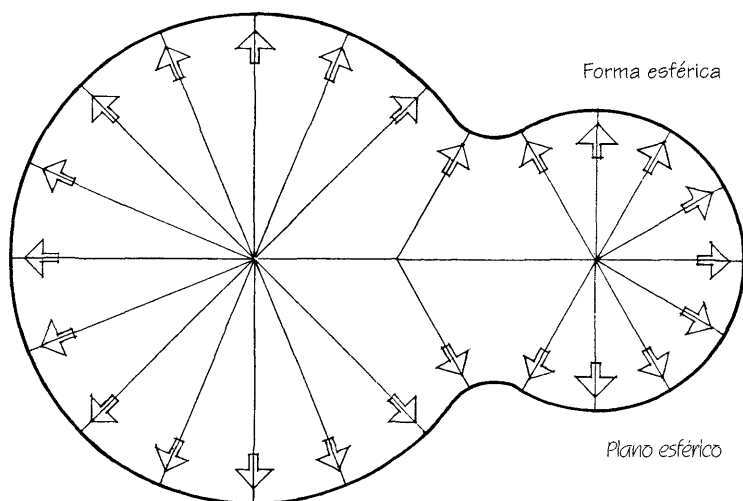
Resumiendo: las estructuras mecánicas de aire basan su resistencia en la forma neumática frente a las fuerzas externas = SISTEMAS DE FORMA-ACTIVA

O VOLUME DE AR fechado em um invólucro flexível (=membrana) de resistência a tensão é pressurizado contra o ar do ambiente (=sobrepresão) comporta-se como um SÓLIDO homogéneo elástico. Como tal, o volume de ar pode receber, transferir e descarregar forças externas: ESTRUCTURAS PNEUMÁTICAS.

Esta qualidade mecânica do ar agindo como um sólido baseia-se em três condições:

- 1 O tecido de revestimento deve ser resistente à tensão e impenetrável pelo ar.
- 2 A pressão estabilizadora do ar da parte de dentro deve ser permanente e sempre mais alta que todas as forças que agem sobre a membrana.
- 3 Cada deformação da forma do invólucro (sem modificação de tamanho da área) deve levar a uma redução definida do volume contido.

Resumiendo: as estruturas mecánicas de ar baseiam-se na resistência da forma pneumática contra forças externas = SISTEMA DE FORMA-ACTIVA.

Forma básica  
de la membranaForma básica  
da membrana

Las fuerzas de un volumen cerrado de aire sometido a presión son de igual magnitud en todas las direcciones. Actúan de manera centrífuga en dirección hacia la envoltura, es decir, en la dirección del posible equilibrio de cargas.

La forma de la membrana resultante de este estado de cargas es la geometría básica de las estructuras neumáticas: SUPERFICIES ESFÉRICAS.

Con una superficie esférica se consigue envolver el máximo volumen con una superficie mínima. De esta manera se obtiene una envoltura que, en caso de cambiar de forma, apenas afecta al volumen contenido, es decir, tiene una resistencia óptima a las deformaciones.

La membrana uniforme, homogénea y esférica reacciona a cualquier sobrepresión interior con tensiones a tracción idénticas en todos los puntos.

As forças de um volume de ar, sendo fechadas no interior e pressurizadas, são iguais em todo o volume. Elas agem centrífugamente na direção da membrana anexa, isso é, em direção à possível equalização de pressão.

A forma da membrana resultante dessa constelação de forças é a geometria básica de modelos de estruturas pneumáticas - SUPERFÍCIES ESFÉRICAS.

A superfície esférica contém um volume espacial com um mínimo de superfície. Assim, configura-se um invólucro, cujo volume pode ser diminuído ao máximo em cada deformação, isto é, apresenta resistência ótima à deformação.

Sob pressão interna a membrana esférica, uniforme e homogênea, desenvolve esforços de tensão iguais em cada ponto.

Al aumentar la curvatura de la superficie esférica (es decir, al disminuir su radio) manteniendo la misma presión interior, se reducen las tensiones en la membrana. La eficacia de la membrana para absorber esfuerzos de presión interior aumenta. Con ello aumenta también la capacidad para resistir una deformación en la geometría de la envoltura.

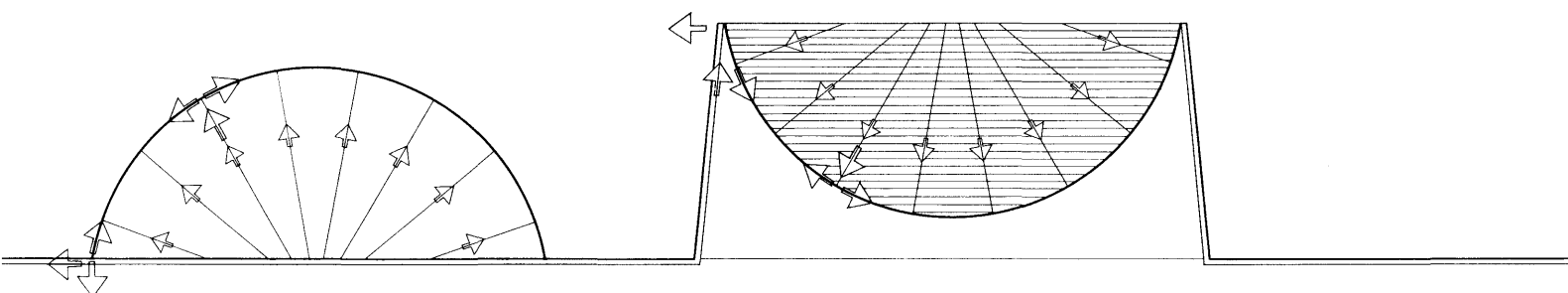
Com o aumento da curvatura do plano esférico (=diminuição do raio) e a pressão interna permanecendo constante, a tensão na membrana diminuirá; a capacidade da membrana de receber forças compressoras internas aumentará. Por isso, a capacidade de resistência contra deformação da geometria do invólucro também aumentará.

## Mecanismo portante de las estructuras neumáticas: comparación con la membrana envolvente

Sistemas estructurales soportados por aire

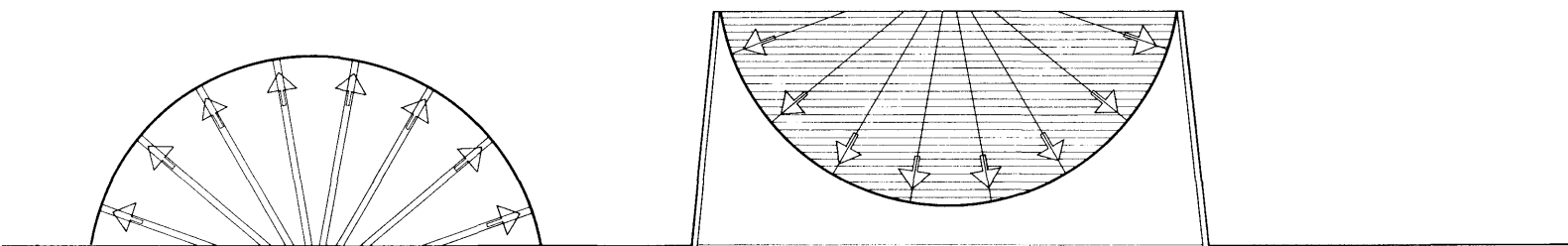
## Mecanismo de estrutura pneumática: comparação com depósito em membrana

Sistemas estruturais suportados por ar



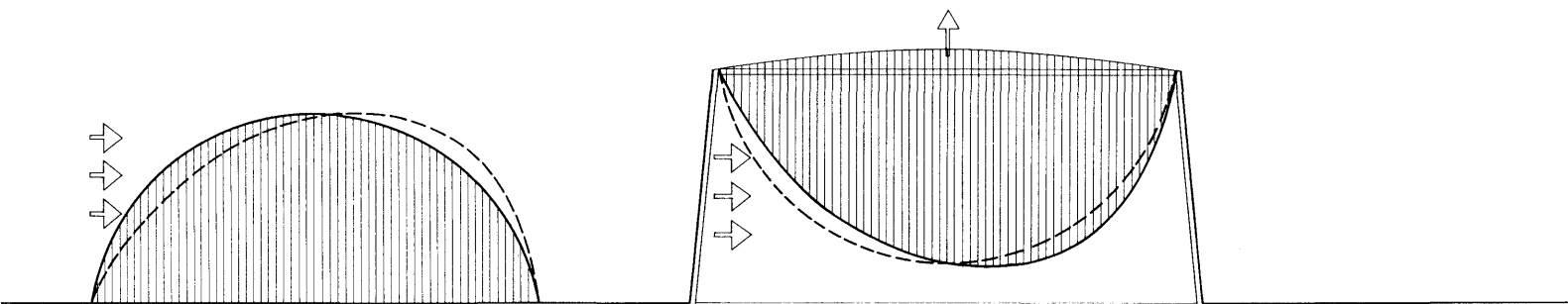
Al aumentar la presión interior del aire, no sólo se equilibra el peso propio de la membrana envolvente, sino que ésta queda tan pretensada que las cargas asimétricas no la deforman. Por lo tanto, la transmisión de cargas a través de la membrana afecta sólo a las fuerzas resultantes orientadas hacia el exterior, de manera similar a un contenedor que sólo está sometido a la presión de su contenido (líquido o áridos).

Através do aumento da pressão do ar interno, não somente o peso próprio do envoltório espacial é equilibrado mas também a membrana é submetida a um esforço em um ponto em que não pode ser deformada por cargas assimétricas. A redistribuição das forças pela membrana, por consequência, envolve apenas resultantes centrífugas, análogamente à ação que sofre um reservatório, que está exposto apenas à pressão do seu conteúdo (líquidos, sólidos granulados).



La presión interior funciona como un soporte continuo y flexible de la membrana en todos los puntos. De manera parecida, la forma de un contenedor se estabiliza a partir de la presión centrífuga de su contenido. La ventaja del soporte neumático es que no condiciona la libertad de uso del espacio.

A pressão interna funciona como um apoio flexível contínuo da membrana em qualquer ponto. Analogamente, a forma de uma membrana de reservatório é estabilizada pela pressão centrífuga do seu conteúdo. A vantagem do suporte pneumático é que ele não impede o uso livre do espaço.

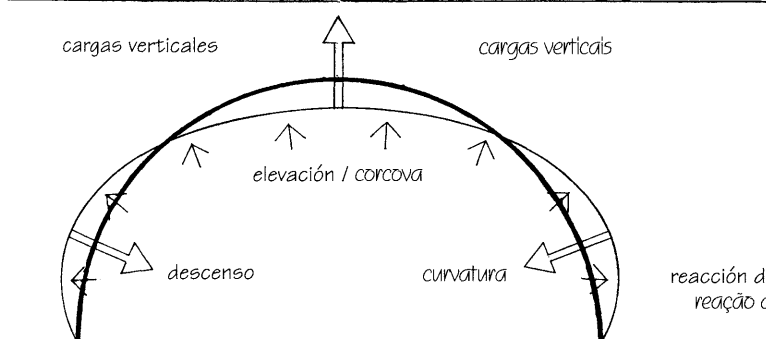
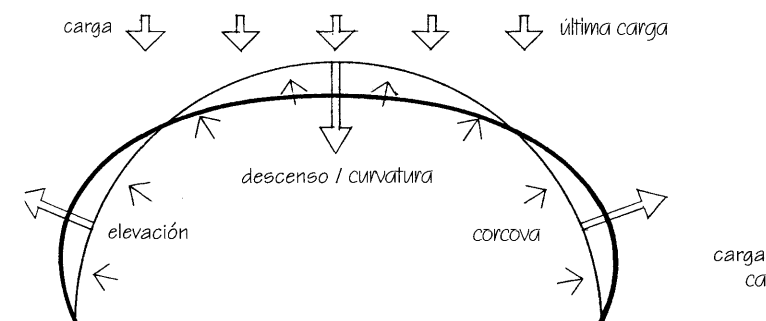


La resistencia frente a la deformación queda garantizada por la estanquidad de la membrana y su resistencia a las tracciones. La forma portante sólo se modifica si se reduce el volumen o si aumenta la superficie envolvente, en oposición al contenedor suspendido cuyo contenido puede desplazarse hacia el lado abierto (arriba) y acepta deformaciones.

A resistência às deformações acontece graças ao fechamento hermético do ar e à força tensora da membrana. A forma estrutural pode deformar-se apenas com a perda de volume ou aumento da superfície de forma contrária à membrana pendurada de reservatório, na qual o conteúdo pode escapar pela parte aberta (superior), permitindo assim a deformação.

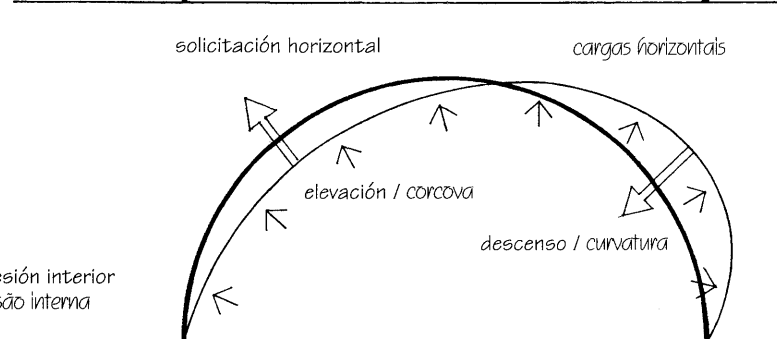
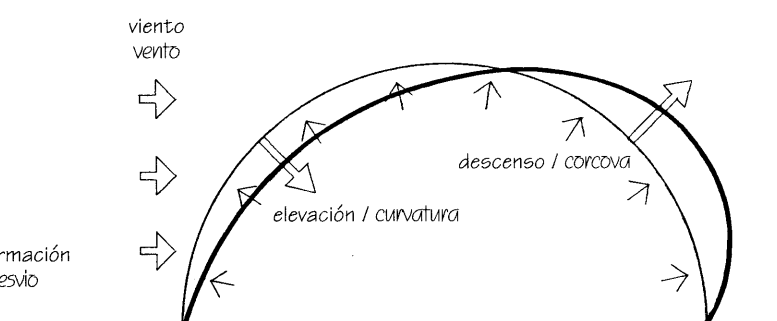
## Mecanismo de las figuras neumáticas frente a las deformaciones

## Mecânica de figuras pneumáticas contra deformações



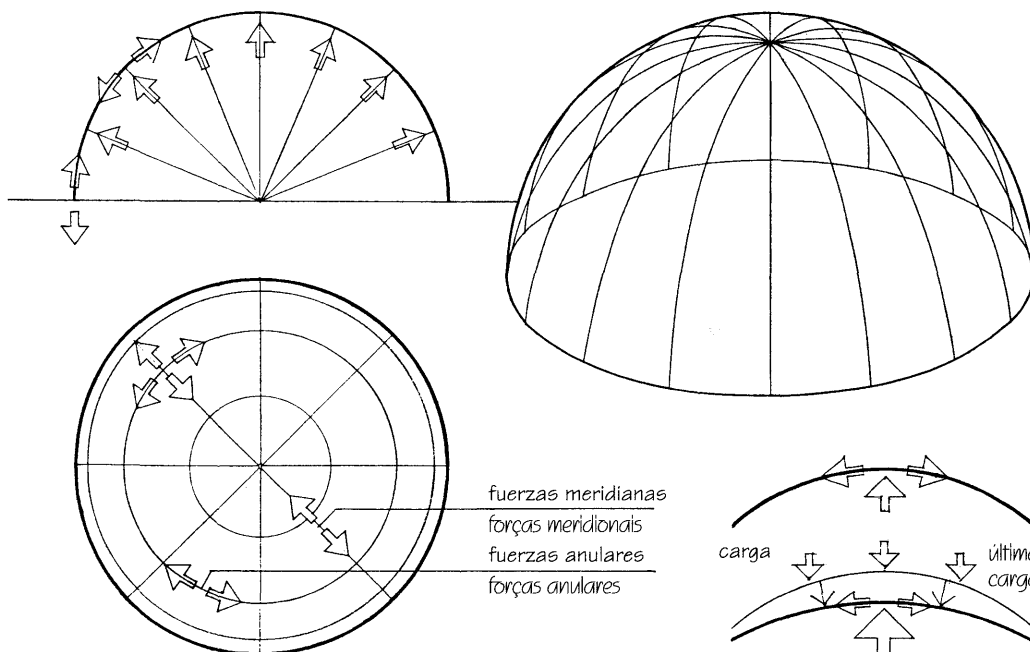
## Dos mecanismos resistentes frente a las deformaciones

- 1 Efecto contrapuesto de las fuerzas de presión interior en la envolvente:  
Mayor efecto al disminuir la curvatura: elevación de la envolvente.  
Menor efecto al aumentar la curvatura: descenso de la envolvente.
- 2 Aumento de las tensiones en la membrana al crecer su superficie debido al desplazamiento del volumen y, en consecuencia, movilización de esfuerzos para recuperar la forma neumática inicial.



## Dois mecanismos de resistência contra a deformação

- 1 Efeito contra ação de forças internas compressoras no invólucro:  
Aumento do efeito ao retroceder a curvatura = arqueamento do invólucro.  
Diminuição do efeito ao aumentar a curvatura = rebaixamento do invólucro.
- 2 Aumento total da tensão da membrana em toda a extensão da superfície da membrana por causa do volume de deslocamento e conseqüentemente mobilização de forças para recuperar a forma pneumática original.

Acción conjunta del aire bajo presión y la membrana envolvente  
Coação do volume de ar pressurizado e membrana do invólucro

La membrana envolvente (peso propio) se aguanta y conserva su forma gracias a la diferencia entre la presión del aire en el interior y el exterior:

-SISTEMAS DE ESTRUCTURAS SOPORTADOS POR AIRE-

Si aumentan las acciones, la envolvente empieza a ceder provocando que el aire interior se comprima y se desplace. Con ello aumenta la diferencia entre interior y exterior, y se modifica la forma de la envolvente (curvatura).

Ambos procesos refuerzan la resistencia frente a las deformaciones. Es decir, sólo después de experimentar una pequeña deformación, se mobilizan las fuerzas para alcanzar el estado de equilibrio.

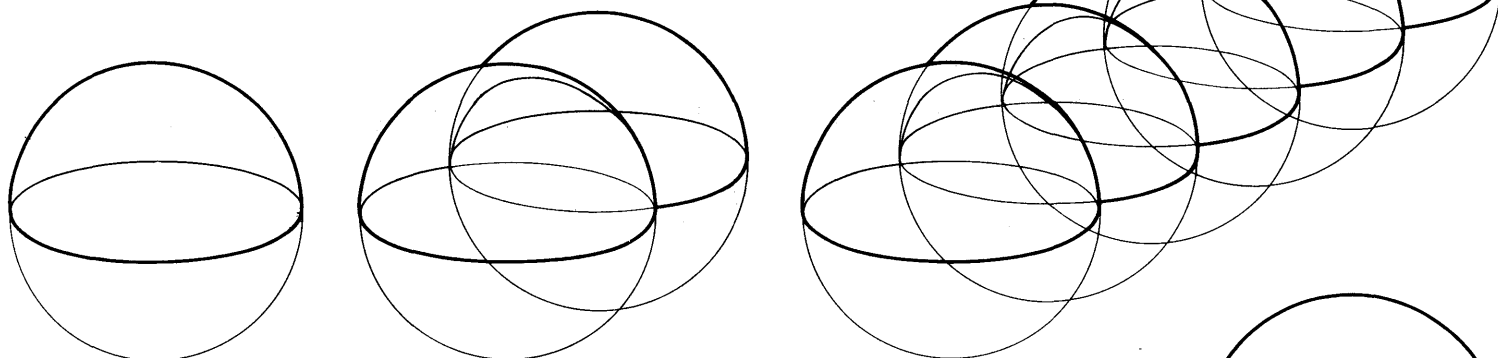
O invólucro de membrana (peso próprio) é carregado e estabilizado pela diferença da pressão do ar entre o interior e o exterior:

-SISTEMAS ESTRUTURAIS SUPORTADOS POR AR-

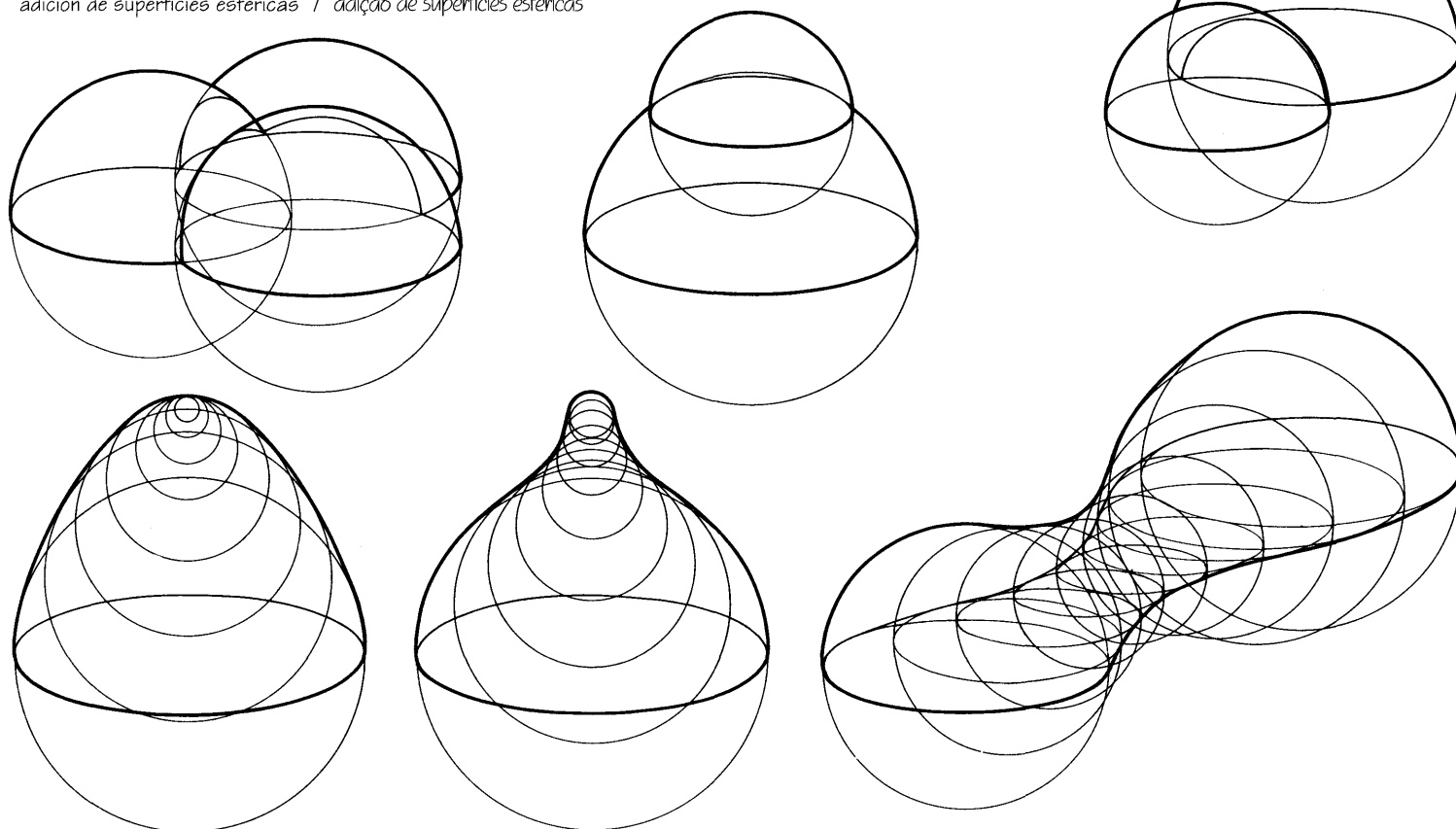
Sob cargas adicionais, primeiramente o invólucro cede e faz com que o volume de ar fechado diminua e desloque-se, portanto a diferença de pressão direcionada ao exterior aumenta, enquanto a forma (curvatura) do invólucro começa a mudar sua figura.

Ambas as ações intensificam a resistência contra deformações, isto quer dizer: somente através do desvio em processo as forças são mobilizadas a fim de alcançar um estado de equilíbrio.

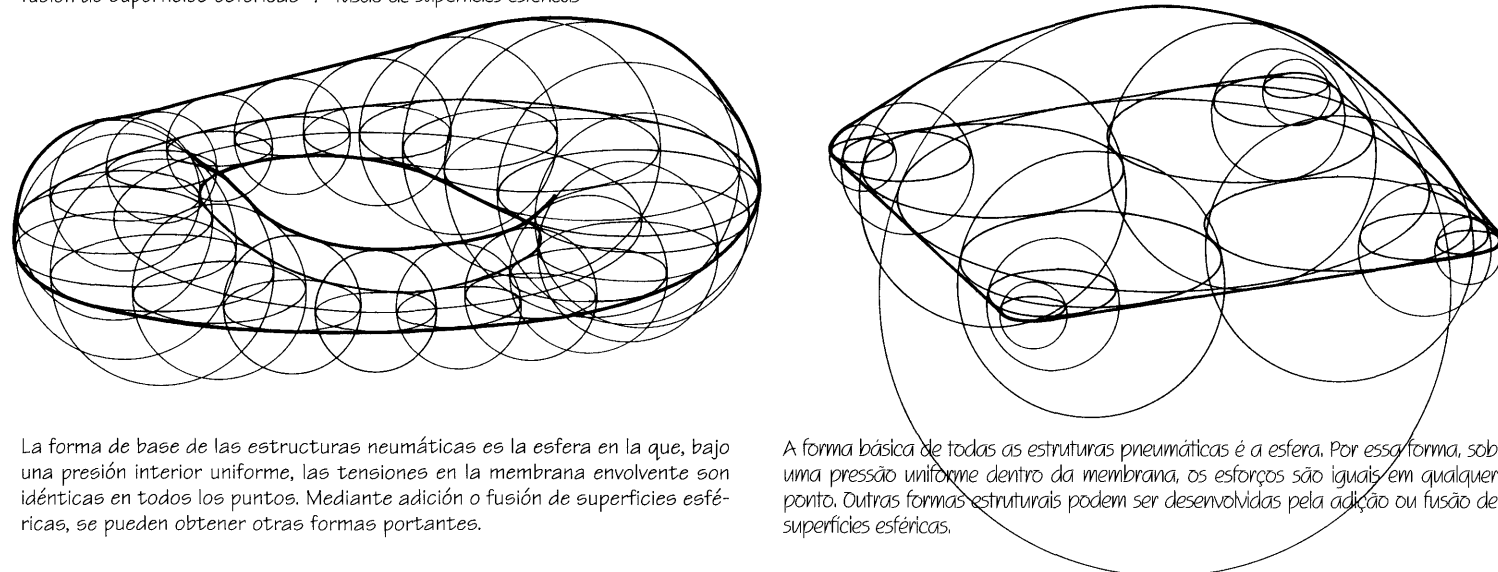
Geometría de las formas portantes neumáticas  
Geometria das formas de estruturas pneumáticas



adición de superficies esféricas / adição de superfícies esféricas



fusión de superficies esféricas / fusão de superfícies esféricas

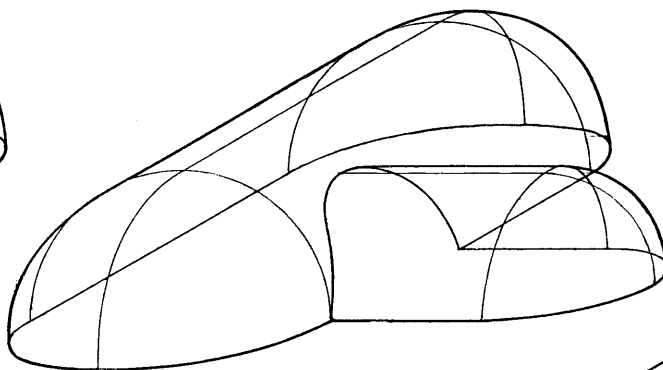
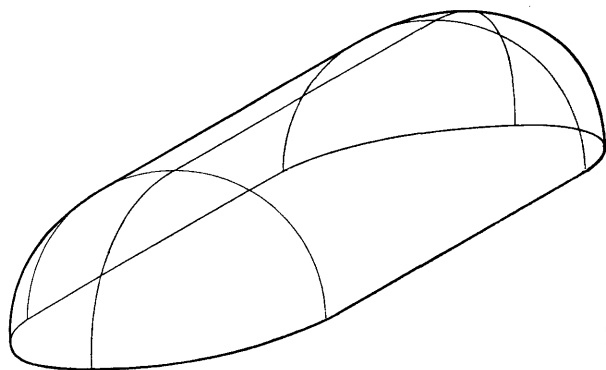


La forma de base de las estructuras neumáticas es la esfera en la que, bajo una presión interior uniforme, las tensiones en la membrana envolvente son idénticas en todos los puntos. Mediante adición o fusión de superficies esféricas, se pueden obtener otras formas portantes.

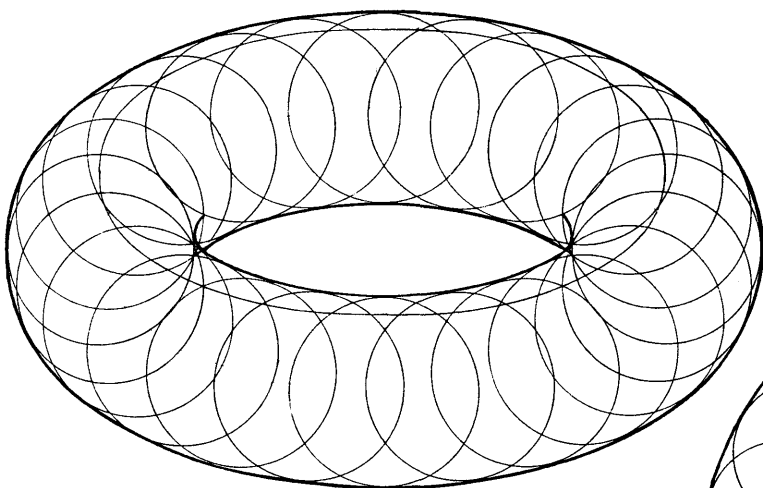
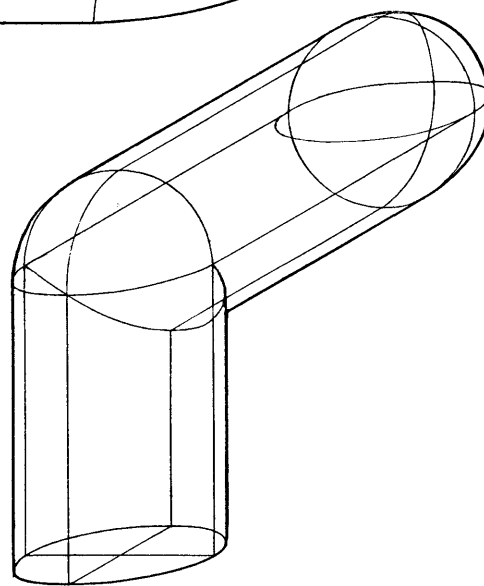
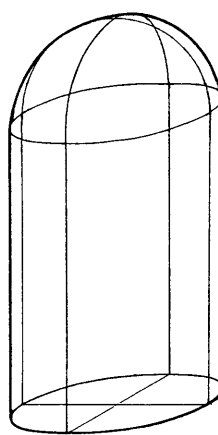
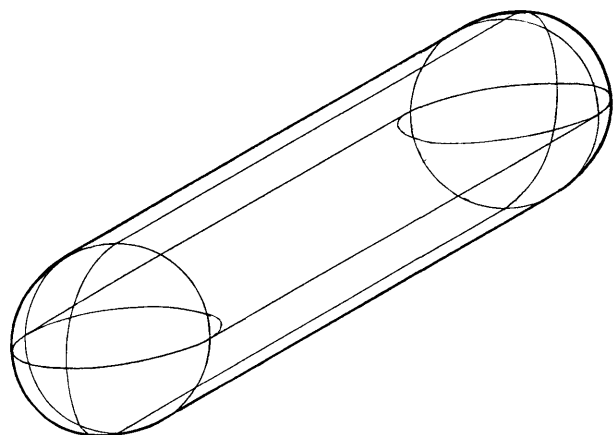
A forma básica de todas as estruturas pneumáticas é a esfera. Por essa forma, sob uma pressão uniforme dentro da membrana, os esforços são iguais em qualquer ponto. Outras formas estruturais podem ser desenvolvidas pela adição ou fusão de superfícies esféricas.



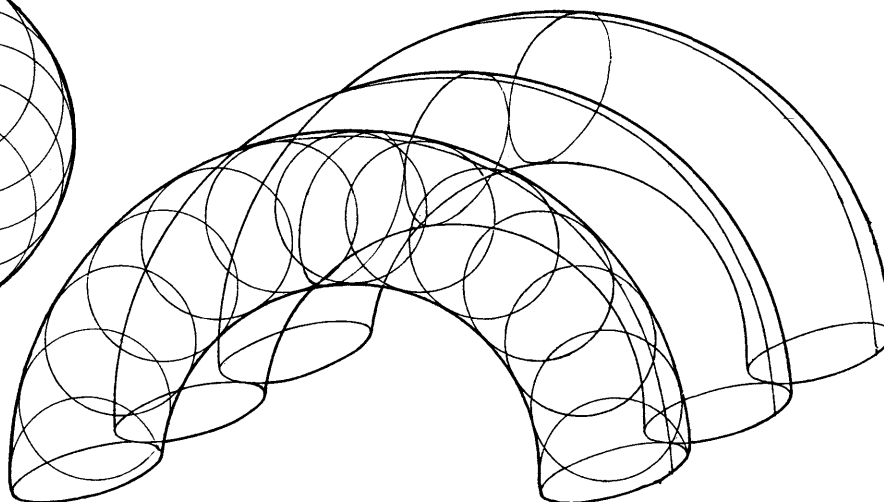
Formas prototípicas de los sistemas  
portantes neumáticos



superficies esféricas con superficies cilíndricas / superficies esféricas e cilíndricas



superficies anulares (toros) / superficies toroidais

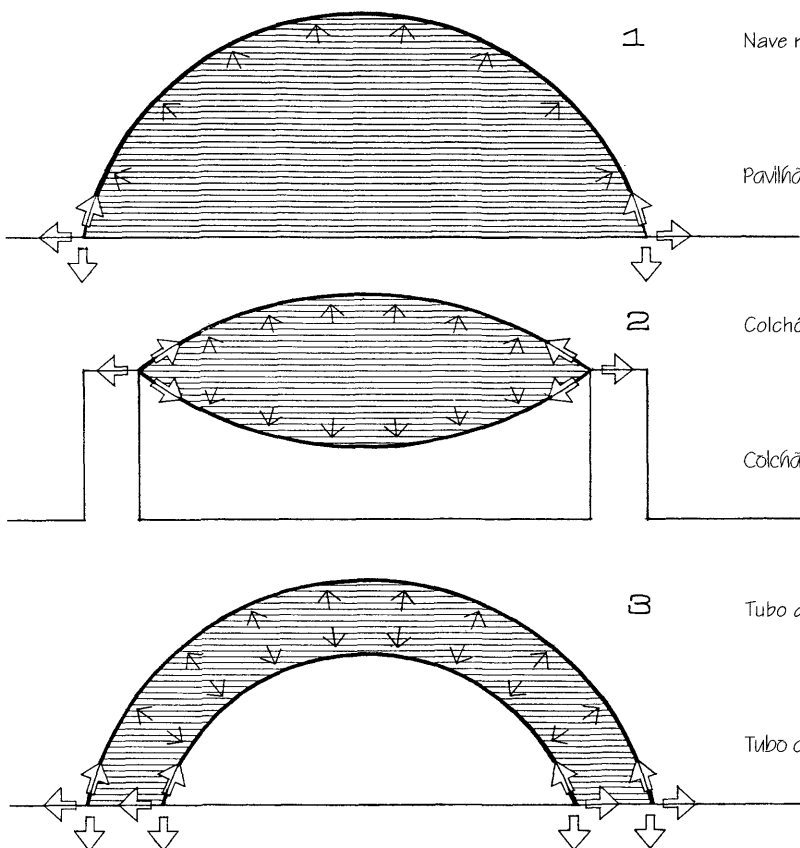


Dado que una superficie esférica, al igual que su adición o fusión, presenta inconvenientes en cuanto a construcción y diseño en planta se refiere, las formas más habituales de las estructuras neumáticas (por motivos de simplificación constructiva y funcionalidad, y no para mejorar la mecánica estructural) son las combinaciones entre superficies esféricas y cilíndricas, así como superficies en forma de toro

Já que a superfície esférica assim como sua de adição ou fusão apresenta inconvenientes em relação à produção e configuração da planta, por razões de simplificação (embora não de melhora de eficácia mecânica) preferivelmente são aplicadas como formas padrão de estruturas pneumáticas, a combinação de superfícies esféricas com cilíndricas e também com superfícies toroidais

## Sistemas básicos de las estructuras neumáticas

Sistemas a sobrepressão



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.

Pavilhão pneumático / Sistema de pressurização interna

O ar pressurizado num volume fechado internamente suporta o espaço envolvente estabilizando-o contra forças atuantes. O volume pressurizado é também espaço utilizado. A força da membrana é diretamente descarregada nas extremidades.

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.

Colchão de ar / Sistema de membrana dupla

O ar pressurizado dentro da almofada serve somente para estabilizar a membrana de suporte e junto com a membrana superior forma uma estrutura de cobertura. As forças nas bordas da membrana necessitam uma construção de contenção para recebê-las.

Tubo de aire / sistemas de envolventes 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.

Tubo de ar / Sistema de envólucro linear

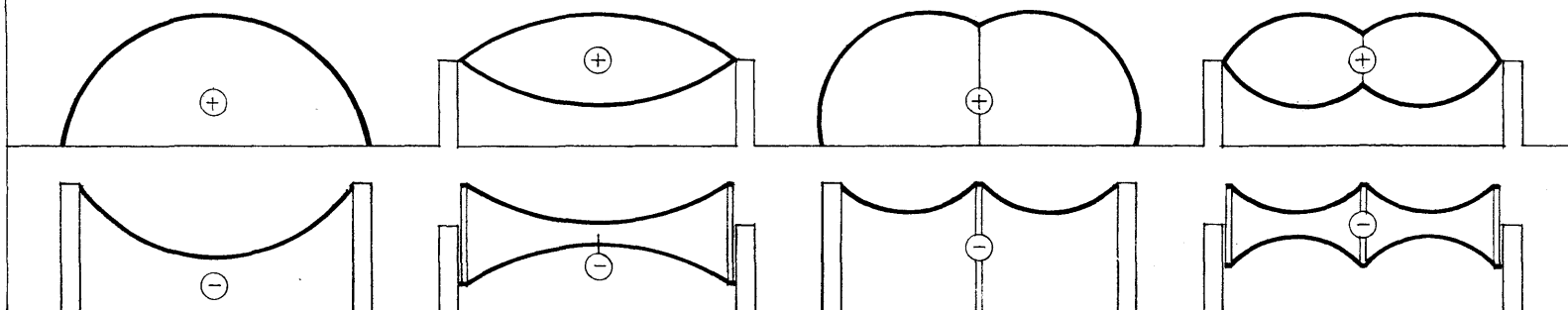
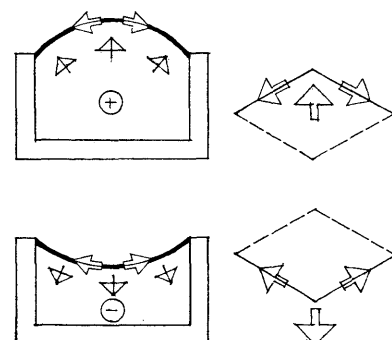
O ar pressurizado estabiliza a forma de tubo e portanto forma membros de estruturas lineares para várias armações de espaços com vão. As forças da membrana serão descarregadas diretamente nas extremidades, assim como os pavilhões suportados por ar.

## 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).

## Exceção = sistemas baixo pressão

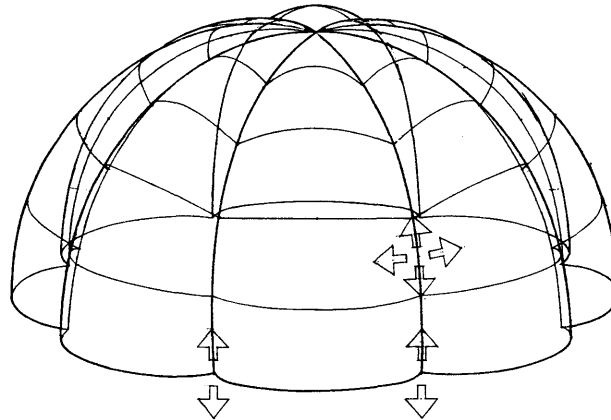
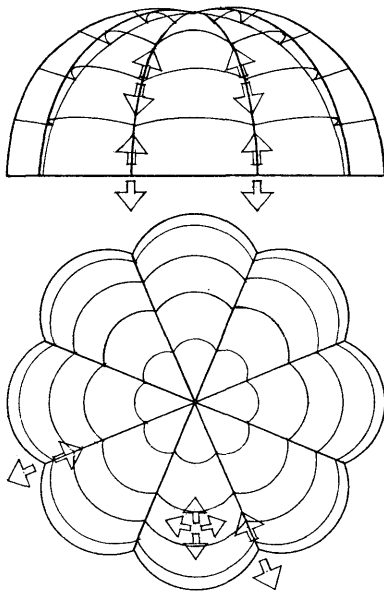
Derivam do princípio mecânico da pressão de ar positivo e também de sistemas baseados na pressão negativa, portanto classificá-los como tipos separados de estruturas pneumáticas é infundado. Em função de que o POTENCIAL DE CRIAR SÓLIDOS do ar não pode ser ativado, são necessários, na maioria das vezes, trabalhosos suportes ou pórticos. Sistemas de pressão negativa não são um tipo separado de estruturas, mas INSTRUMENTOS PARA ESTABILIZAÇÃO das membranas de suporte de carga (suspendidas).



Comparación entre estructuras bajo presión y estructuras por depresión

Comparação de estruturas – sistemas de pressão positiva e negativa

Sistemas de naves neumáticas (presión interior) en los que la transmisión de cargas se realiza, sobre todo, mediante cables  
 Sistema pneumático (interno) com transmissão principal de carga através de cabos

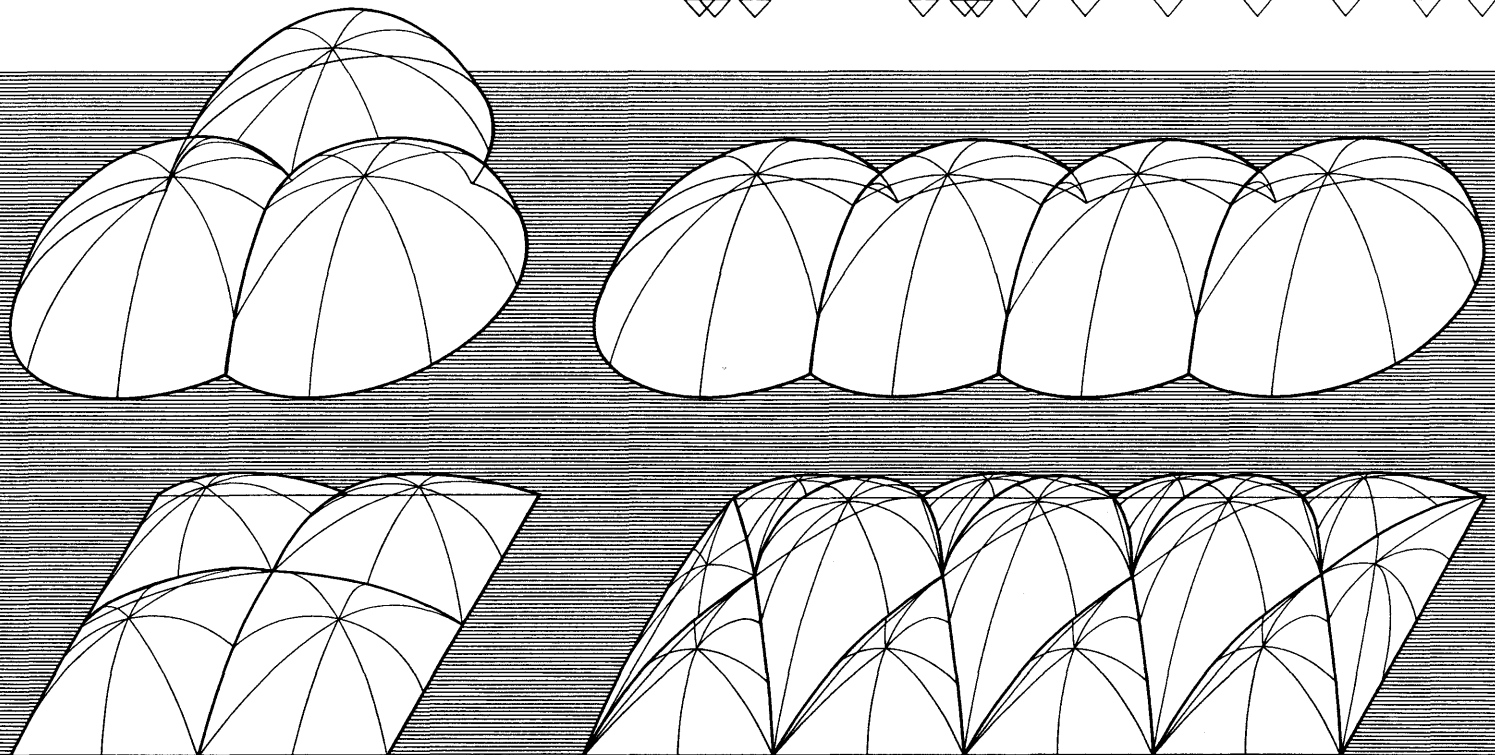
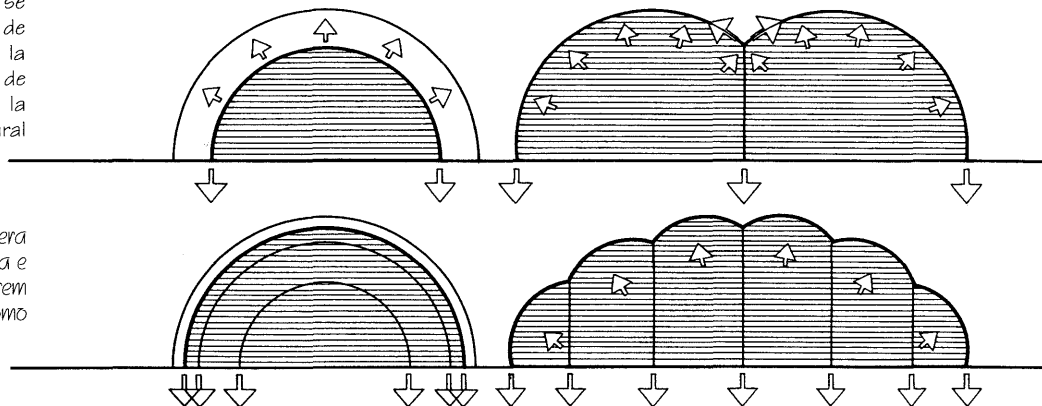


La estabilización de la forma de la envolvente esférica se mejora considerablemente añadiendo cables a tracción y dando mayor curvatura a los diferentes segmentos de cada uno de los casquetes esféricos de la membrana. De esta manera se pueden cubrir grandes luces.

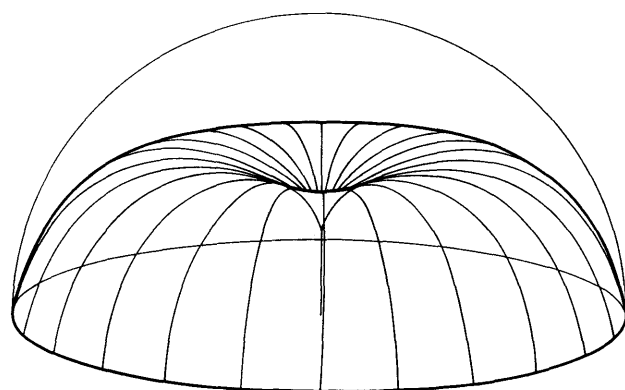
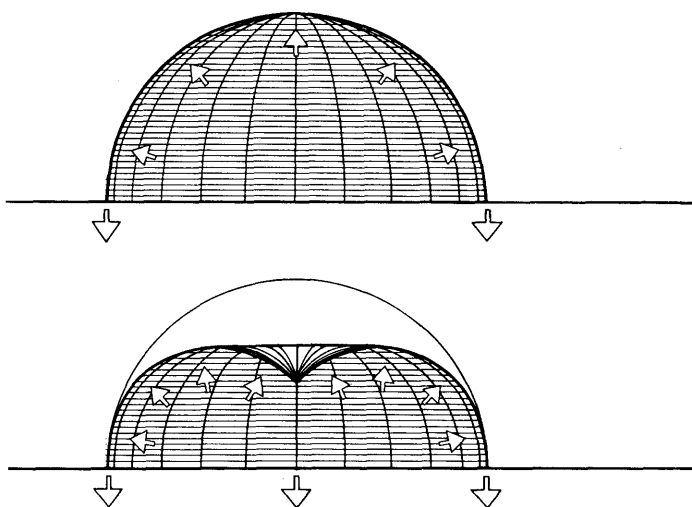
A estabilização da forma do invólucro esférico será notavelmente melhorada ao introduzir-se cabos tensionados e prover as unidades segmentares com membranas de mais curvatura. Por este método, pavilhões pneumáticos de vãos maiores podem ser viáveis.

Disponiendo cables a tracción, la superficie esférica se puede subdividir en diferentes elementos con un radio de curvatura más pequeño, por lo que las tensiones en la membrana serán menores. Los cables se encargan de transmitir la mayor parte de la carga, mientras que la membrana cumple la función de elemento estructural intermedio de segundo orden.

Atravessada por cabos tensionados, a superfície da esfera pode ser dividida em seções com raios de menor curvatura e portanto menores tensões de membrana. Os cabos transferem as principais forças enquanto a membrana funciona como estrutura secundária intermediária.

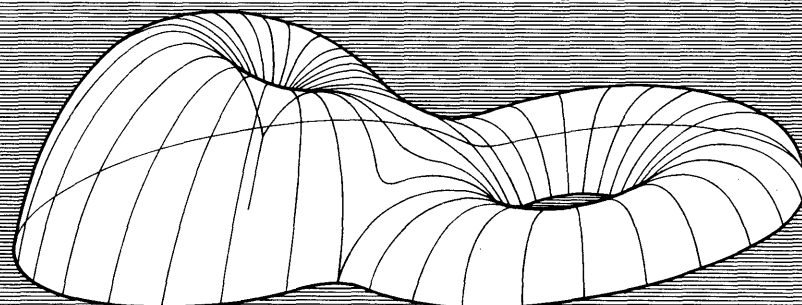
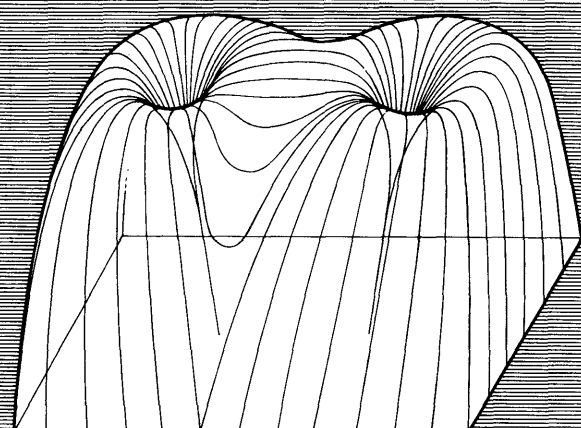
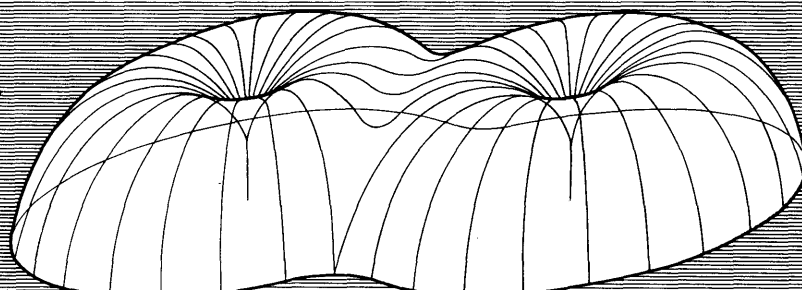
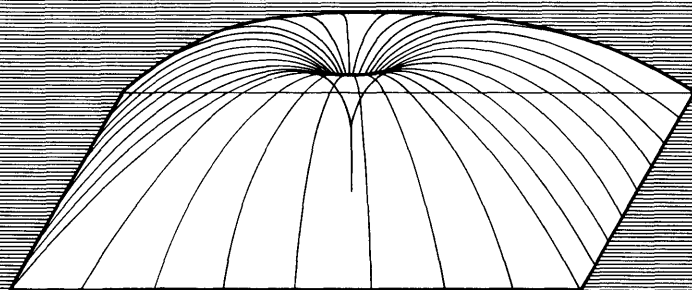


Sistemas de presión interior con puntos bajos  
Sistemas de pressão interna com pontos de ancoragem interiores



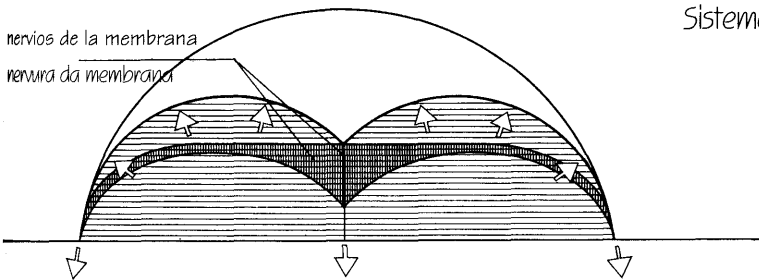
Anclando la membrana no sólo por su perímetro, sino también en la zona central, se reduce el radio de curvatura de la membrana y, con ello, las tensiones en su superficie. De esta manera, se pueden cubrir y delimitar espacios más grandes sin aumentar la altura de la construcción.

Por meio da ancoragem da membrana, não apenas a borda, mas também a porção central, o raio de curvatura e, por consequência, os esforços na membrana são reduzidos. Desse modo, são possíveis a cobertura e o fechamento de amplos espaços sem aumento da altura da construção.



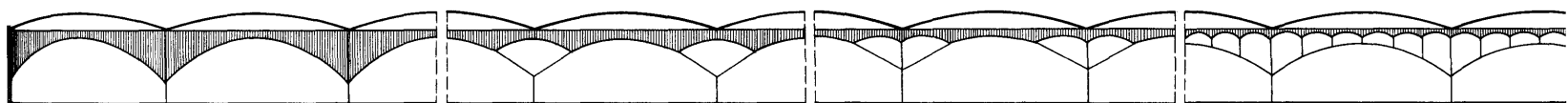
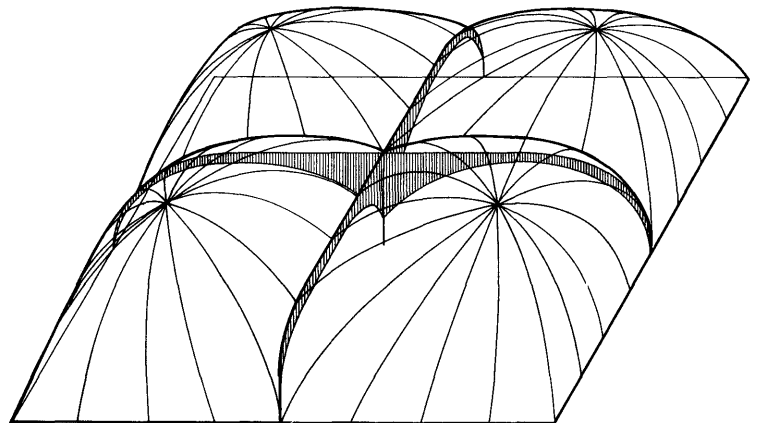
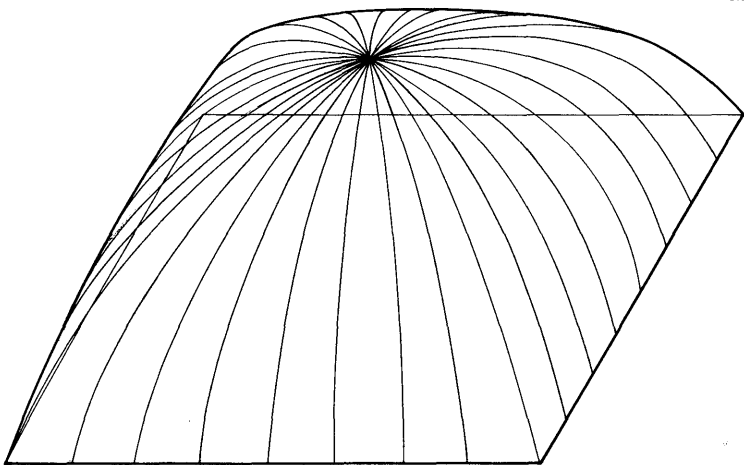
Sistemas neumáticos de presión interior en los que la transmisión de cargas se realiza, sobre todo, a través de nervios en la membrana

Sistemas pneumáticos de pressão interna com maior transmissão de carga através das nervuras da membrana

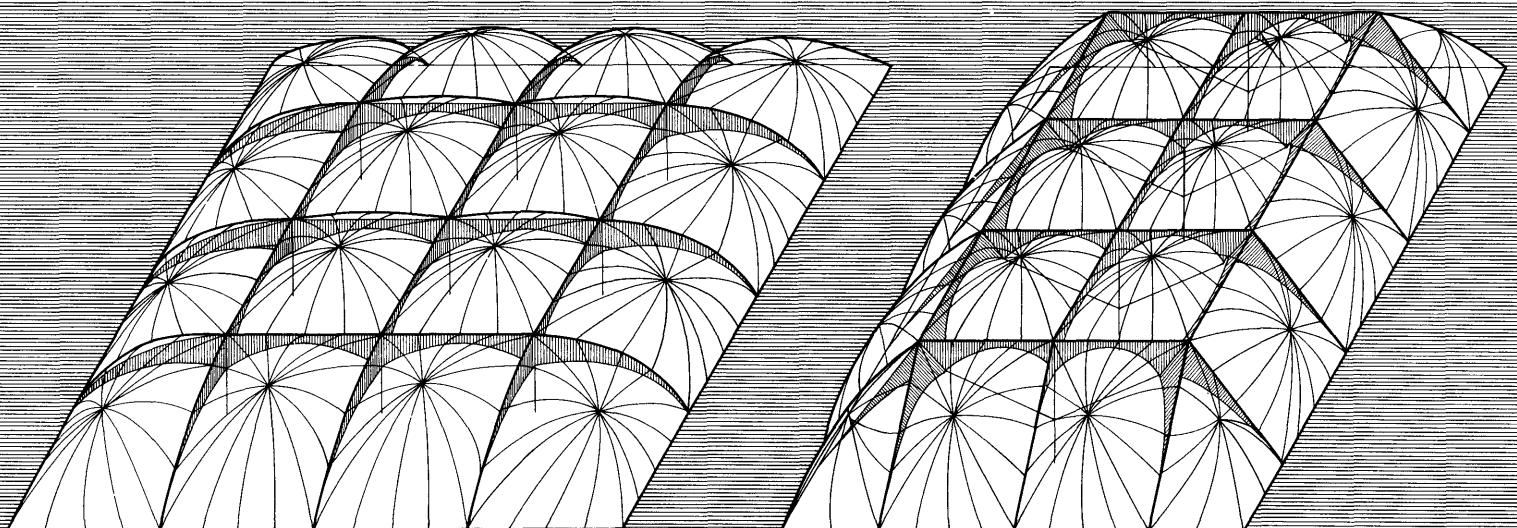


Las superficies esféricas también se pueden subdividir en partes más pequeñas con un radio de curvatura menor y, en consecuencia, con menores tensiones en su superficie, colocando pequeñas membranas verticales ancladas por su extremo inferior (nervios). Dado que este sistema permite construir limahoyas de cubierta rectas, se pueden cubrir espacios muy grandes.

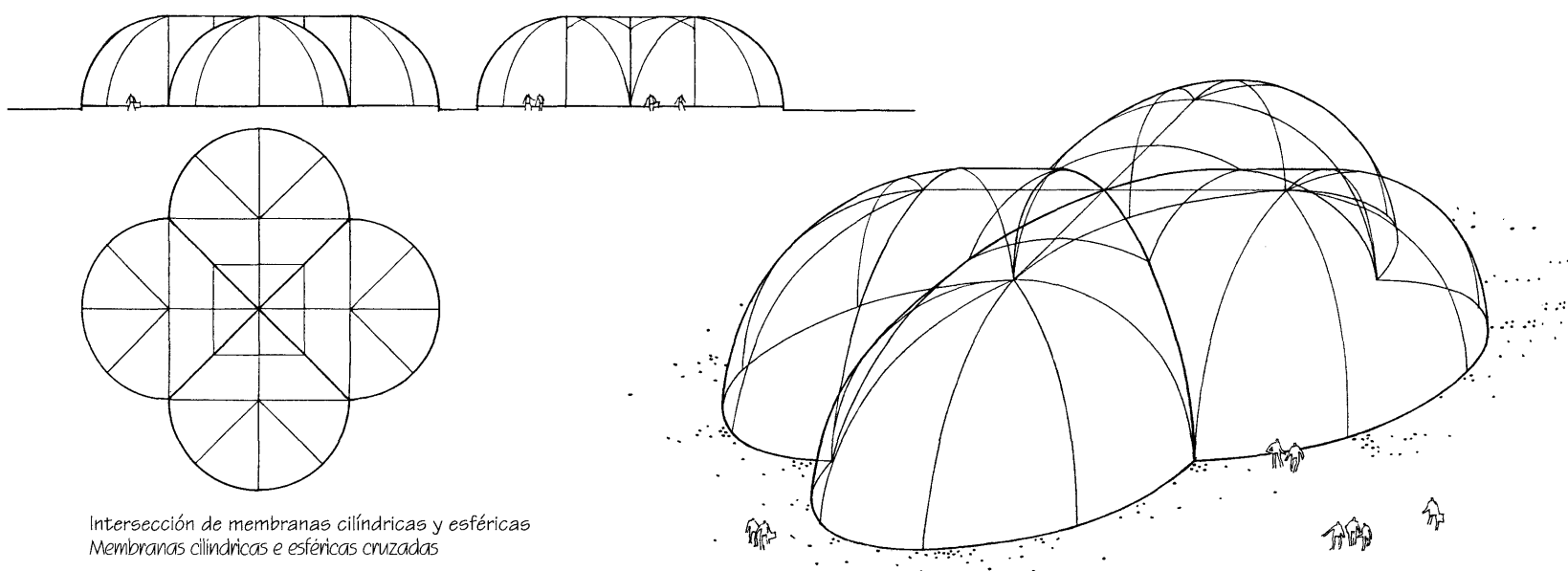
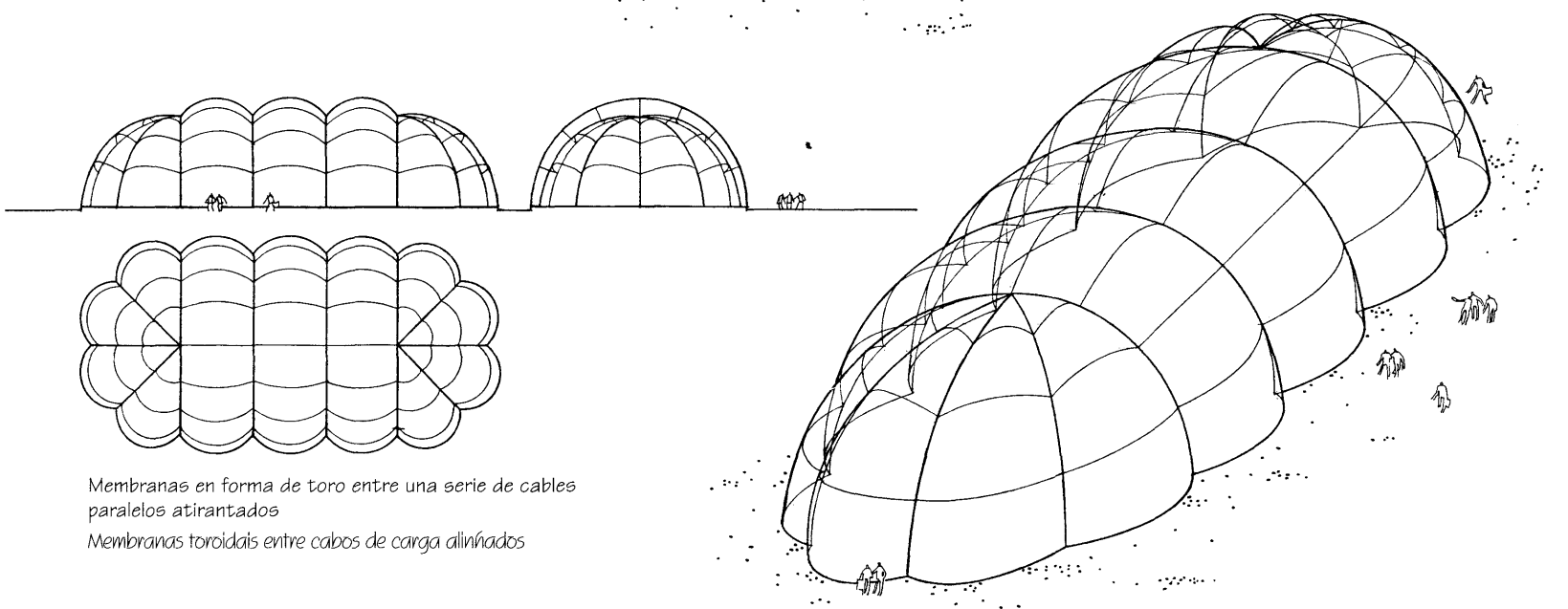
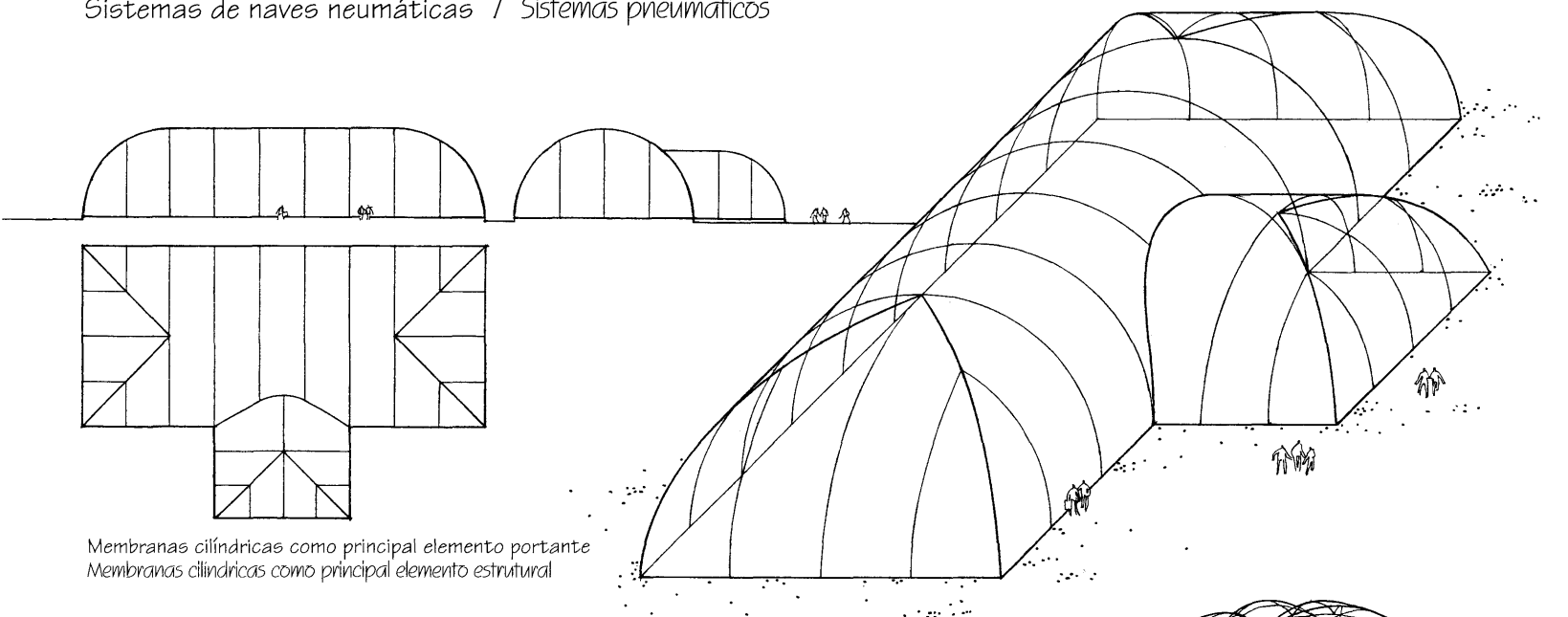
Não apenas através de cabos isolados, mas também pelo uso de membranas verticais (nervuras de membranas) ancoradas às fundações, a superfície esférica pode ser subdividida em seções menores com menor raio de curvatura. Assim obtém-se, conseqüentemente, menores esforços da membrana, uma vez que é possível formar desse modo águas-furtadas planas e cobrir grandes áreas.



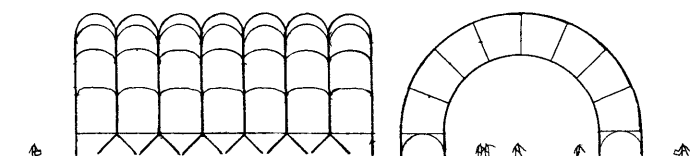
Diseño de los nervios de la membrana / Desenho das nervuras das membranas



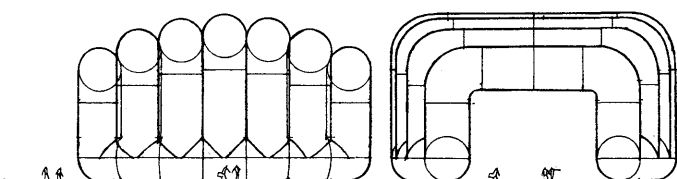
## Sistemas de naves neumáticas / Sistemas pneumáticos



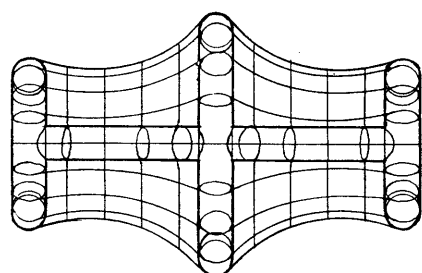
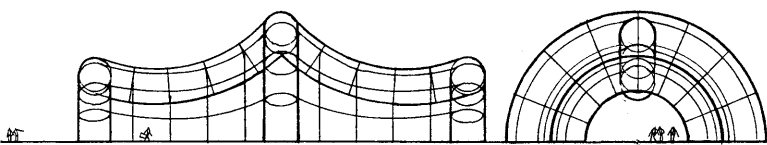
## Sistemas de tubos de aire / Sistemas de tubo de ar



Tubos de aire en forma de arco situados encima de medio tubo recto  
Arcos tubulares em fileira colocados sobre bases de semi-tubos retos

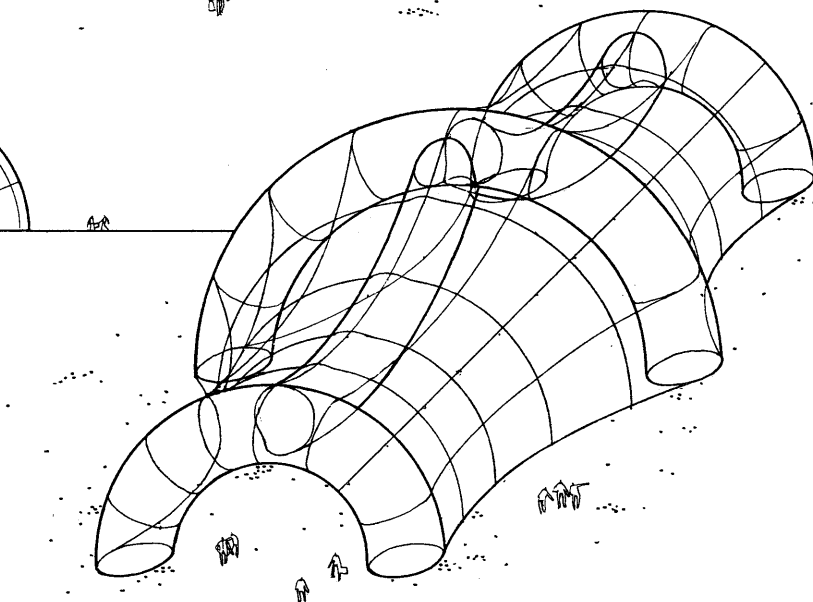
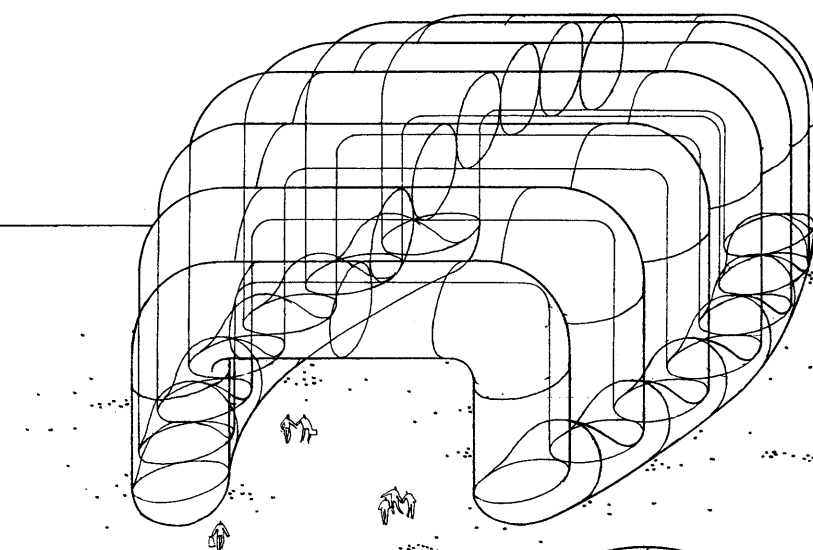
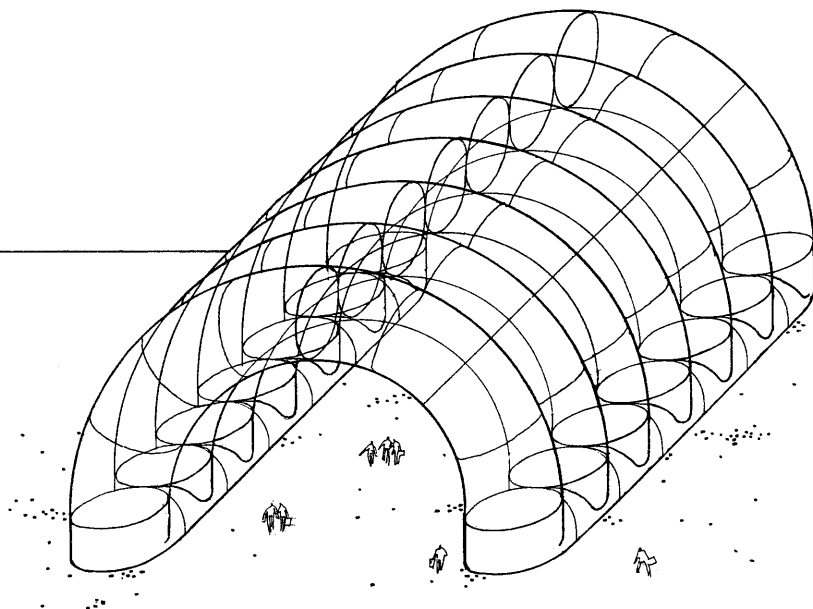


Tubos de aire en forma de pórtico situados encima de un tubo curvo  
Pórticos tubulares em fileira colocados sobre bases de tubos curvados



Esqueleto de tubos curvos y delimitación del espacio mediante una malla de cables o una membrana

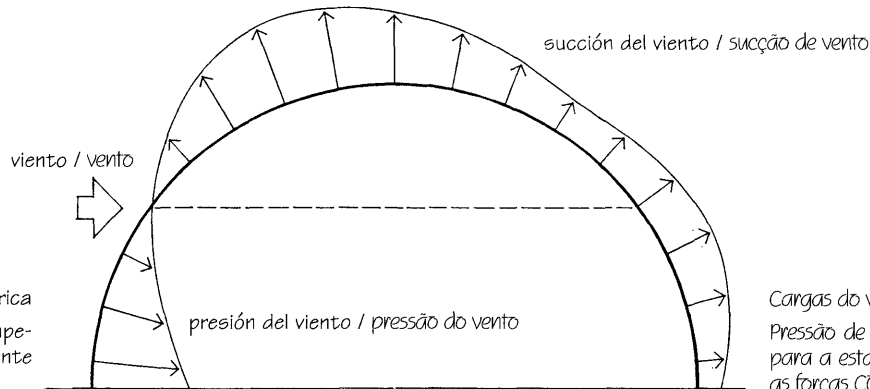
Esqueleto tubular curvado com rede de cabos ou membrana como espaço fechado



Evolución de la nave neumática en forma de cúpula plana atirantada con una malla de cables, a partir del sistema estándar de naves neumáticas soportadas por aire

Desenvolvimento de pavilhões pneumáticos de baixo perfil com cabos de contenção a partir de sistema padrão de pavilhões pneumáticos

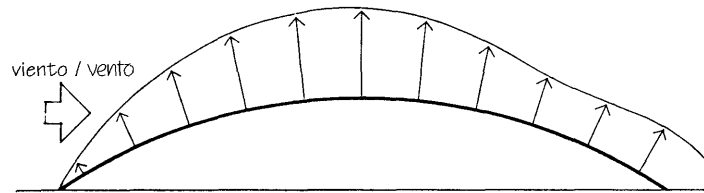
**Carga de viento de la cúpula semiesférica**  
Es necesaria una presión interior superior para estabilizar la membrana frente a la PRESIÓN del viento



**Cargas do vento em cúpula semi-esférica**  
Pressão de ar interna adicional necessária para a estabilização da membrana contra as forças COMPRESSORAS do vento

**Reducción del perfil hasta el segmento plano**

Sobre la membrana sólo actúa la SUCCIÓN del viento. Sin embargo, debido a la menor curvatura de la membrana se necesita aumentar la presión interior para estabilizar la forma de la membrana

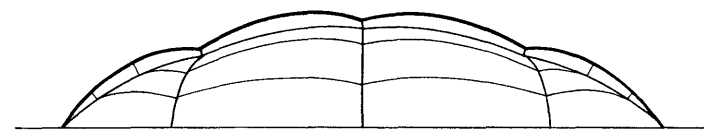


**Redução de perfil para segmento de baixa altura**

Membrana sendo tensionada somente pela SUCCÃO do vento; mas é necessária uma pressão interna adicional para a estabilização da membrana por causa da sua curvatura reduzida

**Transmisión de las cargas, sobre todo, a través de cables**

Descarga de la membrana mediante cables atirantados / estabilización más eficaz gracias a la mayor curvatura de la membrana

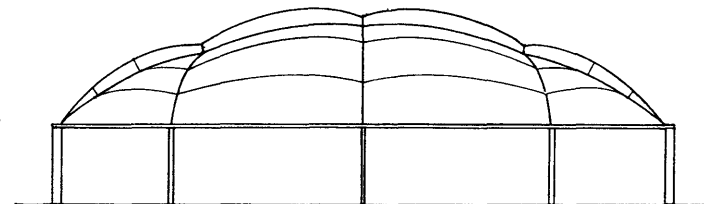


**Transmissão principal de carga através de cabos**

Descarga da membrana através de cabos de contenção / melhoria de estabilização graças ao menor raio de curvatura da membrana

**Elevación de la cúpula plana**

Se puede aumentar el espacio interior elevando el plano de anclaje (en vez del anclaje directo al suelo, como en el caso de la típica nave neumática)

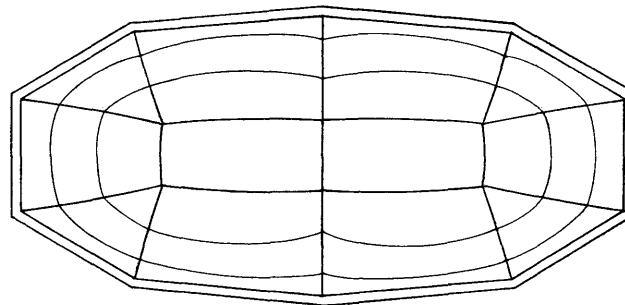


**Realce de cúpula baixa**

Aumento do espaço de ar interno através do posicionamento do plano de ancoragem sobre pilotis (em lugar de deixá-lo no nível do solo como o pavilhão pneumático padrão)

**Diseño de la viga perimetral de anclaje**

Forma funicular de la viga perimetral de soporte (arco horizontal) en relación con los esfuerzos en los cables para reducir las tensiones de flexión

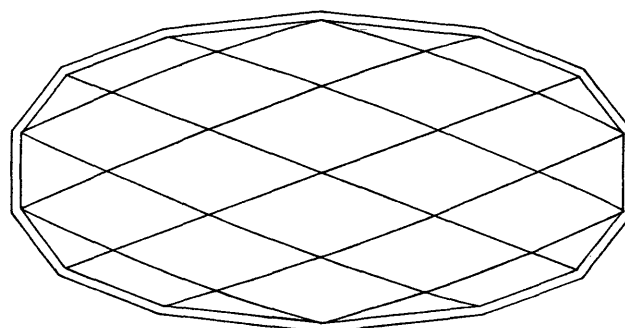


**Configuração da viga perimetral**

Delineação funicular da viga perimetral (arco horizontal funicular) de acordo com as forças dos cabos para a redução da tensão de curvatura

**Densificación de la malla de cables de anclaje**

Aumento de la estabilización a consecuencia de la acción conjunta de la malla de cables y reducción simultánea de los segmentos de membrana mediante una subdivisión modular



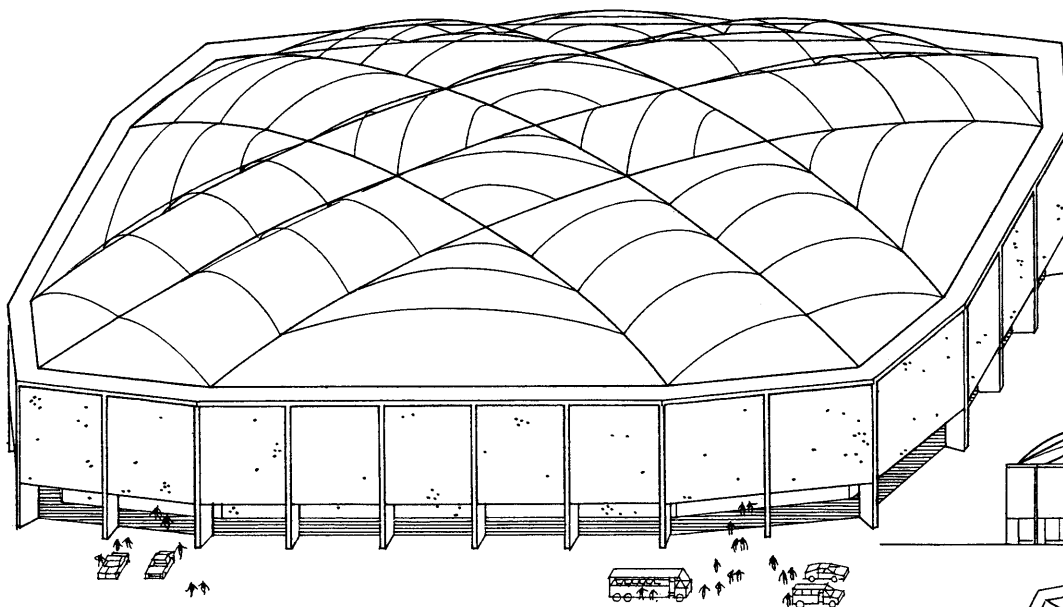
**Extensão restringida por redes de cabos**

Aumento em estabilidade por causa do comportamento conjunto da rede de cabo com a redução de tamanho e subdivisão modular em segmentos de membrana

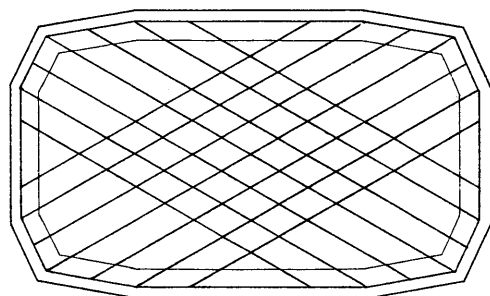
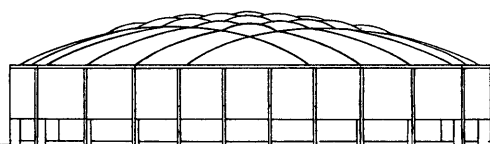
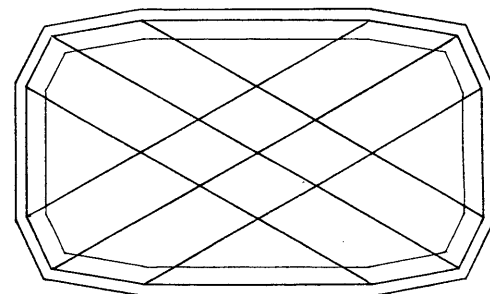
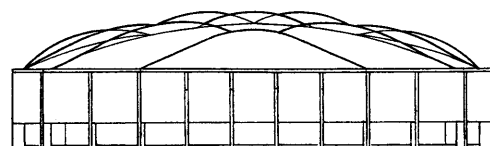


Grandes naves neumáticas en forma de cúpula plana y atirantadas mediante cables

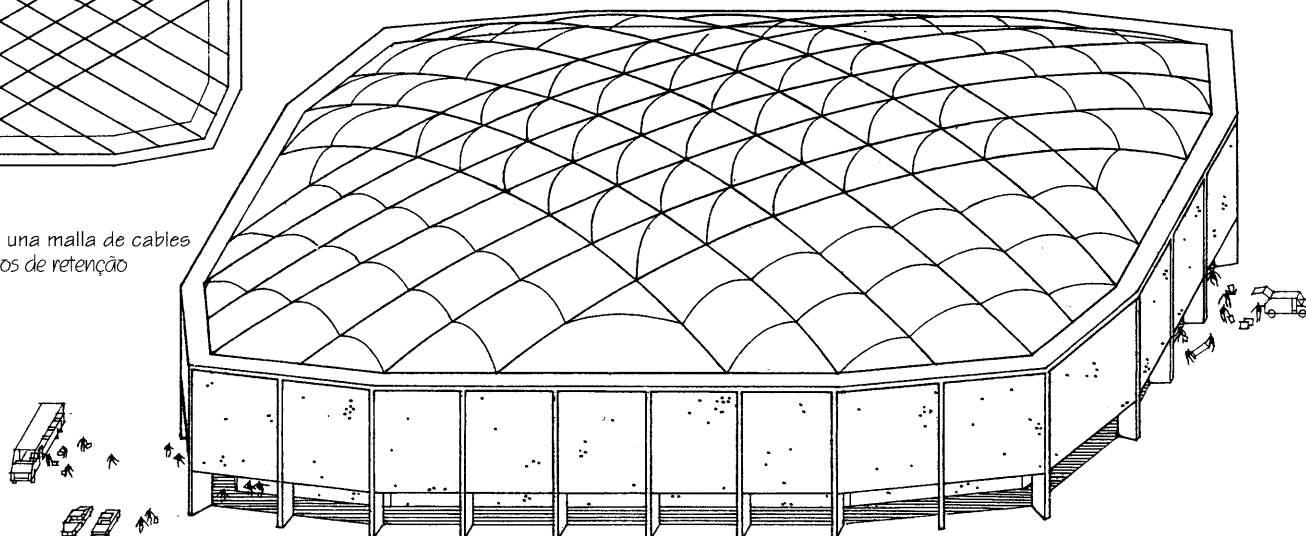
Super-pavilhões de ar de baixo perfil com cabos de retenção de retenção

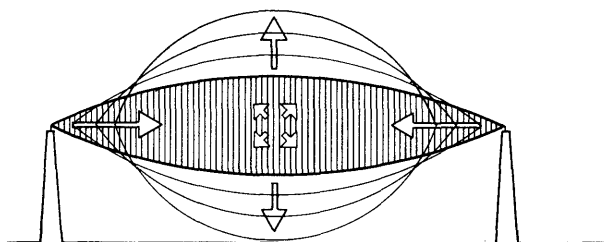


Membrana atirantada  
con cables independientes  
Membrana com cabos de retenção  
independentes



Membrana atirantada con una malla de cables  
Membrana com rede de cabos de retenção





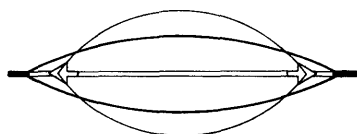
Sistemas de doble membrana

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.

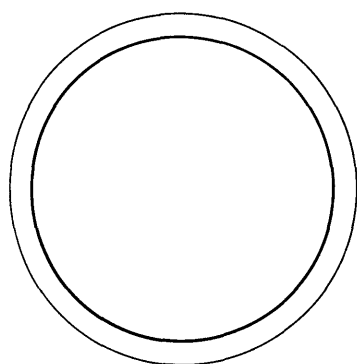
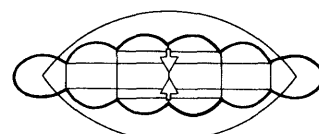
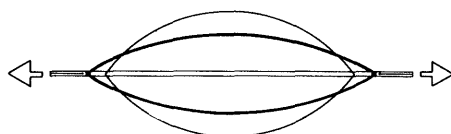
Através do fechamento do espaço com ar comprimido com outra membrana embaixo (ao invés da incorporação do piso), os espaços podem ser cobertos, mesmo quando abertos lateralmente para o exterior. Um requisito prévio para o mecanismo portante é que a membrana não pode ficar abaulada no meio, adquirindo forma esférica.

Sistemas de retención de colchón de ar

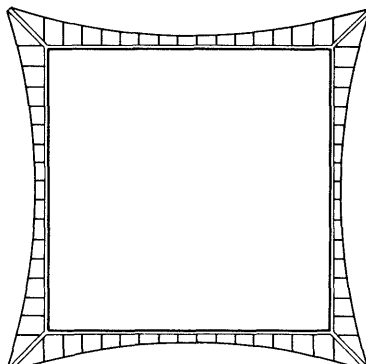
Sistemas de retención para los colchones de aire



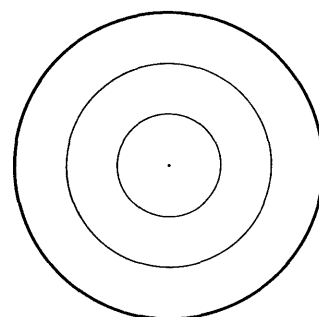
Sistemas de retención com colchões de ar



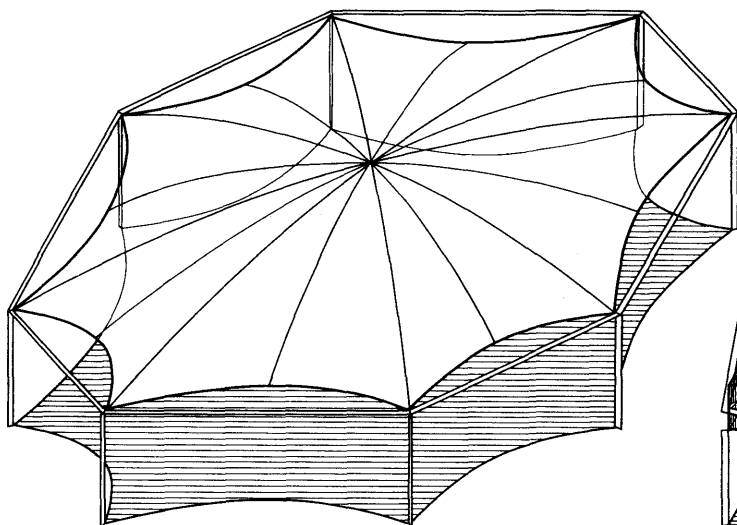
Fijación perimetral con anillo a compresión  
Fixação da borda com anel de compressão



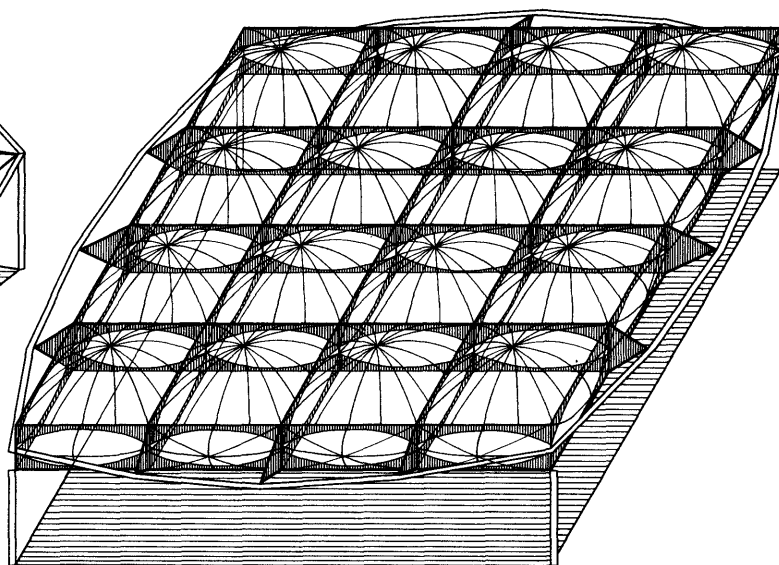
Fijación perimetral con barras a compresión y cables a tracción  
Fixação da borda com barras de compressão e cabos de suspensão



Control de la altura mediante cables o nervios internos  
Controle da altura com cabos ou nervuras internas

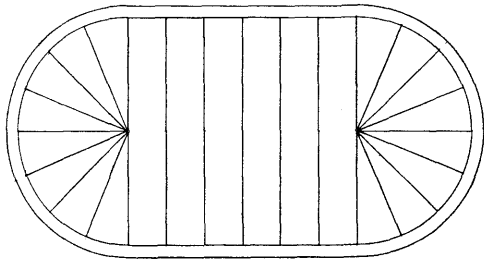
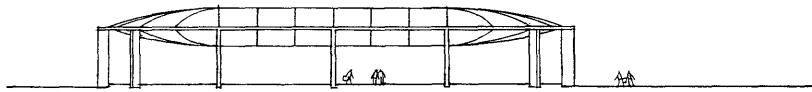


Sistema de cámara única con anillo de barras a compresión como mecanismo de retención  
Sistema de câmara simples com anel de compressão poligonal

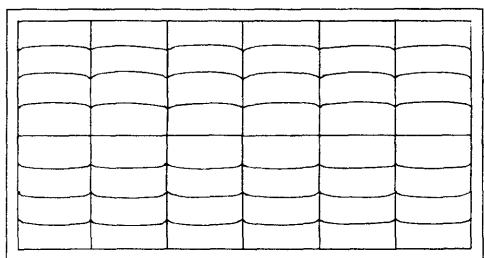
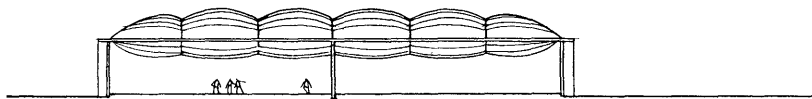
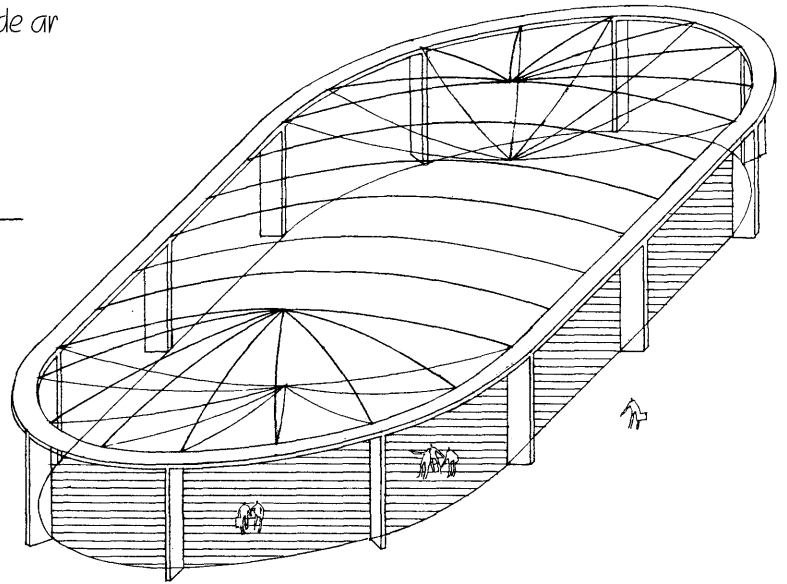


Sistema de múltiples cámaras con nervios y arcos a compresión como mecanismo de retención  
Sistema de câmara múltipla com nervuras de membranas e arcos com mecanismos de retención

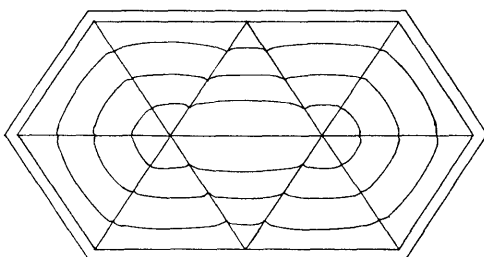
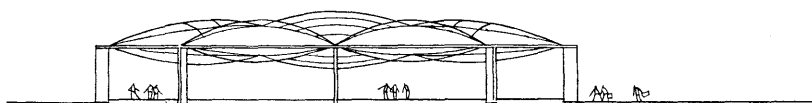
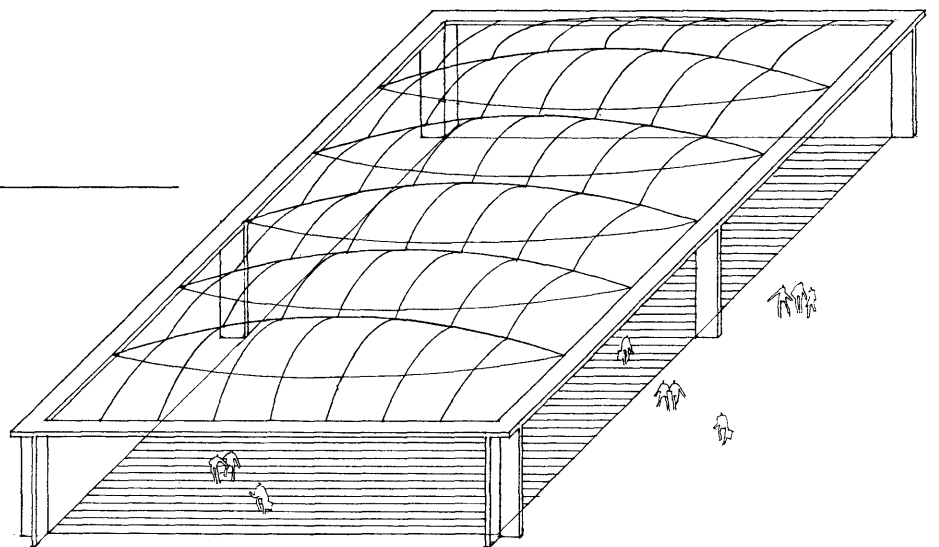
## Sistemas de colchones de aire / Sistemas de colchão de ar



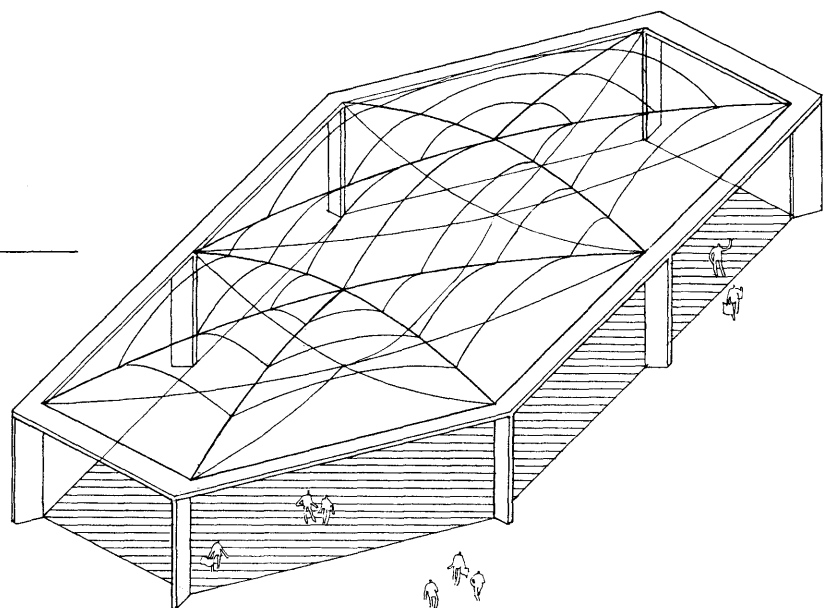
Membranas esféricas y cilíndricas como principales elementos portantes  
Membranas esféricas e cilíndricas como principais elementos estruturais



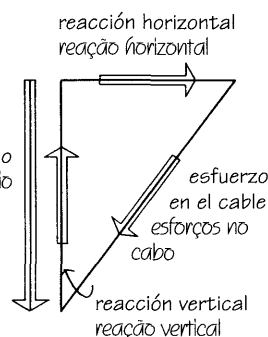
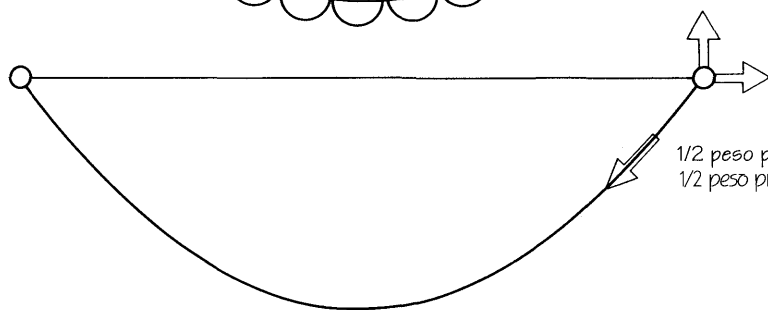
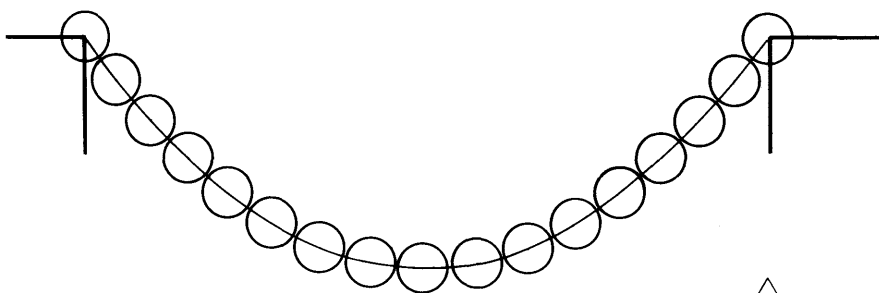
Membranas entre serie de cables dispuestos en paralelo  
Membranas entre cabos de carga em fileiras



Segmentos de membrana entre cables oblicuos en una malla cruzada  
Segmentos de membrana entre cabos de carga em modelo de rede oblíqua



Cable portante y arco funicular: mecanismo portante  
Cabo de suspensão e arco: mecanismo de sustentação

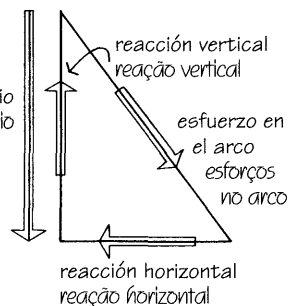
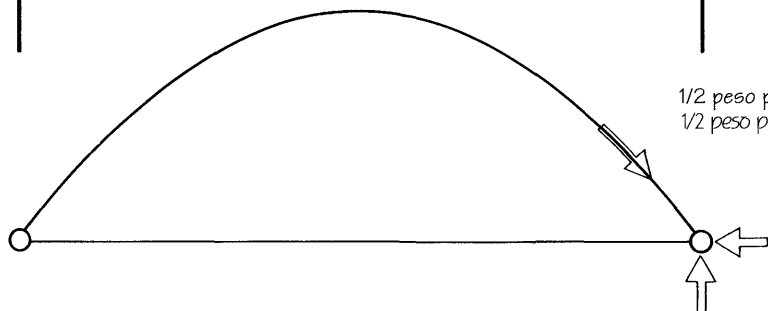
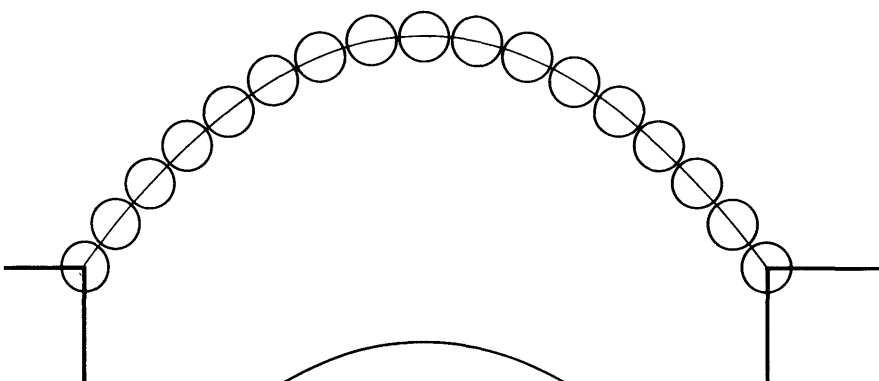


Cable portante

Cabo de suspensión

El cable portante sólo puede absorber tracciones. Si sólo actúa su peso propio, adopta la forma de una catenaria

O cabo de suspensión é capaz de desenvolver apenas esforços de tração. Se atua apenas seu peso próprio, adota a forma de uma catenária

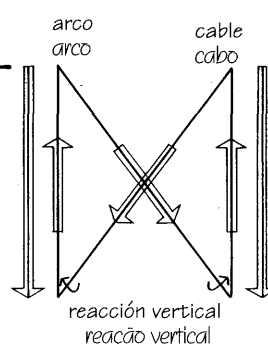
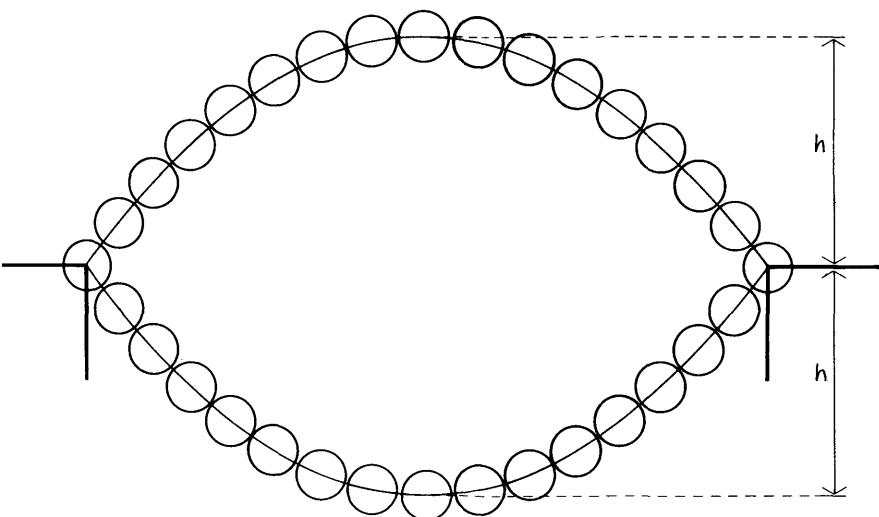


Arco funicular

Arco funicular

El "cable portante" invertido sólo absorbe compresiones de la misma magnitud que el cable portante. La línea que adopta un arco que sólo ha de soportar su peso propio es, por ello, la catenaria invertida

O "cabo" invertido desenvolve apenas esforços de compressão da mesma grandeza que os esforços de tração no cabo. A forma funicular de um arco baixo sob peso próprio é, então, uma catenária invertida



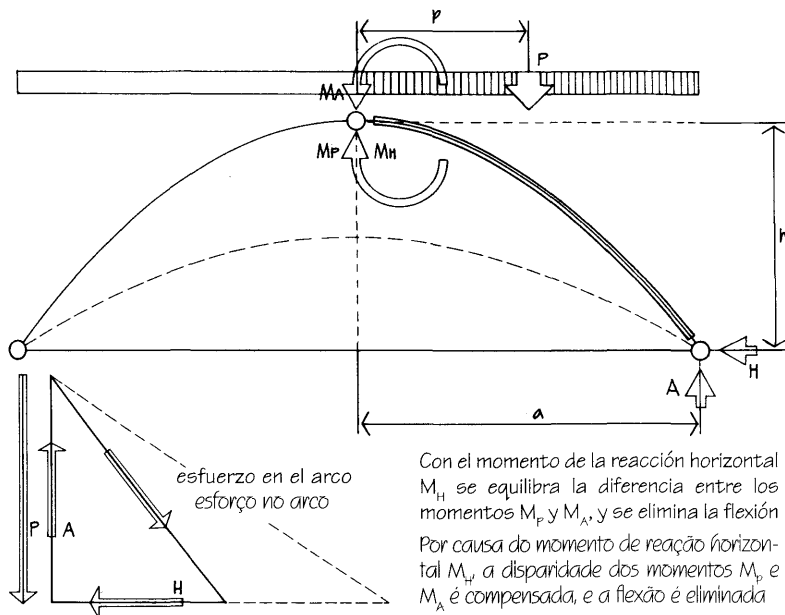
Combinación de arco funicular y cable portante

Combinação de arco e cabo de suspensão

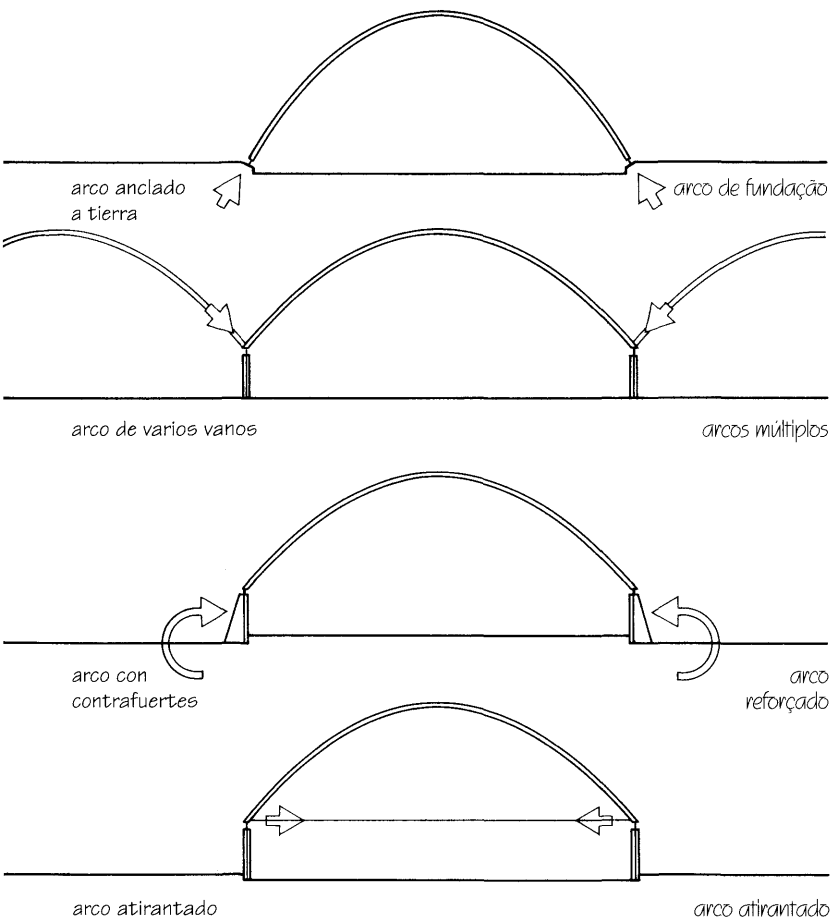
La combinación de cable portante y arco funicular no provoca ninguna reacción horizontal, ya que las componentes horizontales de ambos son opuestas y se equilibran entre sí

A combinação de cabo e arco de suspensão não produz nenhuma reação horizontal, uma vez que os componentes horizontais de ambos possuem direções opostas e anulam-se

### Mecanismo de palanca del arco funicular Mecanismo de alavanca do arco funicular



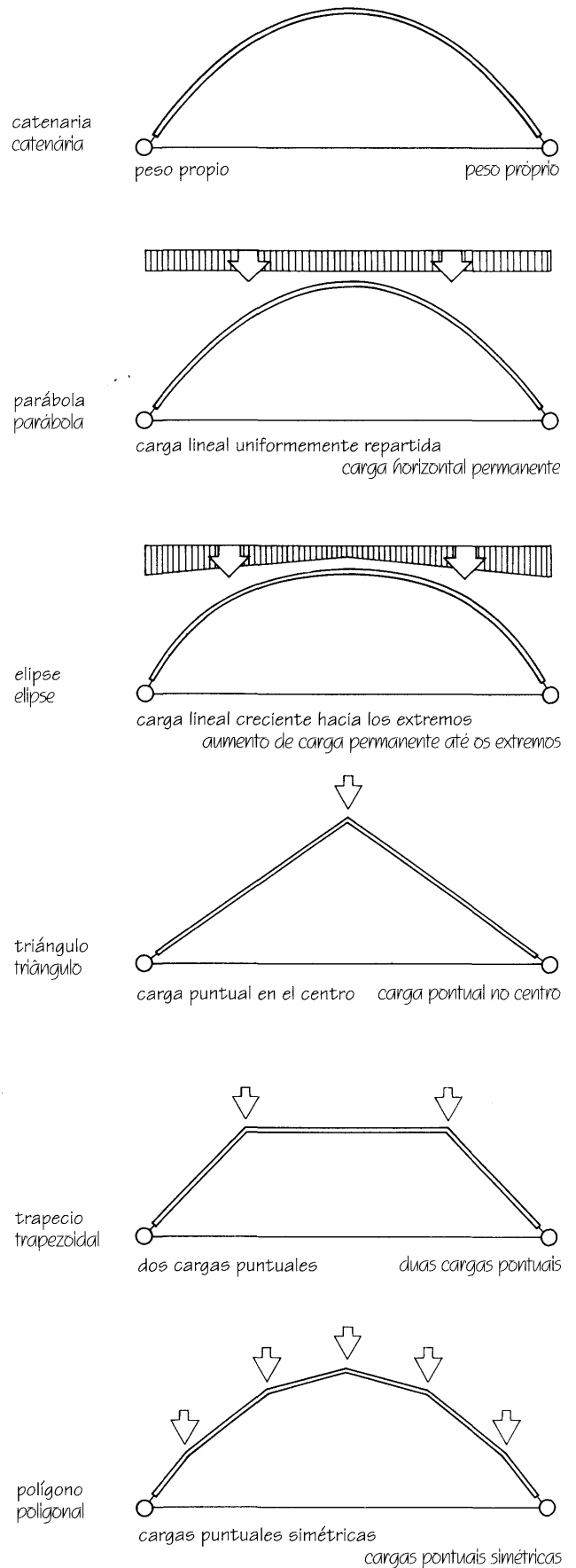
### Sistemas de arcos caracterizados por el tipo de absorción de empujes horizontales Sistemas de arcos caracterizados pelo método da resistência de empuxo horizontal



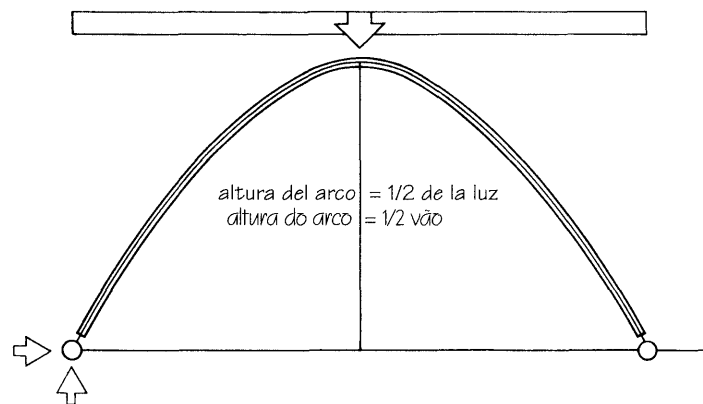
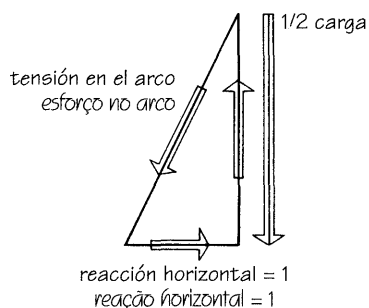
## Formas geométricas

## Formas geométricas

en función del estado de cargas / dependência da condição de carga

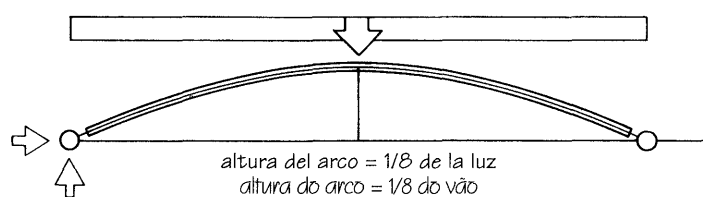
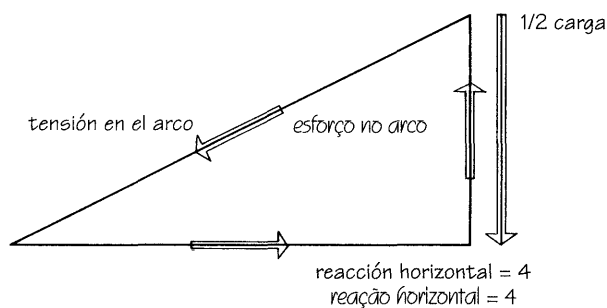
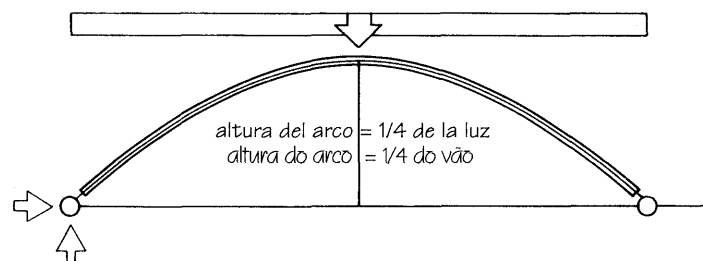
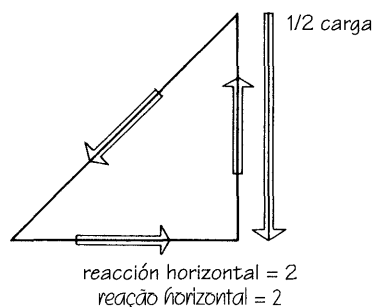
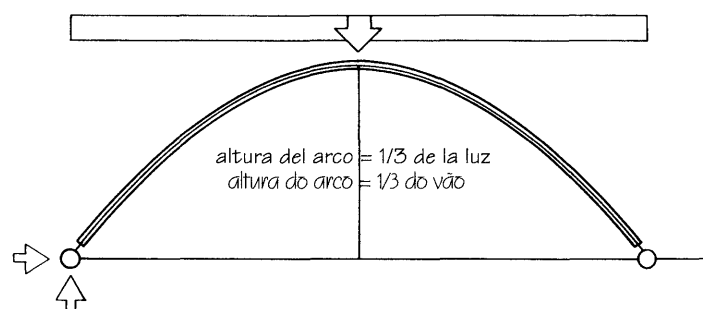
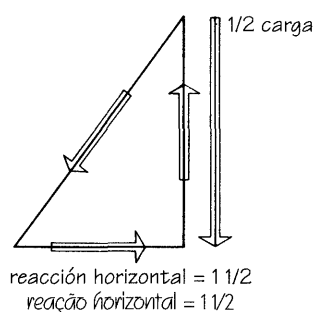


Influencia de la altura del arco en las reacciones en los puntos de apoyo  
Influência da altura do arco nos esforços dos apoios

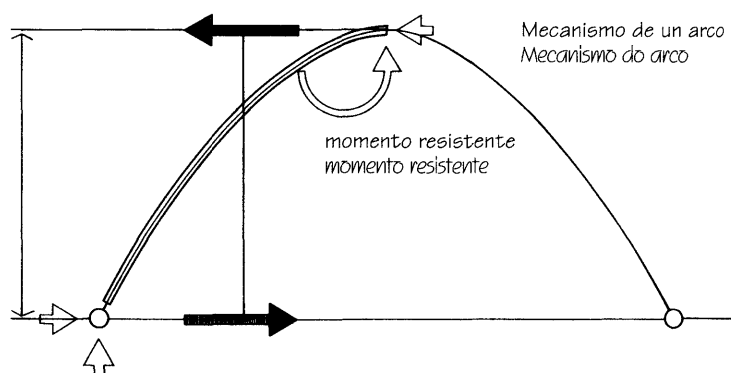
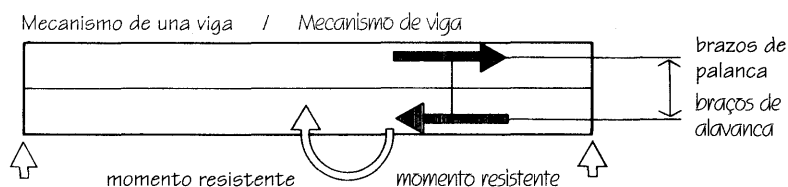


El empuje horizontal de un arco funicular es inversamente proporcional a su altura. Para reducir el empuje horizontal en los apoyos, el arco debería ser lo más alto posible

O empuxo de um arco é inversamente proporcional à sua altura. Para reduzir o empuxo, a altura do arco deve ser a maior possível

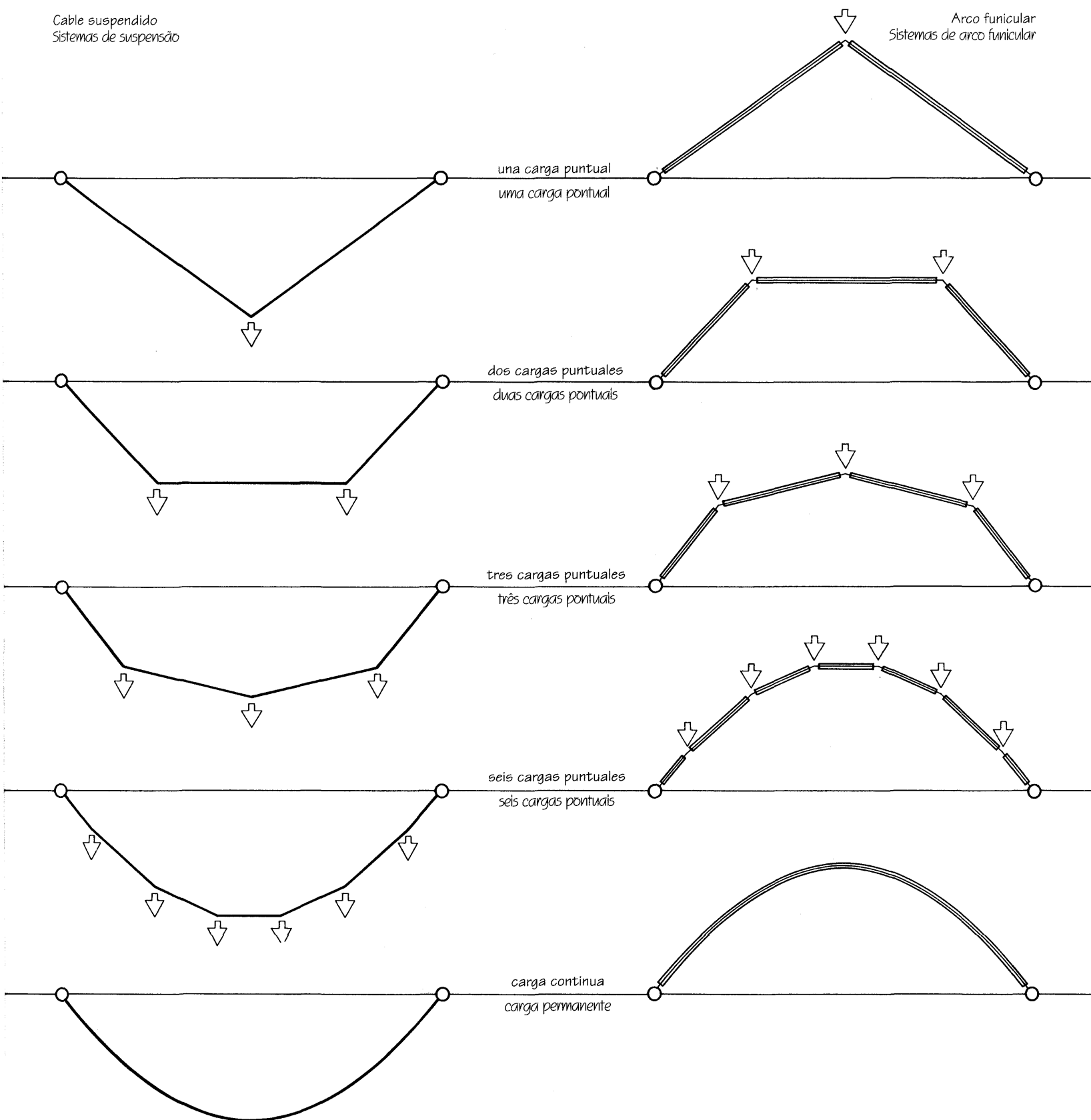


Comparación entre el mecanismo de una viga y de un arco  
Comparação entre o mecanismo de viga e o mecanismo de arco

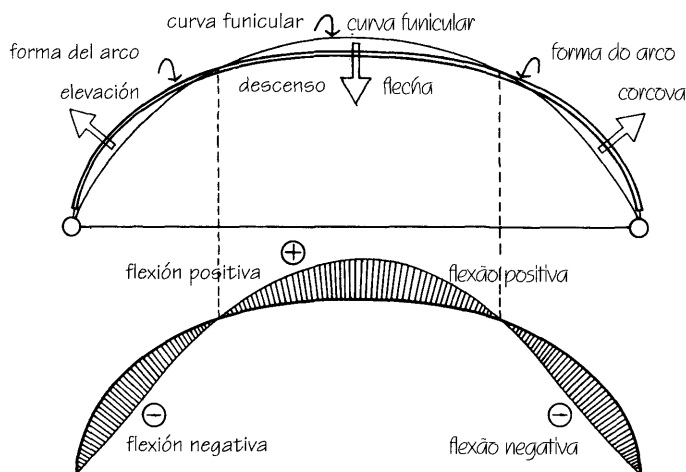


Relaciones entre cable suspendido y arco funicular

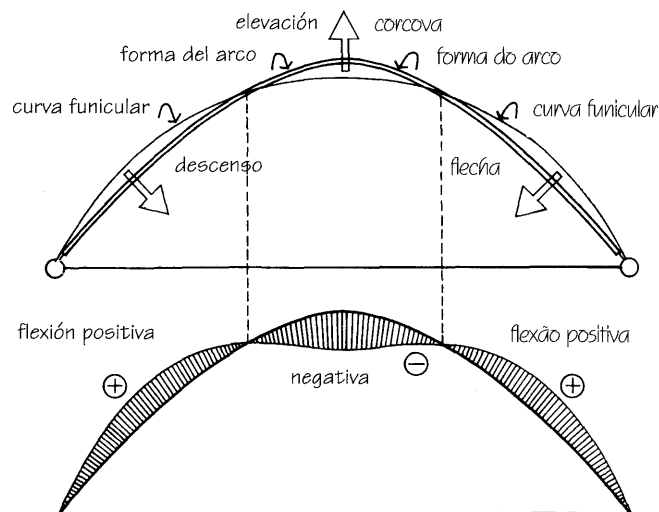
Relações entre cabo de suspensão e arco funicular

Cable suspendido  
Sistemas de suspensiónArco funicular  
Sistemas de arco funicular

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

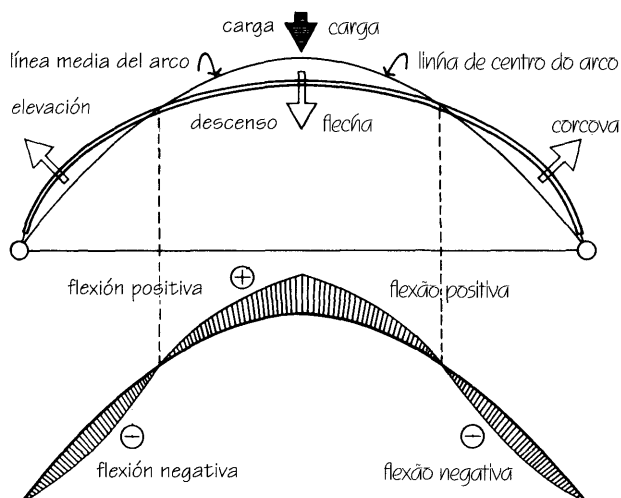


Flexão devida ao desvio da linha de centro da curva funicular

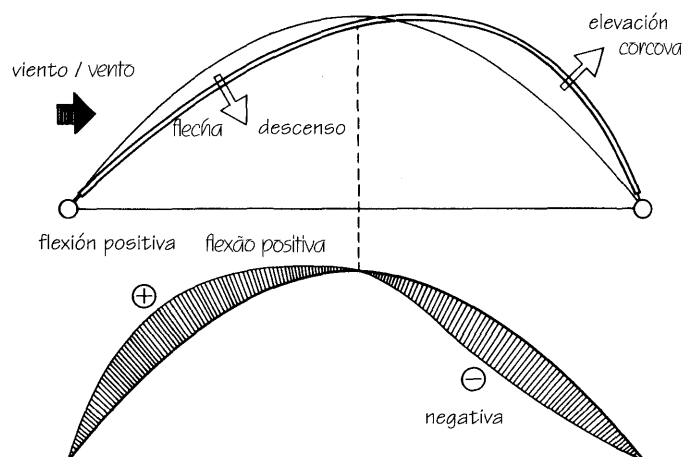


Cualquier desplazamiento de la línea media del arco de la curva funicular provoca una elevación o un descenso del arco, y con ello una flexión  
Qualquer desvio da linha de centro do arco com relação à linha de compressão funicular causará tanto flecha quanto corcova do arco, originando flexão em ambos os casos

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



Flexão devida a uma carga adicional, vertical ou horizontal



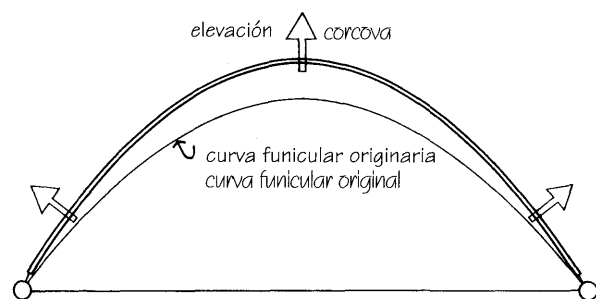
Cualquier carga adicional provoca una modificación en la forma del arco y con ello su línea media se aparta de la curva funicular, provocando una flexión  
Qualquer carga adicional causará deformação do arco e conseqüentemente desvio da linha funicular de compressão, resultando em flexão

Cambios térmicos

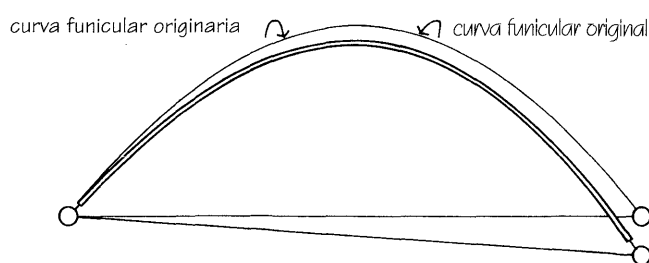
Variações térmicas

Asientos de la cimentación

Posição das fundações



Una dilatación (o contracción) debido a un cambio de temperatura provoca flexión  
A dilatação (contração) devido a variações térmicas provoca flexão

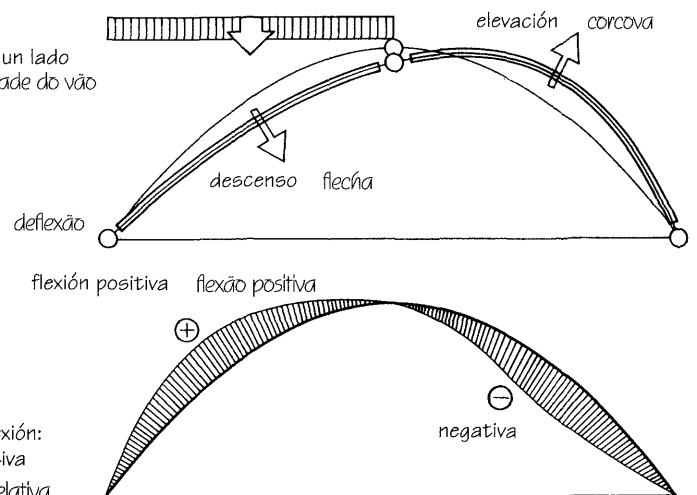
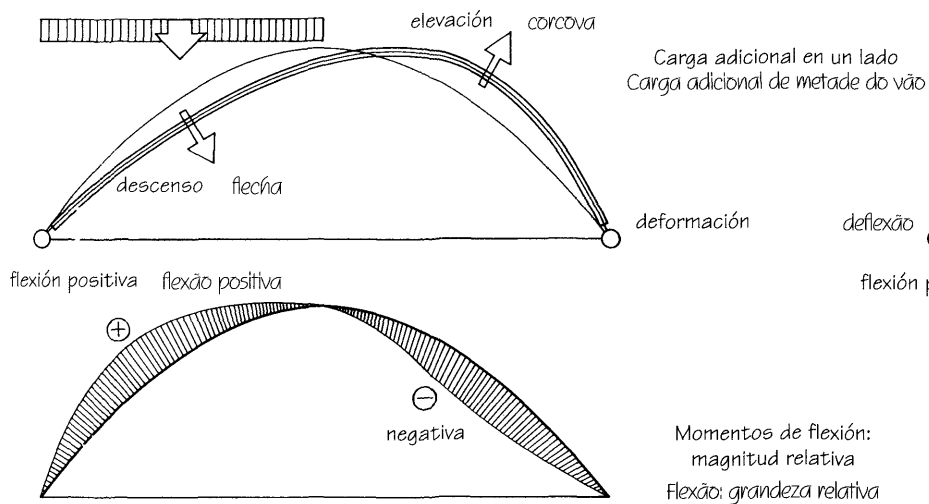
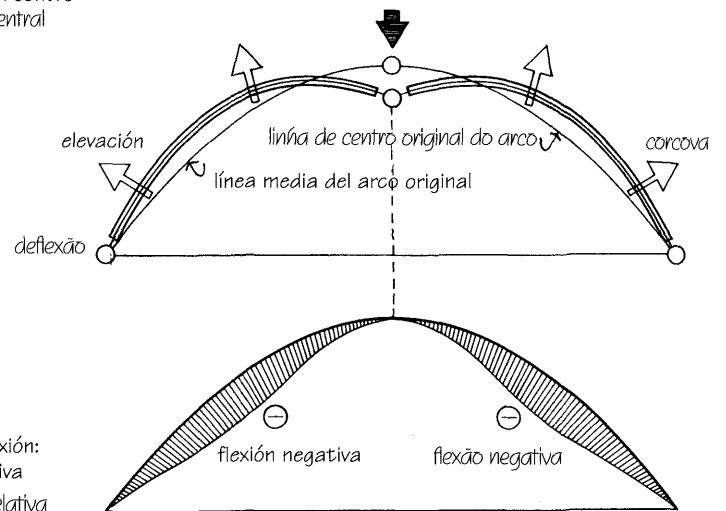
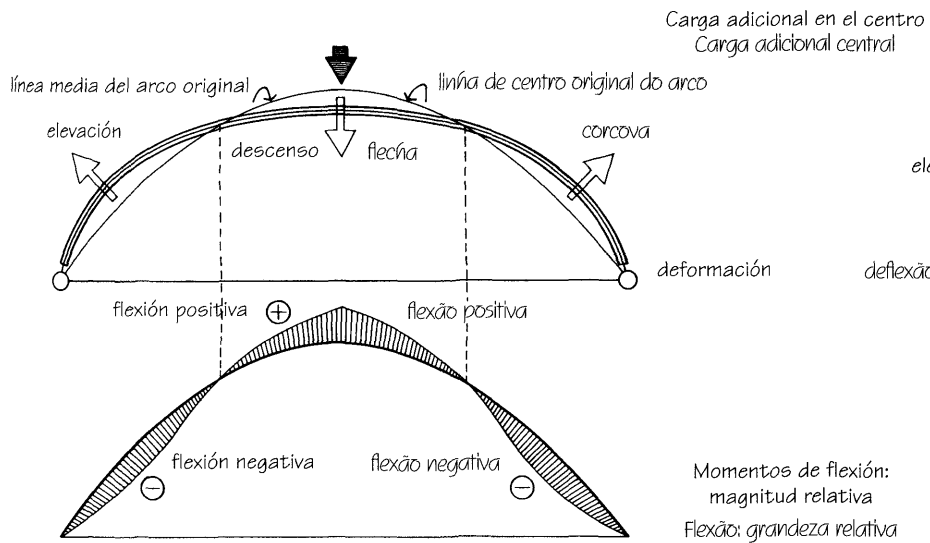


El desplazamiento de las sobrecargas a causa de un asiento diferencial origina flexión  
Carga diferente causada por assentamento desigual produz flexão

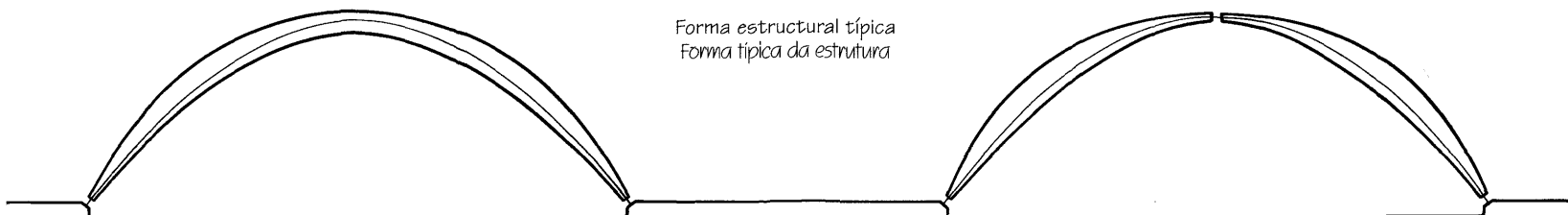


Comparación entre los arcos biarticulados  
y los arcos triarticulados

Comparação entre arco biarticulado e arco triarticulado

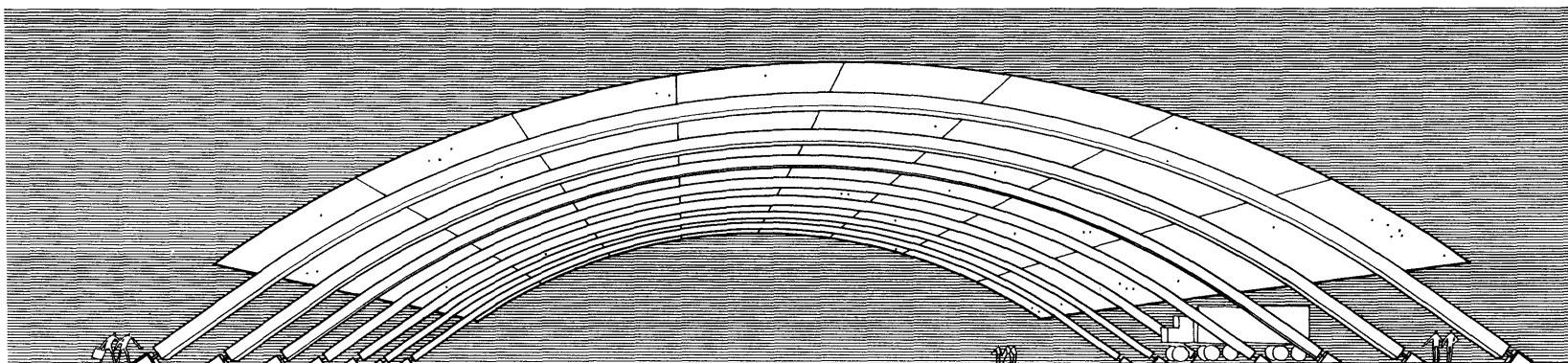


Forma estructural típica  
Forma típica da estrutura



Estructuras de grandes luces con arcos biarticulados

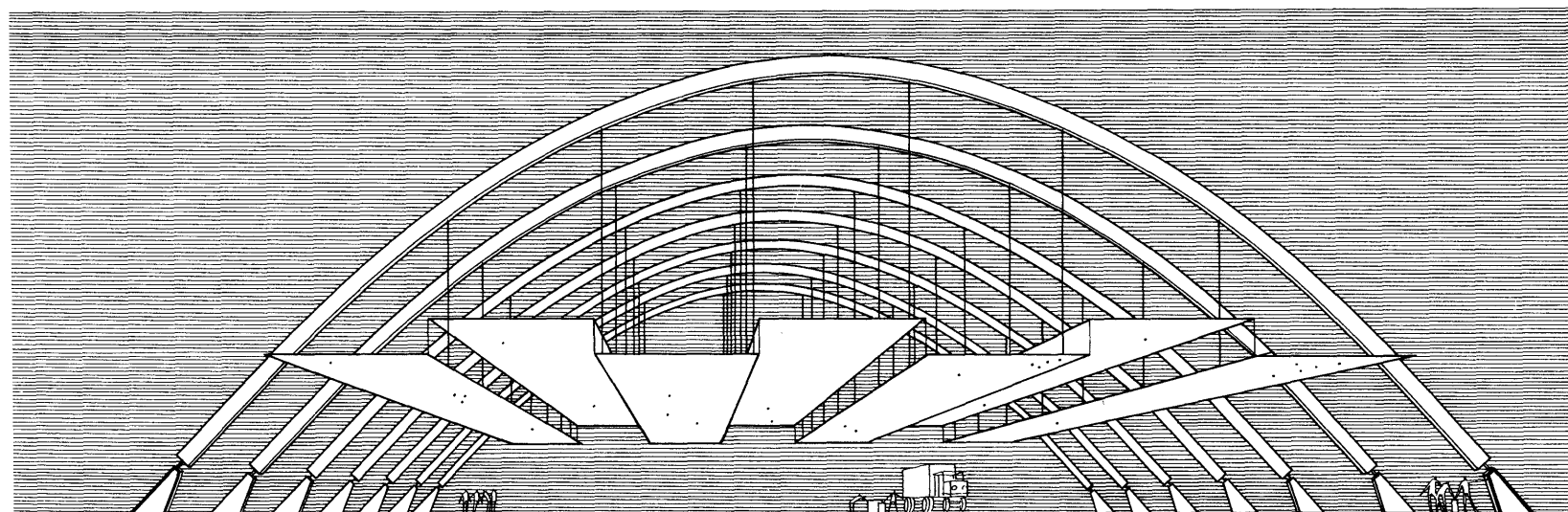
Sistemas estruturais de grandes vãos com dois arcos biarticulados



Arcos anclados a tierra con una cubierta curva apoyada encima  
Arcos de fundação com estrutura de teto curvo

forma de la curva funicular: catenaria  
curva funicular: catenária

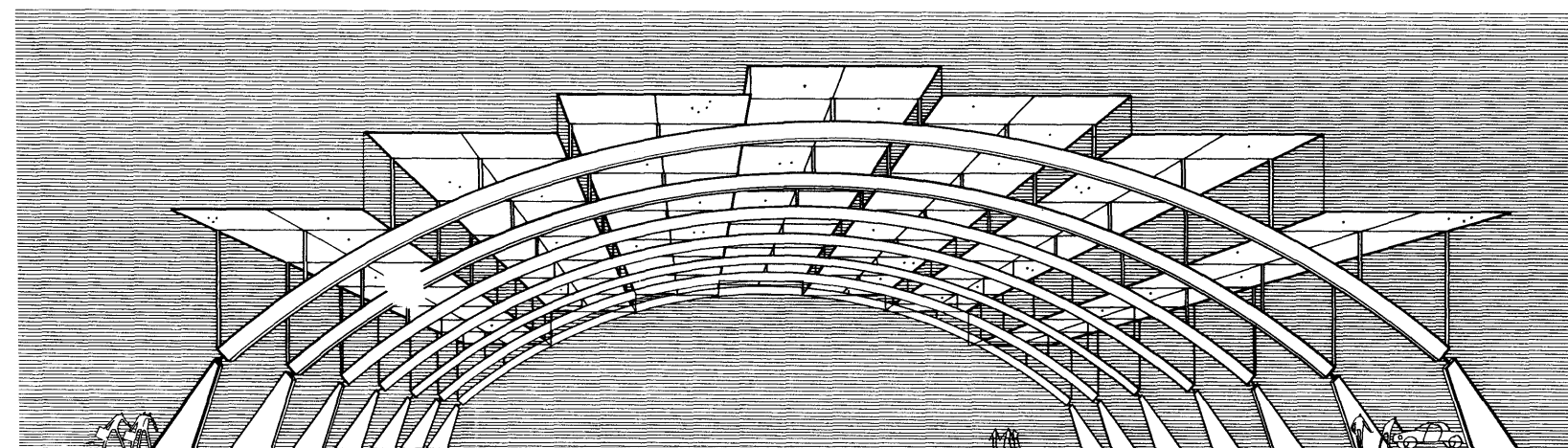
altura del arco =  $\frac{1}{5}$  de la luz  
altura do arco =  $\frac{1}{5}$  do vão



Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta plana suspendida  
Arcos em contraforte com estrutura de teto suspenso horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico  
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco =  $\frac{1}{3}$  de la luz  
altura do arco:  $\frac{1}{3}$  do vão



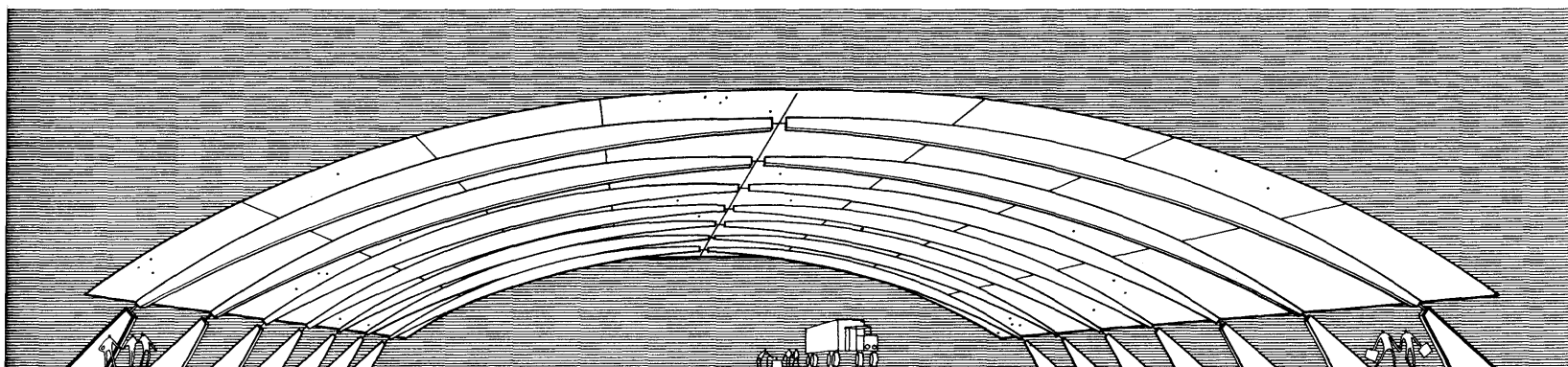
Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta plana apoyada encima  
Arcos em contraforte suportando estrutura de teto horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico  
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco =  $\frac{1}{5}$  de la luz  
altura do arco =  $\frac{1}{5}$  do vão

Estructuras de grandes luces con arcos  
triarticulados

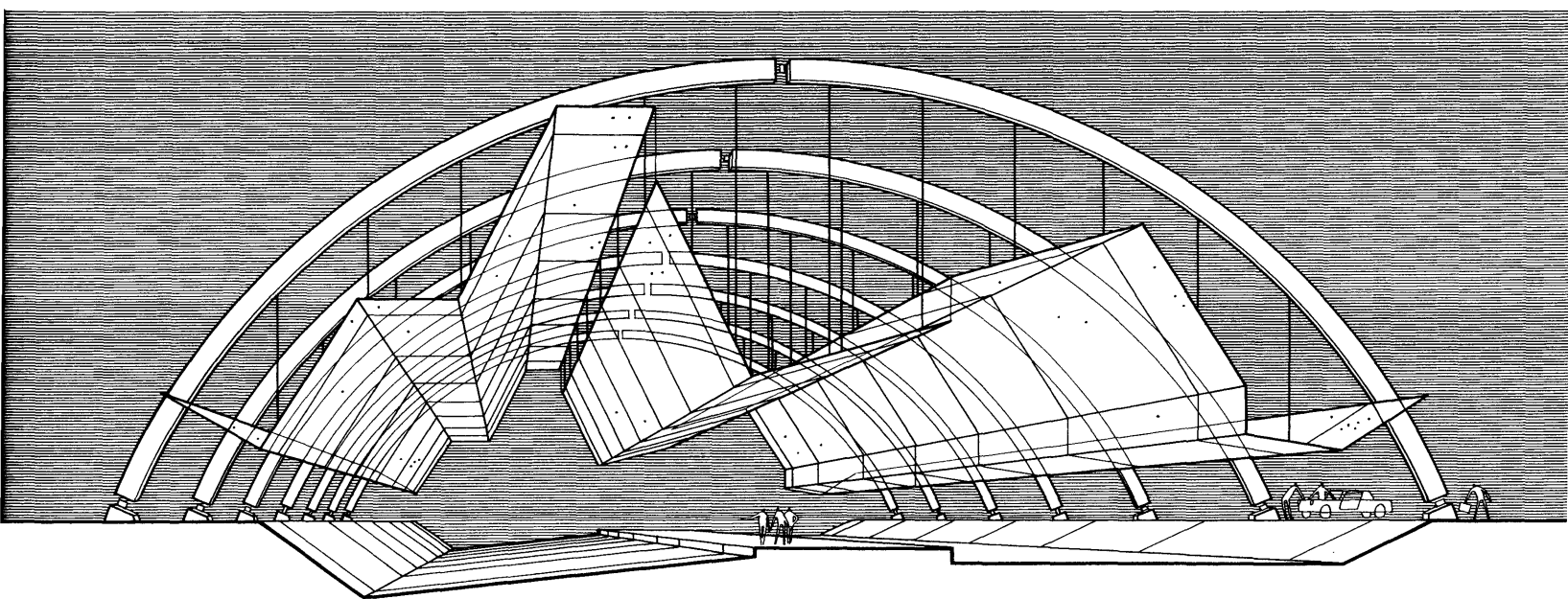
Sistemas estruturais de grandes vãos com  
arcos triarticulados



Arcos apoyados en contrafuertes con una cubierta curva apoyada encima  
Arcos em contraforte com estrutura de teto curvo

forma de la curva funicular: catenaria  
curva funicular: catenária

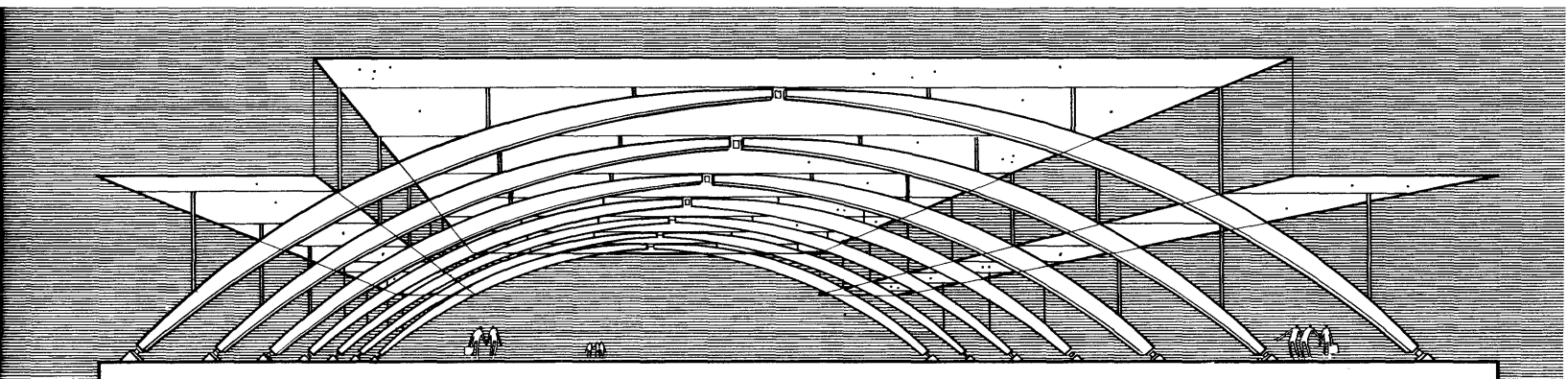
altura del arco =  $1/7$  de la luz  
altura do arco =  $1/7$  do vão



Arcos de forma semicircular anclados a tierra con una cubierta de forma libre suspendida  
Arcos de fundação segmentados com estrutura de teto de forma livre

forma de la curva funicular: polígono irregular  
curva funicular: polígono irregular

altura del arco =  $1/3$  de la luz  
altura do arco =  $1/3$  do vão



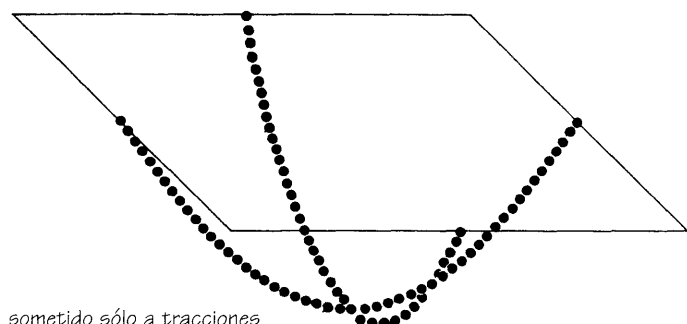
Arcos anclados a tierra con una cubierta plana apoyada encima  
Arcos de fundação suportando estrutura de teto horizontal

forma de la curva funicular: polígono parabólico  
curva funicular: polígono parabólico

altura del arco =  $1/5$  de la luz  
altura do arco =  $1/5$  do vão

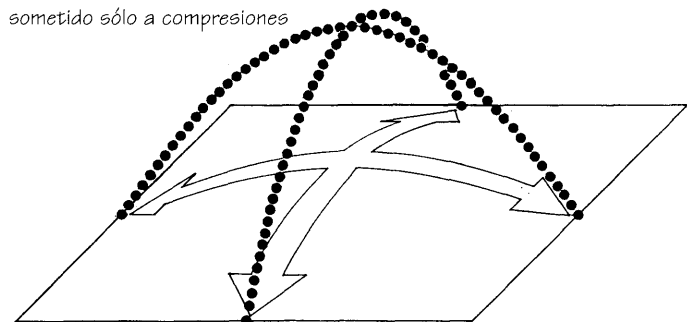
## Fundamentos de los sistemas tridimensionales de retículas abovedadas

Mecanismo de soporte y forma estructural como sistema de suspensión invertido



sometido sólo a tracciones

sometido sólo a compresiones

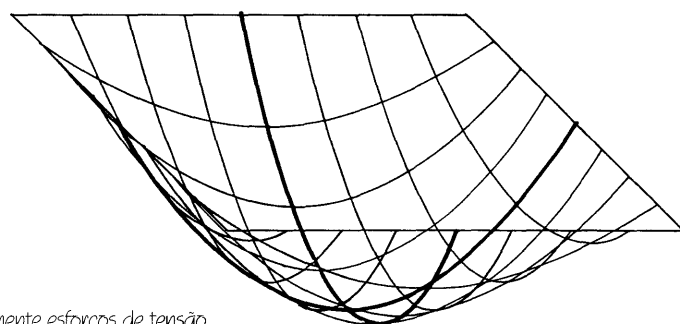


Transmisión tridimensional y cubrición del espacio mediante el cruce de dos arcos funiculares (o cables suspendidos) según dos ejes

Transmissão de carga tridimensional e cobertura de vão através da interseção de dois arcos funiculares (alternativamente cabos de suspensão) em dois eixos

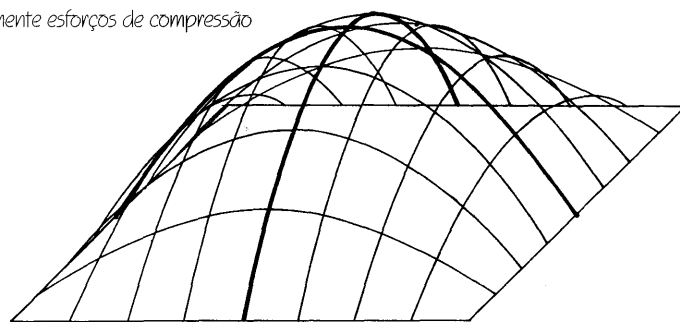
## Bases de sistemas de retícula abobadada tridimensional

Mecanismo de suporte e forma de estrutura como sistema de suspensão invertido



somente esforços de tensão

somente esforços de compressão



Formación de una estructura reticular cuadrangular mediante alineación en paralelo e interpenetración de los arcos funiculares (o de suspensión)

Formação de modelo de malha quadrangular através de justaposição paralela e interseção de arcos funiculares (alternativamente suspensão)

## Esfuerzos en los soportes de la malla suspendida y en la apoyada

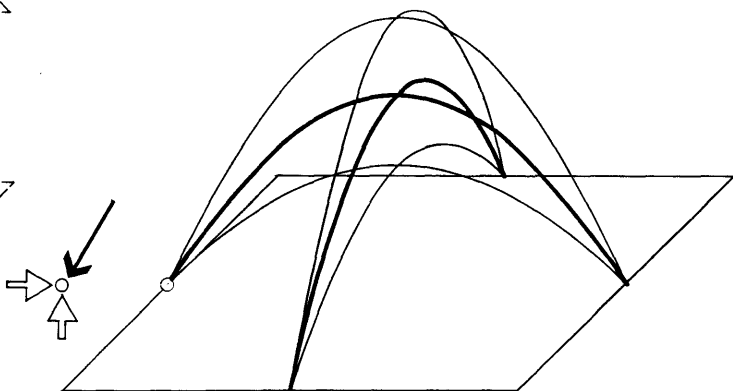
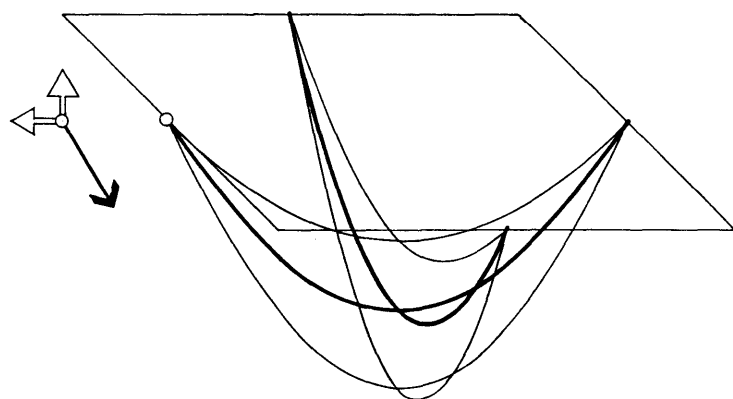
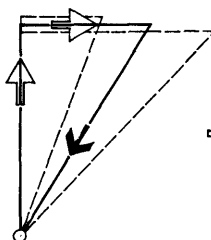
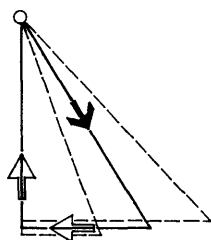
Forças nos suportes de rede de suspensão e estrutura de empuxo

La forma óptima del arco sometido exclusivamente a su peso propio es la curva funicular (línea de compresiones). El arco funicular es la forma inversa de la catenaria (línea de suspensión).

Las reacciones que aparecen en los soportes de las retículas abovedadas responden a los esfuerzos en la malla suspendida. Es decir, los esfuerzos de los arcos y el empuje horizontal son inversamente proporcionales a la altura del arco.

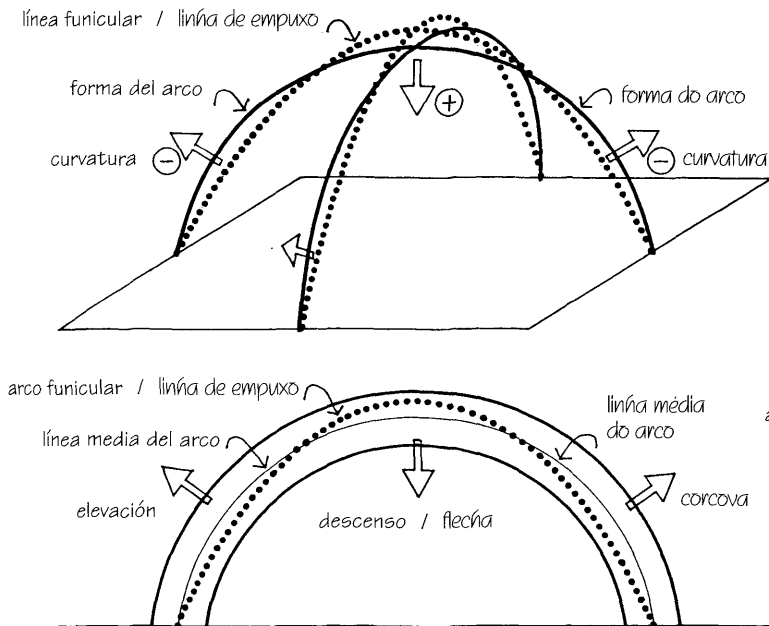
A forma ótima de arco submetido ao peso próprio é o arco funicular (linha de empuxo). O arco funicular é a catenária invertida.

As forças agindo nos suportes da estrutura de empuxo combinam-se com as forças da rede de suspensão, isto é, a força do arco e o empuxo horizontal são inversamente proporcionais à elevação do arco.



## Esfuerzos de flexión en una retícula abovedada

Desviación del arco funicular / Desvio da linha funicular de empuxo

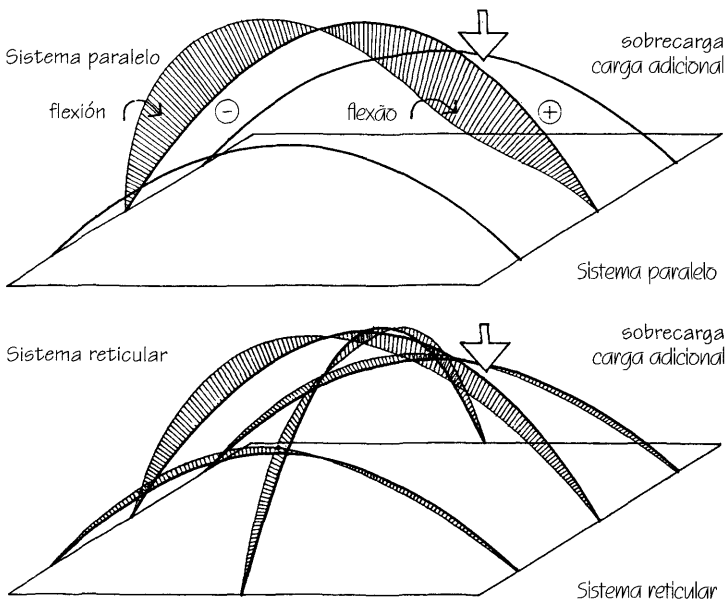


La desviación de la línea media del arco funicular origina esfuerzos perpendiculares al eje y con ello crea esfuerzos de flexión en la sección del arco

O desvio da linha média do arco da linha de empuxo produz forças normais ao eixo e portanto tensões de curvatura na seção do arco

## Mecanismo de resistencia de la retícula abovedada sometida a sobrecargas

Diferencia entre sistemas paralelos y sistemas reticulares con cargas puntuales  
Diferença entre o sistema paralelo e sistema reticular sobre pontos de carga

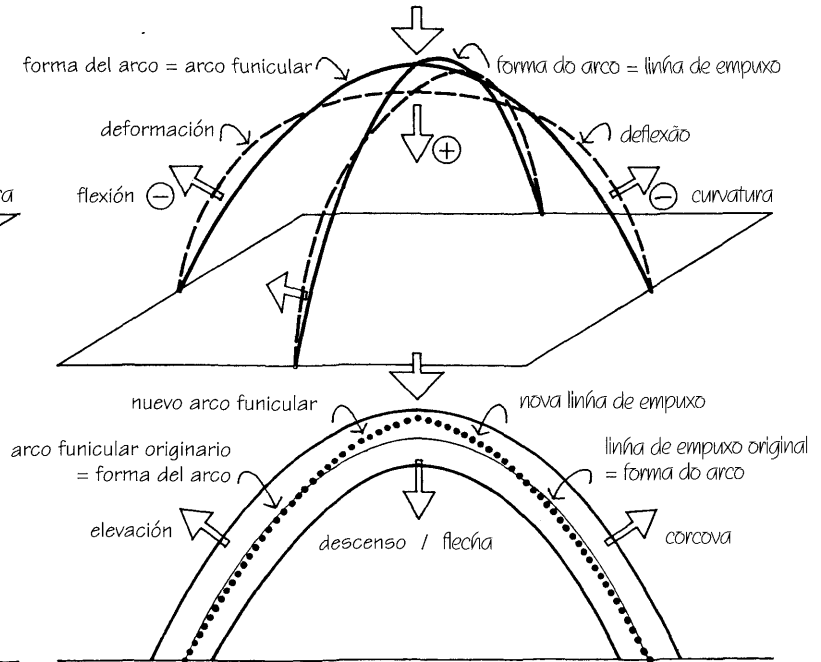


Debido a la interpenetración cruzada con uniones rígidas, los arcos que no soportan cargas también participan en el mecanismo de resistencia frente a las deformaciones

Por causa da interseção transversal e conexões rígidas, os arcos sem carga são também desenhados com resistência mecânica contra deformações

## Tensão de curvatura em retículas abobadadas

Carga adicional / Carga adicional

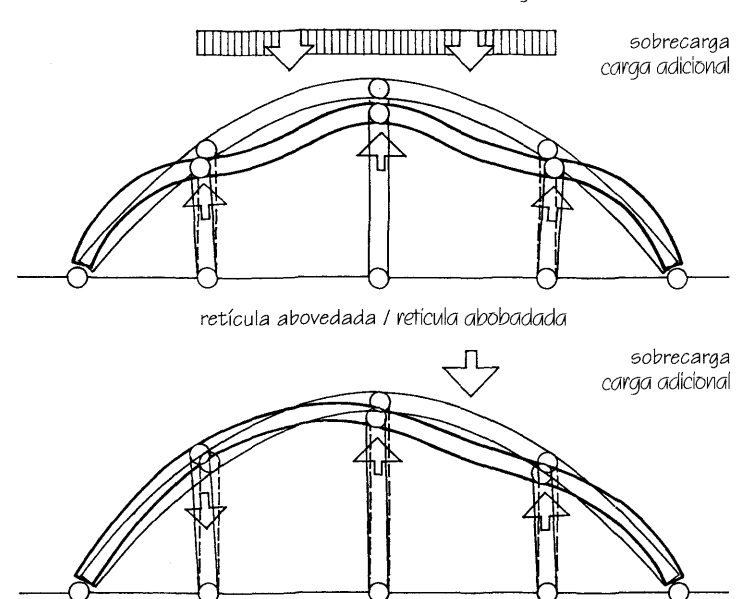


Bajo sobrecargas, el arco funicular ya no responde al nuevo estado de cargas. En el arco aparecen tensiones de flexión.

Baixo carga adicional a forma do arco funicular reage à nova condição de carga, resultando na dobra da seção do arco

## Resistência mecânica da retícula abobadada baixo carga adicional

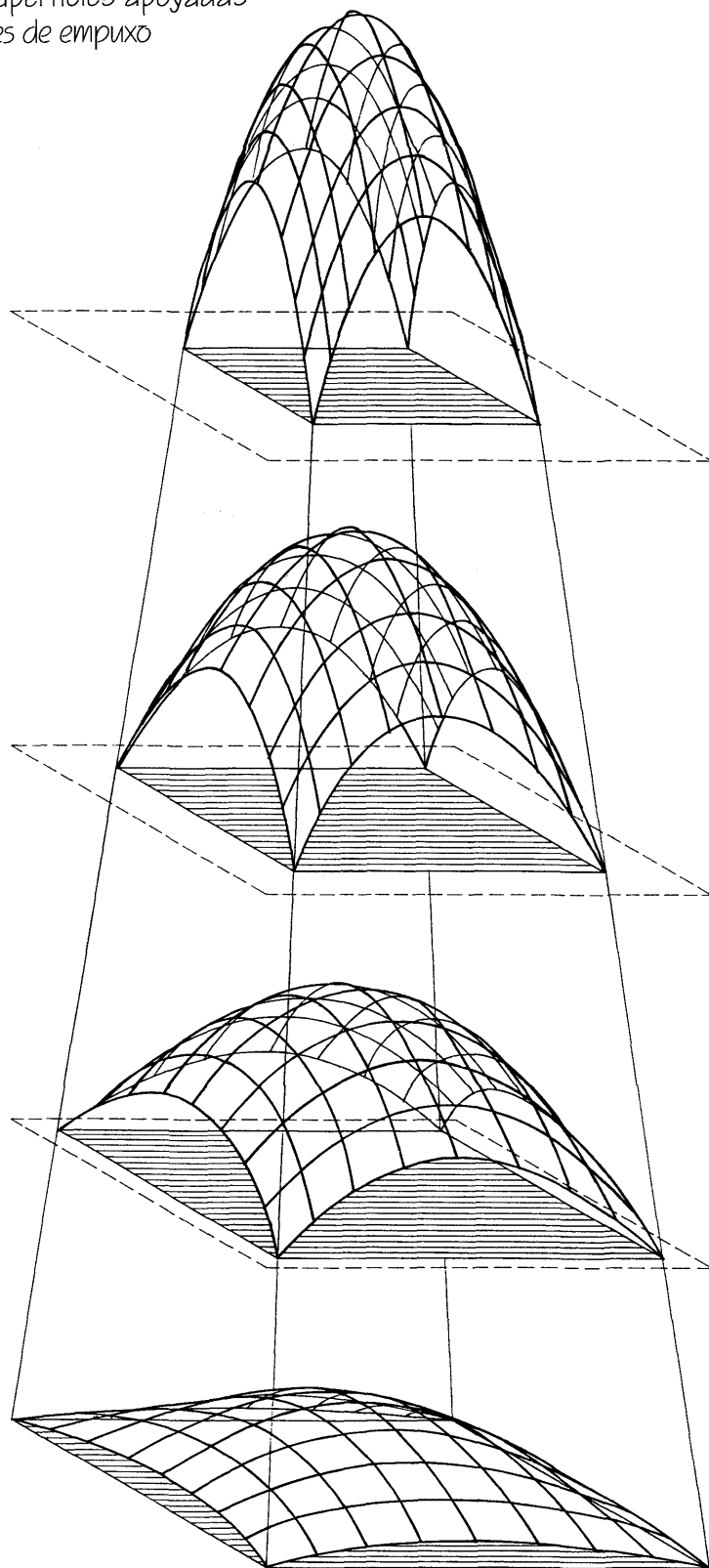
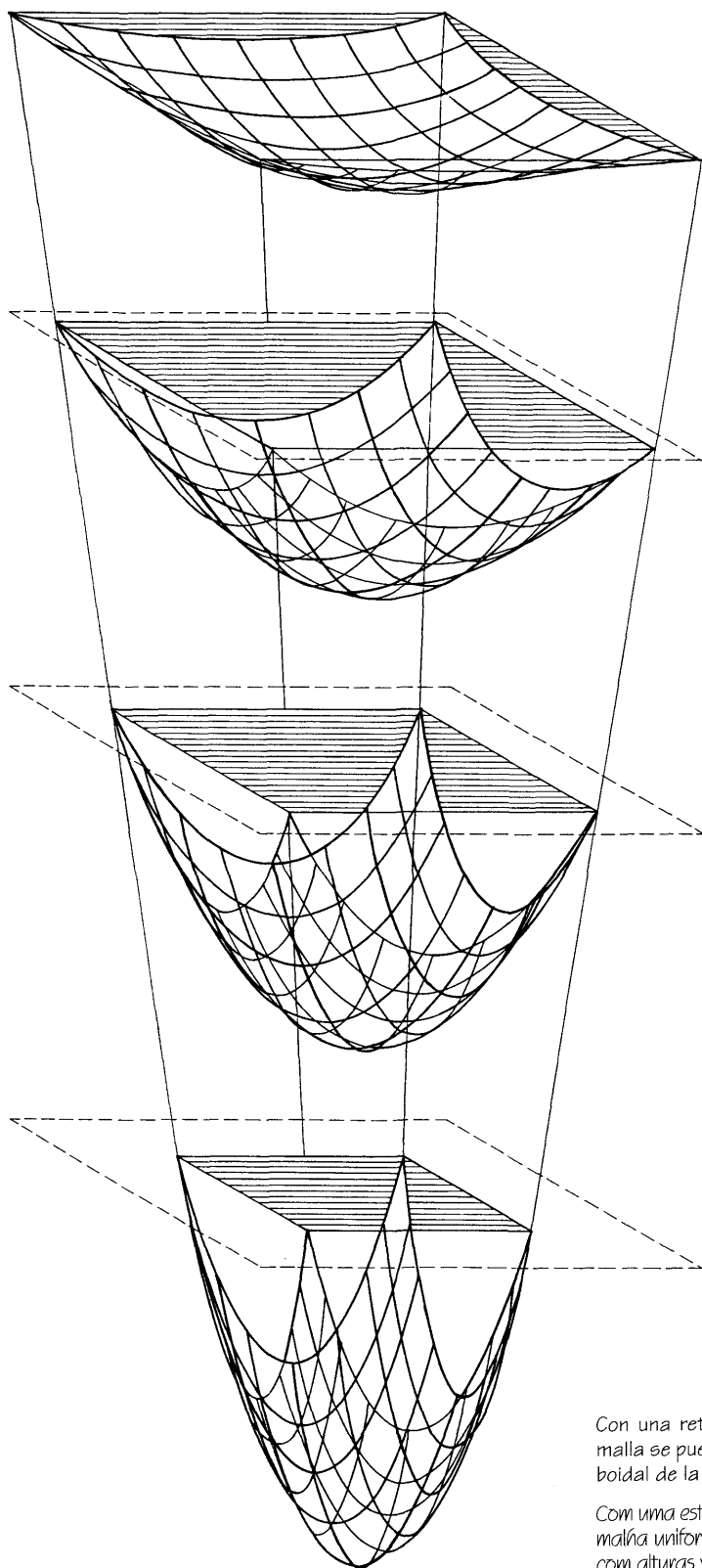
Resistencia del sistema global en una retícula abovedada sometida a sobrecargas  
Resistência do sistema total na retícula abobadada sob carga adicional



El mecanismo de resistencia es el resultado de: flexión del eje del arco, torsión de la sección del arco, desplazamiento del ángulo de intersección (cruce) de la retícula

A resistência mecânica resulta da: curvatura do eixo do arco, torção da seção cruzada do arco, torção violenta dos ângulos de interseção (ângulos de malha)

Evolución de las superficies suspendidas a partir de las superficies apoyadas  
Desenvolvimentos de forma de superficies suspensas a superficies de empuxo

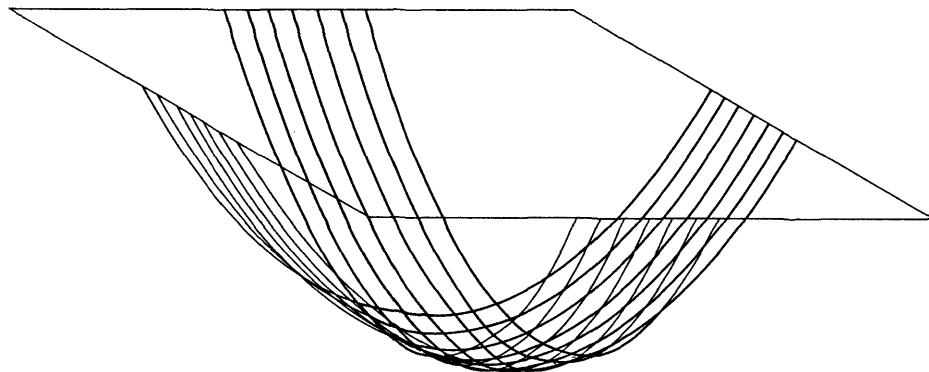


Con una retícula de geometría cuadrada plana (de desarrollo ortogonal) e igual tamaño de malla se pueden generar superficies funiculares de diferente altura, mediante deformación romboidal de la malla, de modo análogo a la retícula suspendida.

Com uma estrutura de geometria quadrada plana (como um desenvolvimento ortogonal) e tamanho de malha uniforme, semelhante à retícula suspensa, podem ser geradas superfícies funiculares de empuxo com alturas variadas modificando a forma do losango da malha.

## Retícula abovedada: definición y características

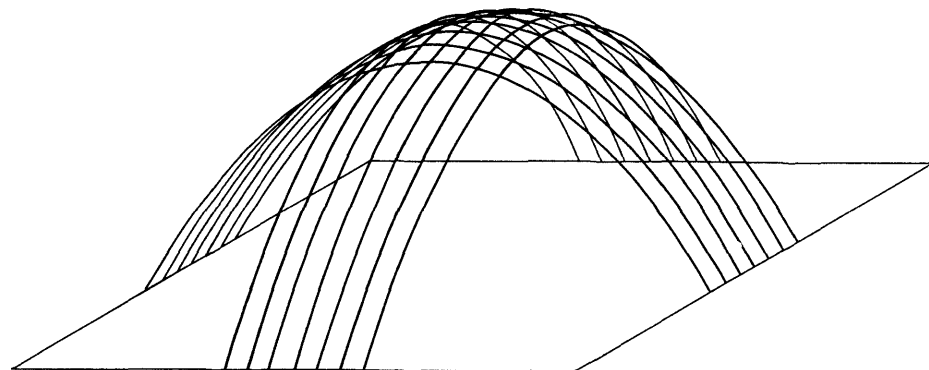
## Retícula abobadada: definição e características



## Definición / Definição

La retícula abovedada es una estructura en forma de malla con doble curvatura realizada con elementos lineales continuos, en los que las cargas se transmiten a lo largo de dos ejes mediante mecanismos de empuje.

A reticula abobadada é uma estrutura de malha duplamente curvada plana com componentes lineares contínuos, nos quais as cargas são transmitidas em duas dimensões através de empuxos mecânicos.



## Características

## Dos redes de arcos funiculares

El sistema estructural está formado por dos redes de arcos funiculares interpenetrados. Los elementos lineales han de ser resistentes a flexión frente a las cargas secundarias, igual que en el caso del arco funicular independiente.

## Igual tamaño de malla

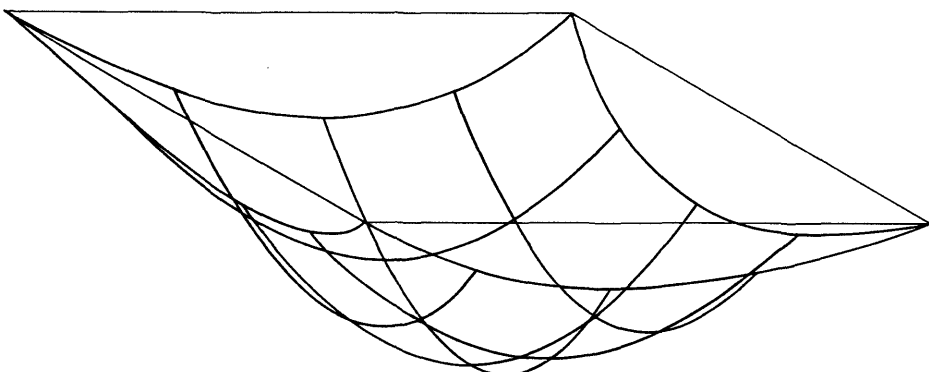
La interpenetración de los arcos lineales ha de realizarse de manera que surjan mallas con igual longitud (= separación idéntica entre los nudos en todos los arcos).

## Diferentes ángulos de malla, fijos

La forma global de la estructura queda determinada, no sólo por la curvatura del arco, sino por los ángulos de la malla. Por consiguiente, para mantener la forma de la estructura se ha de garantizar que los ángulos de la malla sean fijos.

## Forma suspendida invertida

La forma óptima de la retícula abovedada puede obtenerse empíricamente invirtiendo el correspondiente sistema suspendido con una red de idéntica malla.



## Características

## Dois conjuntos de arcos funiculares

O sistema de estrutura é formado por dois conjuntos de linhas de arcos funiculares interpenetrando um no outro. Os componentes lineares, como o arco funicular independente, devem ser resistentes à curvatura contra cargas secundárias.

## Tamanho de malha igual

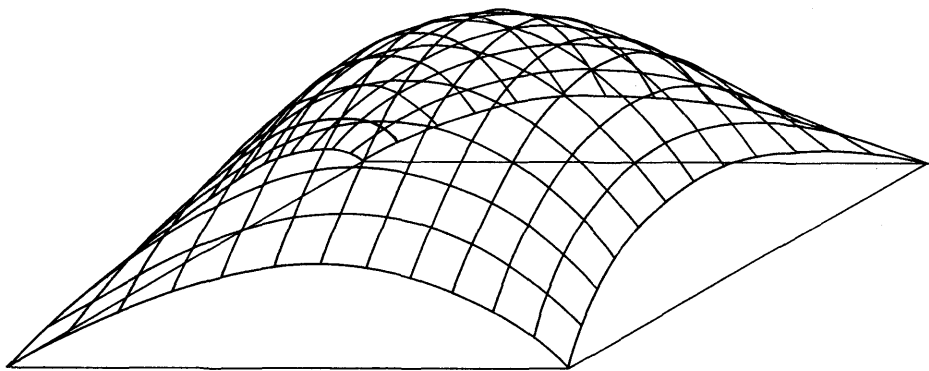
A interseção das linhas do arco devem ocorrer de uma maneira que se possa combinar o comprimento e o tamanho do lado (= distâncias iguais entre nós em todas as linhas do arco).

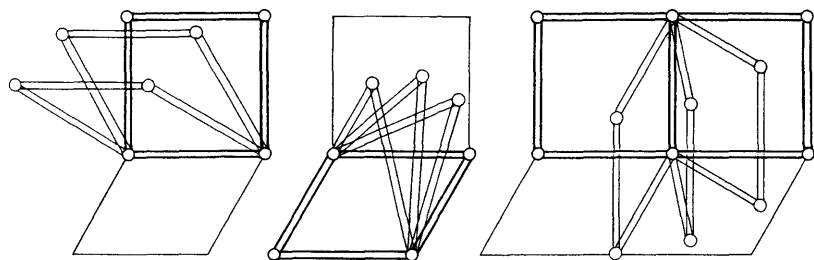
## Diferenciando os ângulos da malha, fixos

A forma total das estruturas é determinada não somente pelas curvaturas do arco mas também pelos ângulos individuais da malha, portanto para manter-se a forma da estrutura, a fixação dos ângulos da malha é um pré-requisito.

## Forma suspensa invertida

A forma ótima para a reticula abobadada pode ser desenvolvida empíricamente invertendo-se o sistema suspenso similar com malhas uniformes.



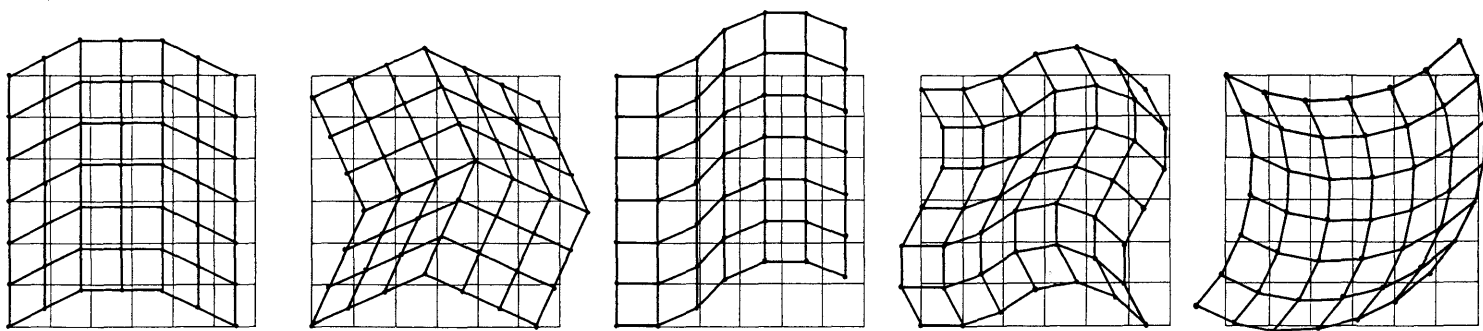


Manipulación de la forma a través del ángulo de la malla  
Manipulação da forma através do ângulo de conexão

## Geometría de la retícula de malla uniforme Geometria da reticula de malha uniforme

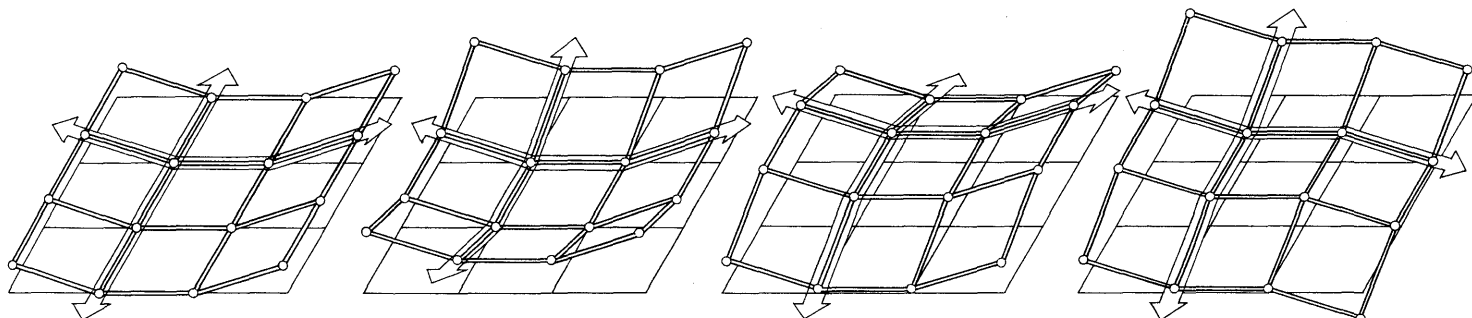
La malla reticular equilátera es el elemento básico de la geometría de la retícula abovedada. Los nudos (teóricamente) articulados de la malla posibilitan que las superficies reticulares puedan tener cualquier forma.

A conexão equilateral da malha da reticula é o elemento básico da geometria da estrutura abobadada. Os (teoricamente) nós flexíveis permitem às superfícies da estrutura qualquer forma.



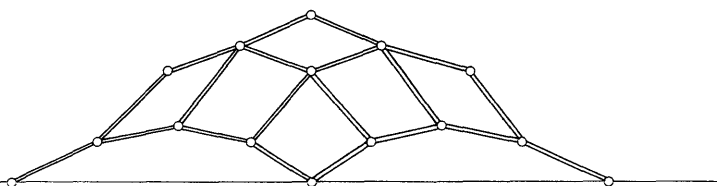
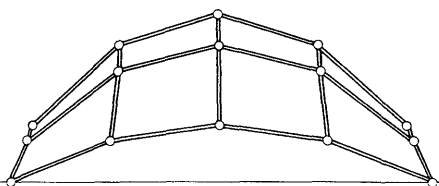
Flexibilidad del modelo de malla uniforme en una retícula plana

Flexibilidade do modelo de malha uniforme na estrutura plana



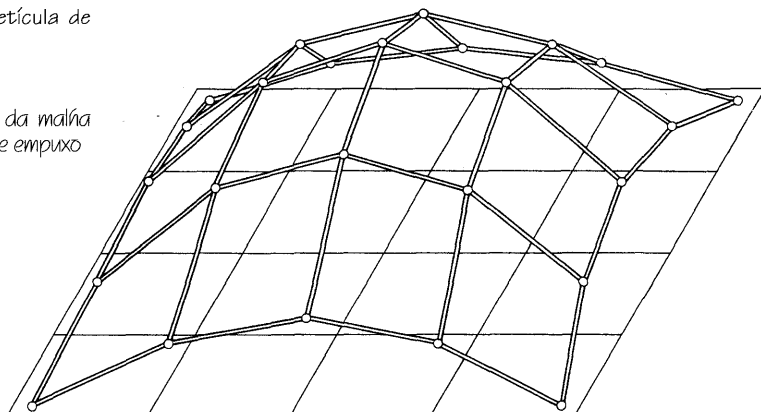
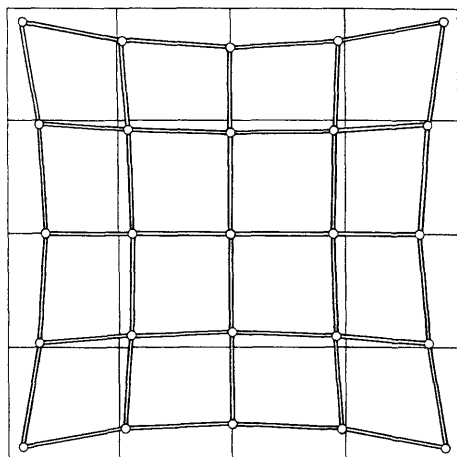
Flexibilidad tridimensional de la retícula con malla uniforme

Flexibilidade tridimensional das reticulas de malha uniforme



Desplazamiento de los nudos de la malla en una retícula de malla cuadrada

Deslocamento dos nós da malha na estrutura reticular de empuxo





Doble curvatura del arco perimetral en la retícula abovedada:  
derivación de la malla suspendida

Curvatura dupla das extremidades do arco na retícula abobadada:  
derivação da rede de suspensão

Los dos cables perimetrales suspendidos se desplazan en dirección a las fuerzas que actúan sobre los cables portantes.

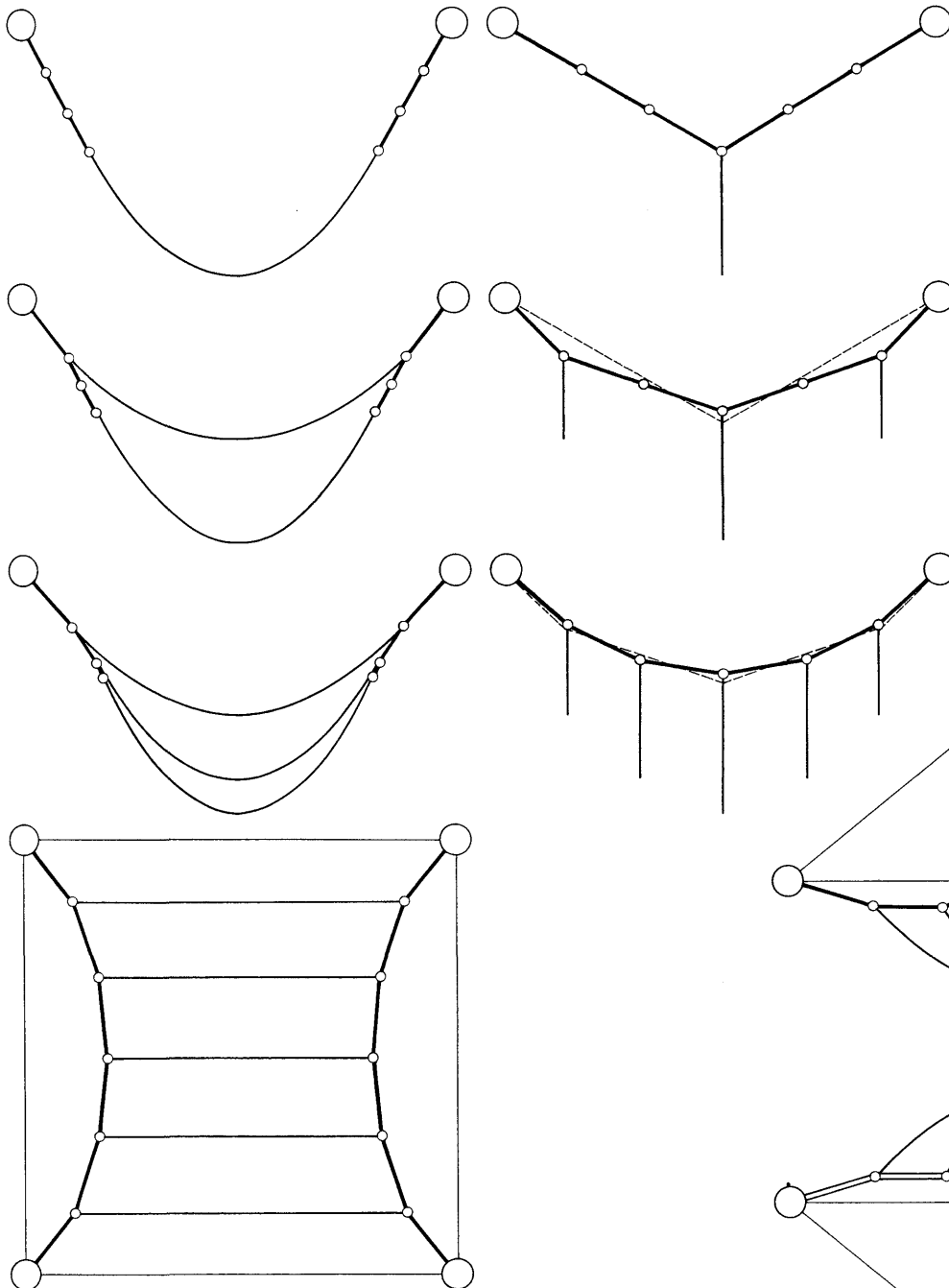
De acuerdo con el ángulo decreciente de la carga se produce una curvatura en el plano de los cables portantes.

De manera análoga, el cable perimetral, suspendido de sus extremos, se curva además en la proyección de los cables portantes.

Dois cabos simples opostos suspensos pela borda, quando interligados com cabos de carga, seguirão a direção dos cabos de forças atuantes.

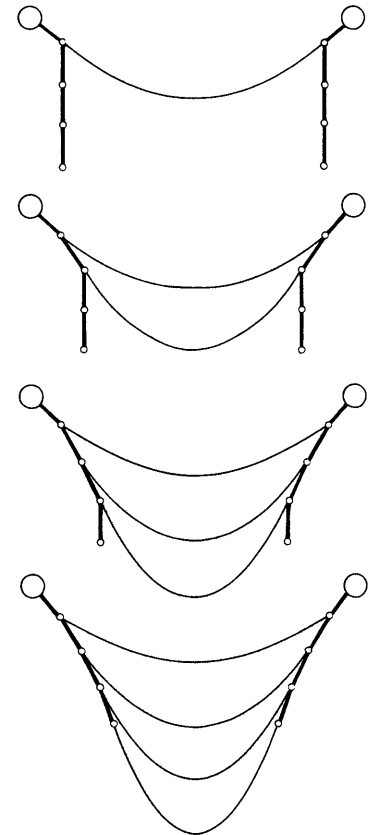
Segundo a diminuição do ângulo da carga, desenvolver-se-á uma curva no plano dos cabos de carga.

Analogamente, uma ponta suspensa de cabo de borda será também curvada na projeção dos cabos de carga.



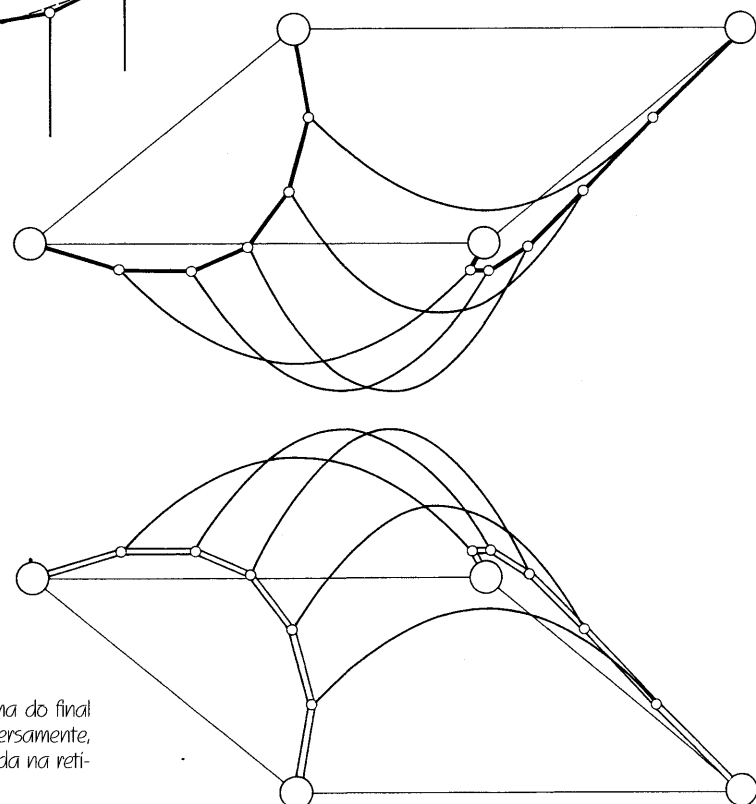
Las leyes que rigen la forma de los cables perimetrales en la malla suspendida son válidas en sentido inverso para el diseño del arco de borde en la retícula abovedada.

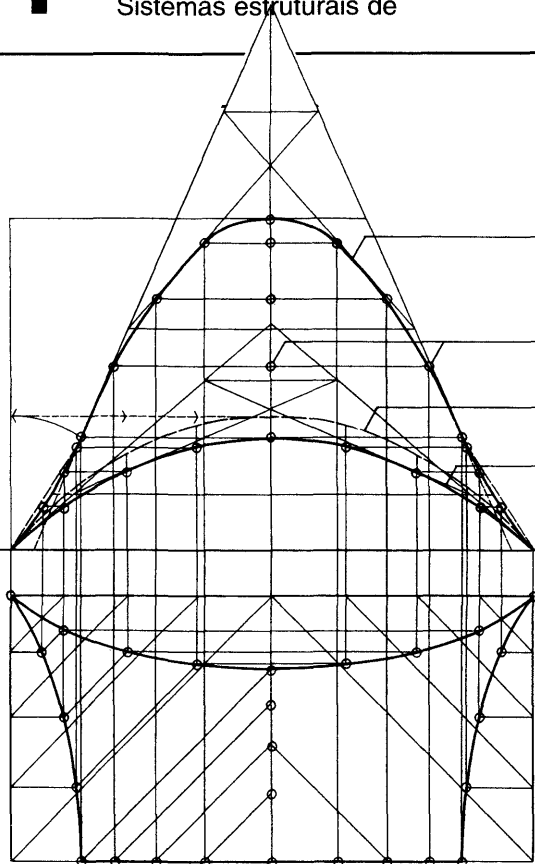
Os princípios que condicionam a forma do final dos cabos na rede suspensa, inversamente, governam o desenho do arco de borda na retícula abobadada.



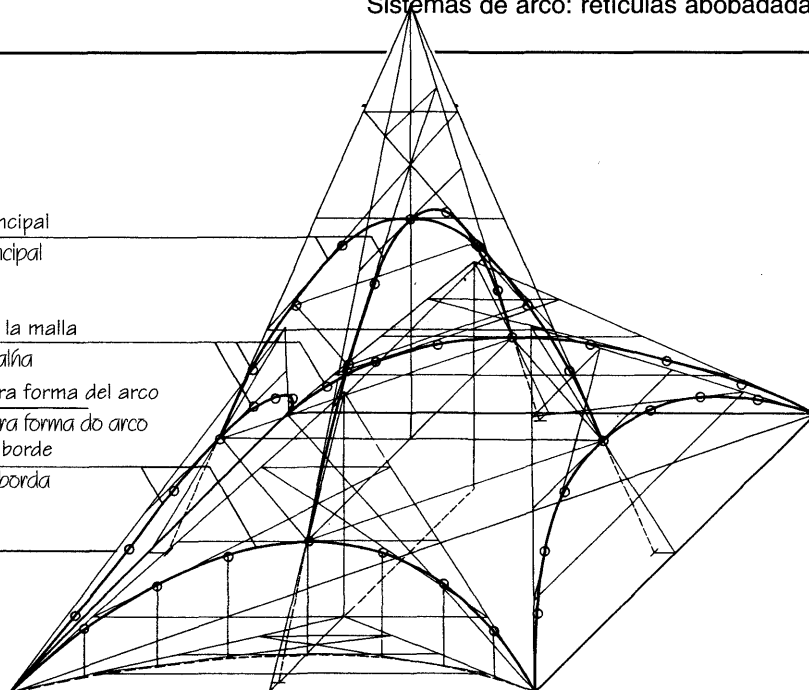
Curvatura de los dos cables perimetrales debido a su suspensión de cables portantes separados.

Curvatura dos dois finais de cabo por causa da ligação com cabos de carga separados.





arco principal  
arco principal  
nudo de la malla  
nó de malha  
verdadera forma del arco  
verdadeira forma do arco  
arco de borde  
arco de borda



Trazado geométrico aproximado de la malla de una retícula abovedada  
Traçado geométrico aproximado da reticula abobadada com malhas uniformes

Todos los arcos poseen la misma longitud. La forma del arco funicular se construye de manera simplificada como una parábola.

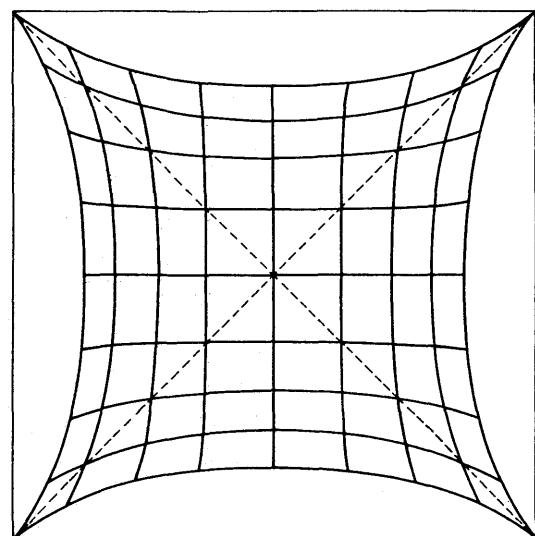
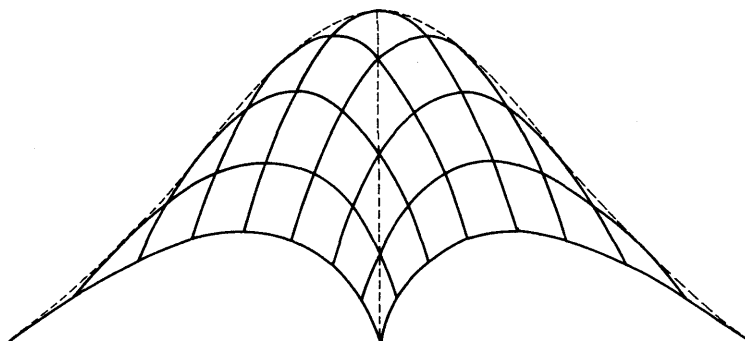
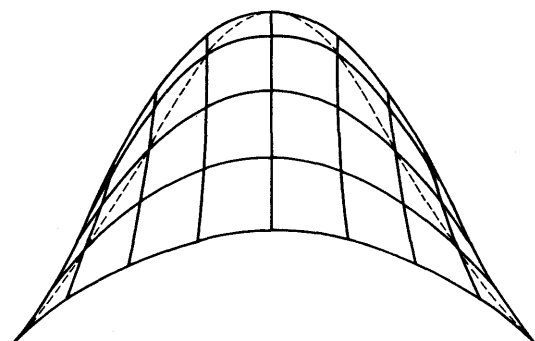
Con la elección de los dos arcos principales que se cruzan se fija la forma en planta de la estructura, el desarrollo de los arcos y la subdivisión de la malla.

Los arcos perimetrales se sitúan en un plano, cuya inclinación es mayor que la tangente final en los arcos principales.

Todos os arcos têm o mesmo comprimento linear. A configuração do arco funicular é construída de forma simplificada como uma parábola.

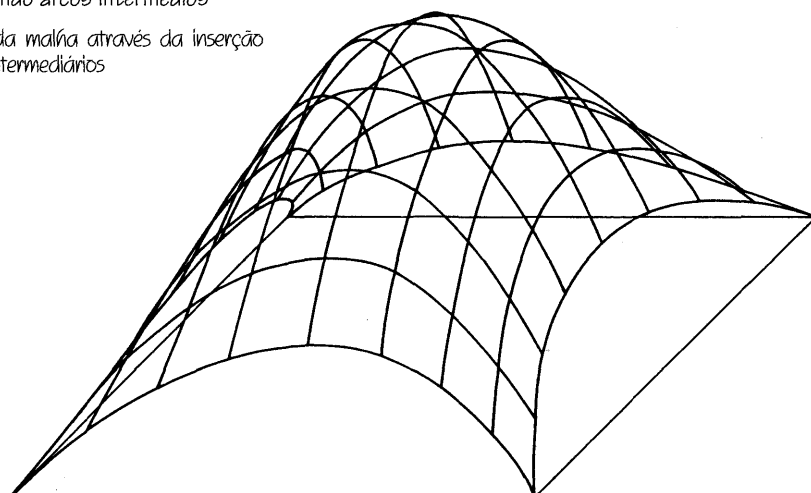
Com a possível escolha dos arcos principais cruzando-se entre si, a forma básica estrutural, o comprimento linear do arco e a divisão de malha são determinados.

Os arcos de borda são desenhados em um plano com uma inclinação maior que a tangente final dos arcos principais.



Se completa la malla de la retícula introduciendo arcos intermedios

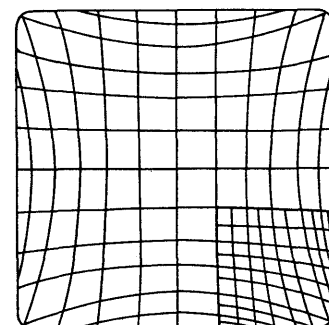
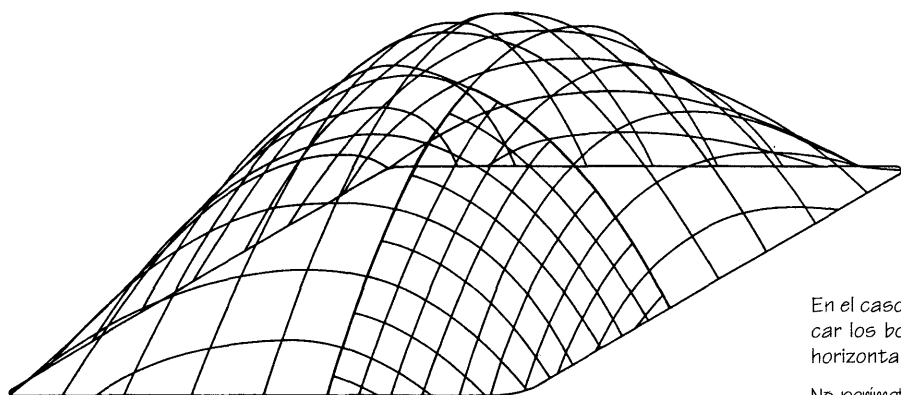
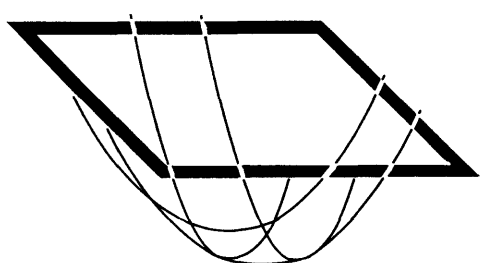
Definição da malha através da inserção de arcos intermediários



Principales prototipos para diseñar el perímetro de una retícula abovedada

Principais tipos de desenho de perímetro na retícula abobadada

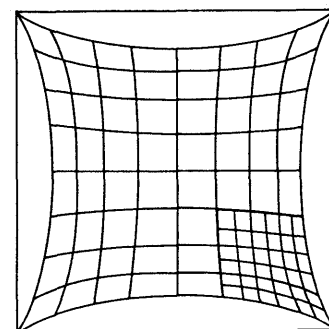
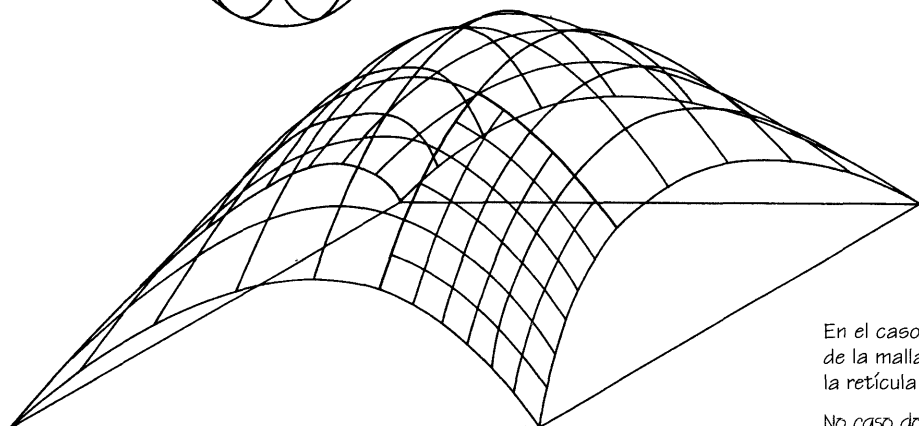
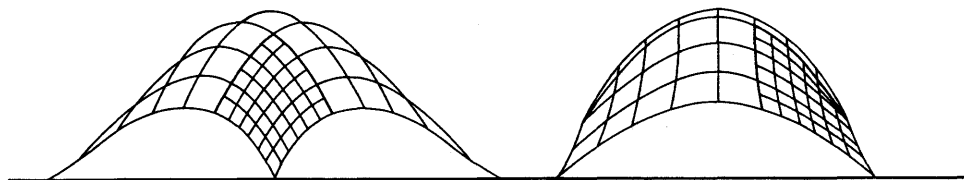
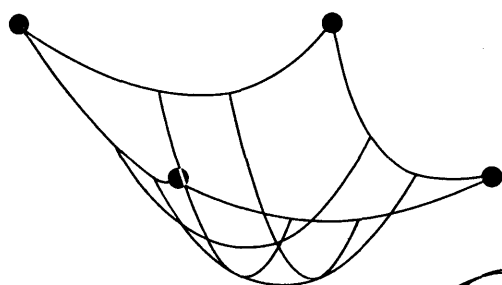
Perímetro de sección cerrada y plana / Seção de perímetro fechado e plano



En el caso de un perímetro cerrado con lados rectilíneos se han de truncar los bordes de la malla. El perímetro queda sometido a una flexión horizontal.

No perímetro fechado com lados retilíneos, a borda da malha tem que estar truncada. A borda plana está sujeita à curvatura horizontal.

Malla reticular con arcos abiertos / Malha com perímetro aberto em arco

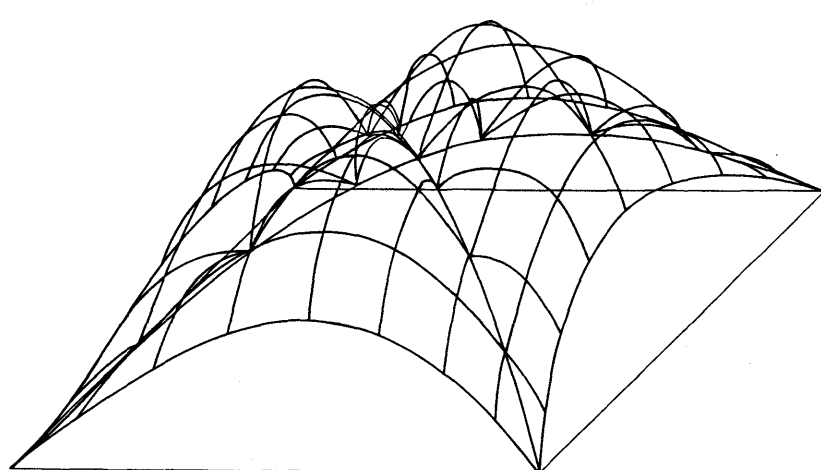
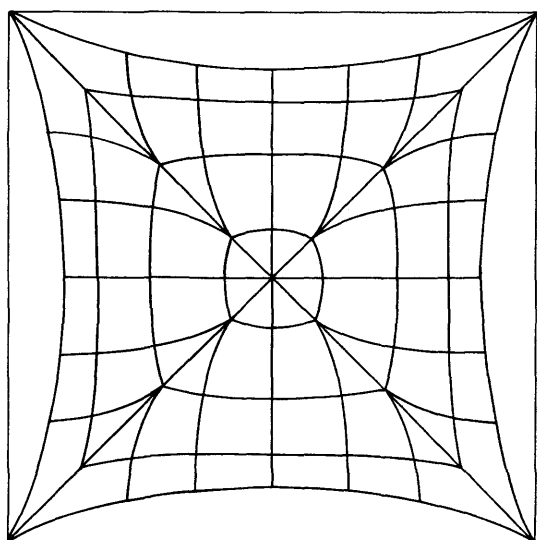
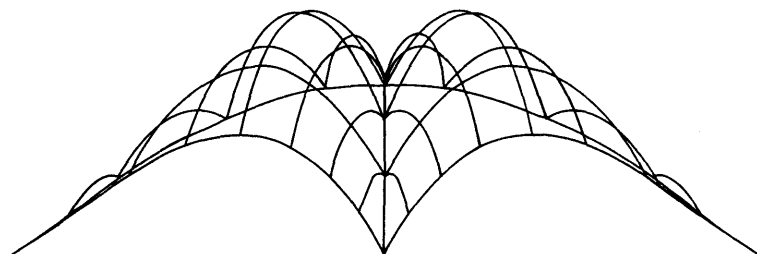
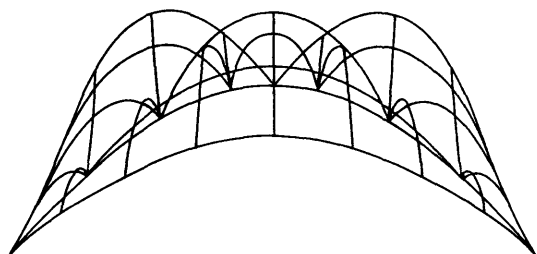


En el caso de un perímetro abierto, el borde está formado por un arco de la malla. Está inclinado hacia el interior para absorber el empuje de la retícula y sólo está sometido a compresiones.

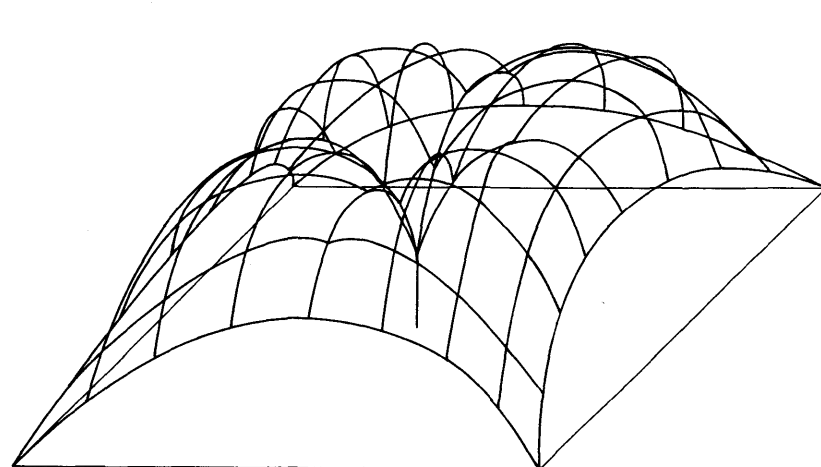
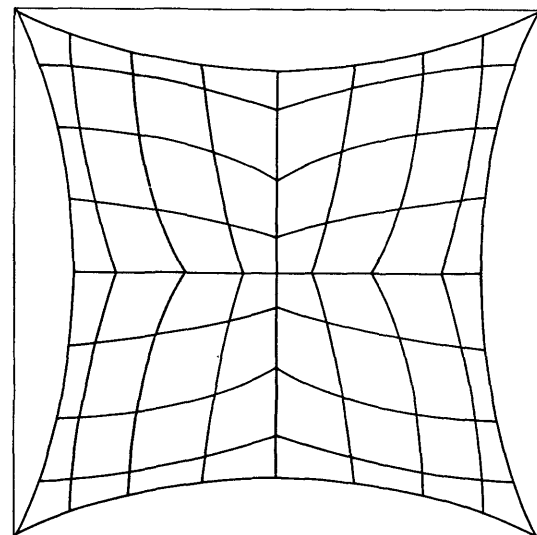
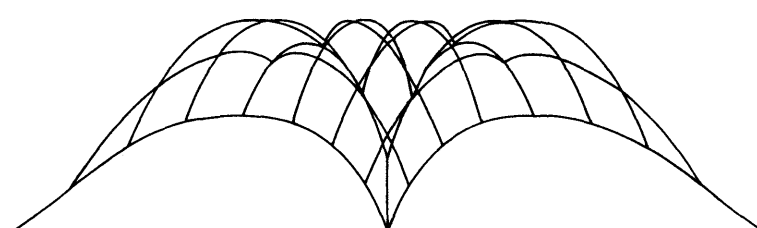
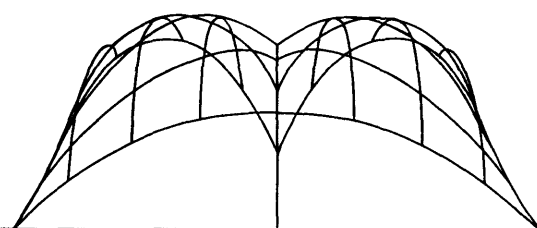
No caso do perímetro aberto, a borda é formada por um arco da malha. É inclinado para o centro para receber a estrutura de empuxo e está sujeita somente à compressão.

Geometría de las superficies apoyadas cuando  
varía la transmisión de cargas

Geometria de superficie apoiada sob variação de  
transmissão de carga

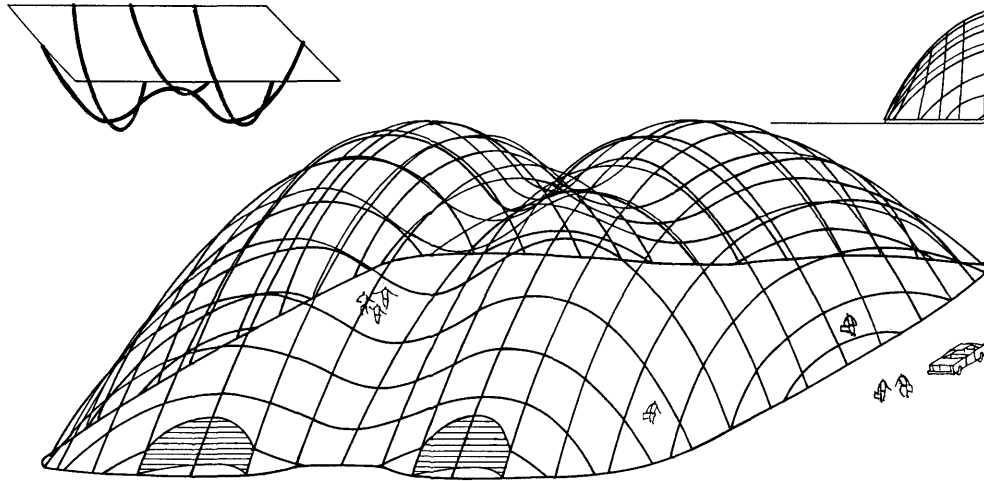


Transmisión adicional de cargas a través de arcos en diagonal  
Transmissão de carga adicional através de arcos diagonais

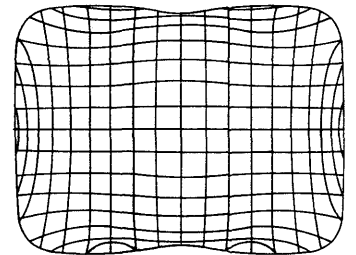
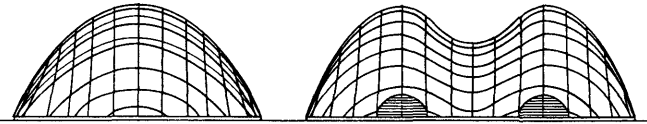


Transmisión adicional de cargas a través de pilares centrales interiores  
Transmissão de carga adicional através de suporte central

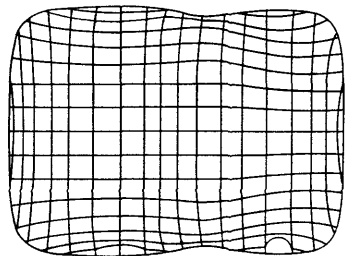
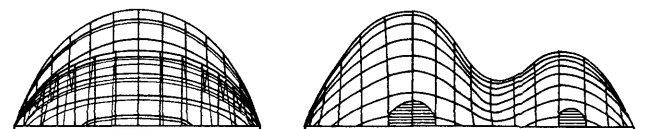
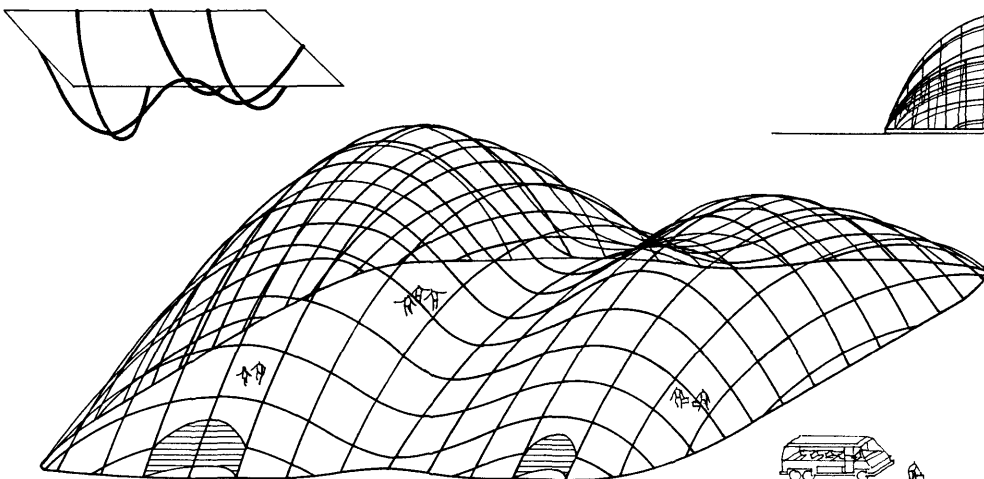
Sistemas de retículas abovedadas con un borde de límite plano articulado mediante contracción de superficies



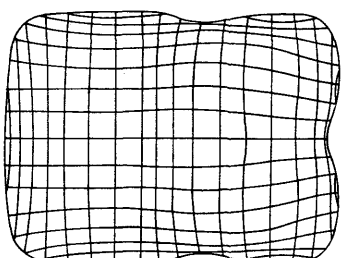
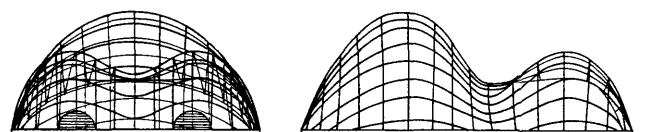
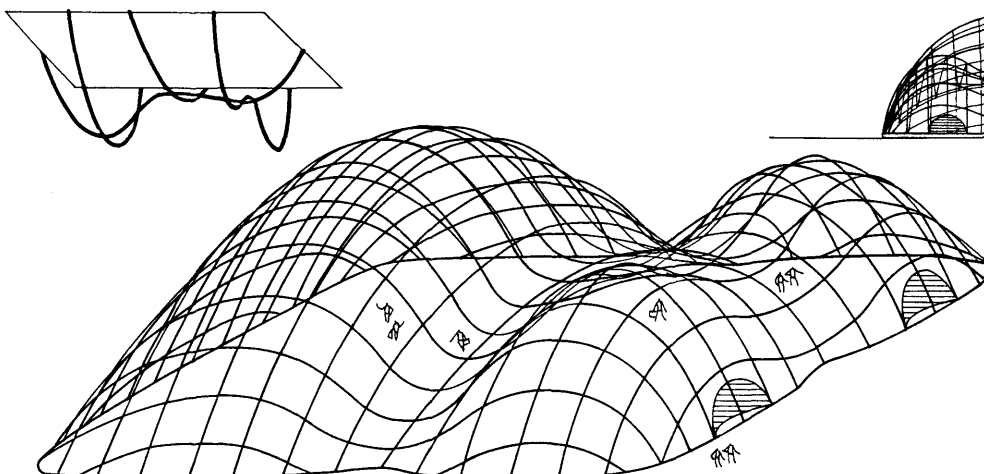
Sistemas de retícula abobadada com definição da seção plana perimetral através da articulação de contrações na superfície



Contracción central de la superficie de apoyo  
Contração central da superfície de empuxo



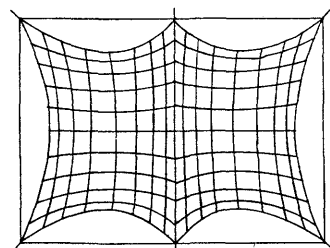
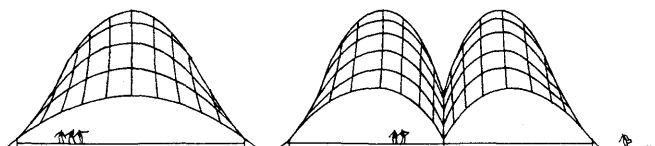
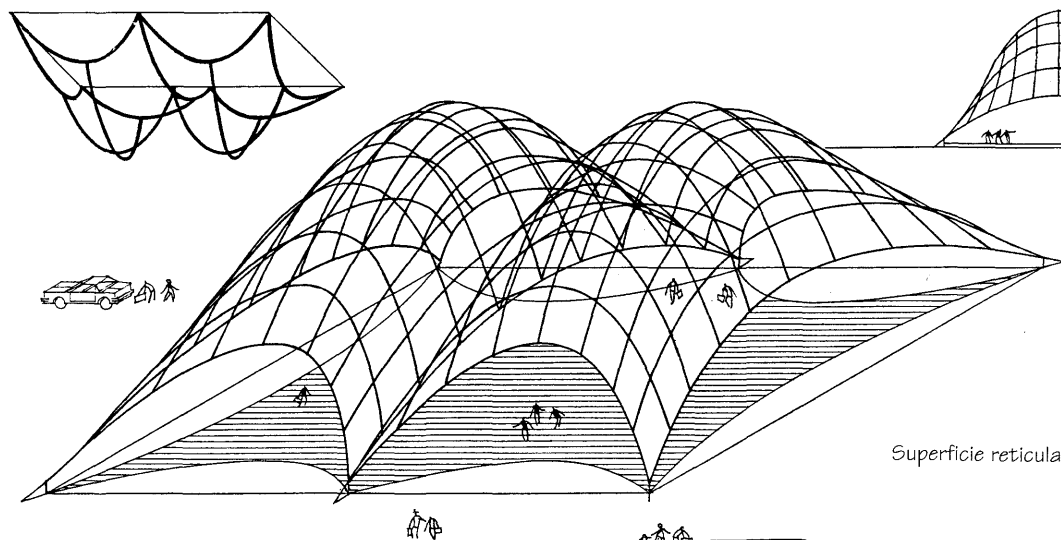
Contracción descentrada de la superficie de apoyo  
Contração descentralizada da superfície de empuxo



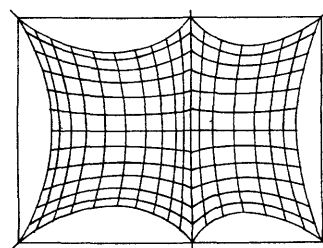
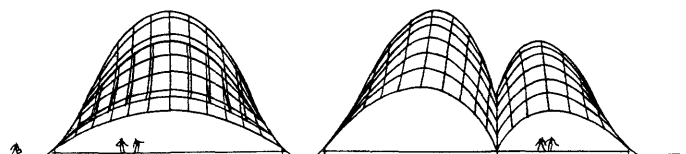
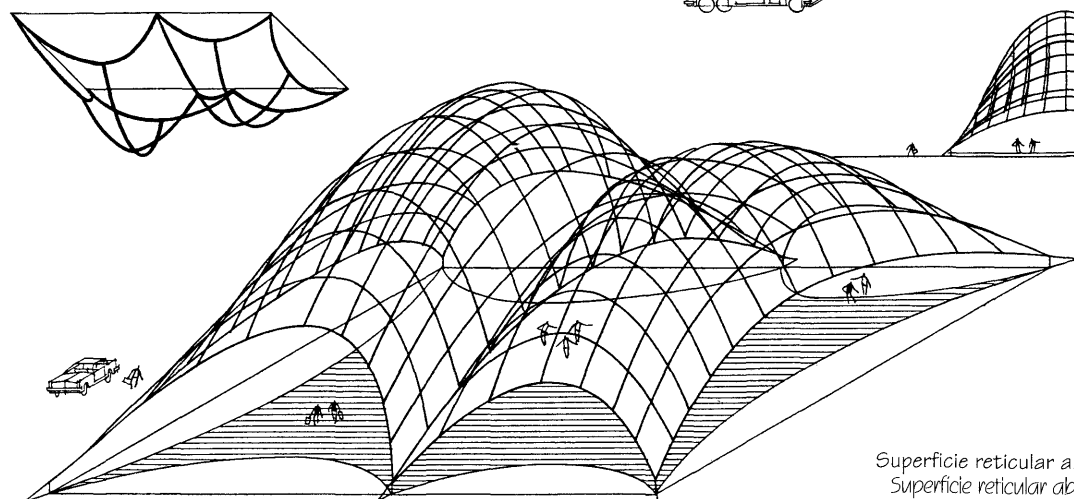
Contracción en forma de T de la superficie de apoyo  
Contração em forma de T da superfície de empuxo

Sistemas de retículas abovedadas con arcos de mallas como delimitación espacial y subdivisión de la retícula

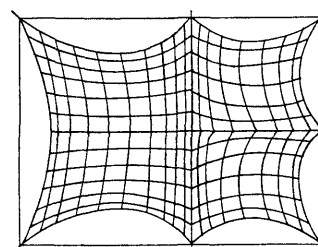
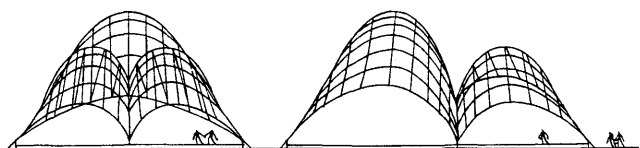
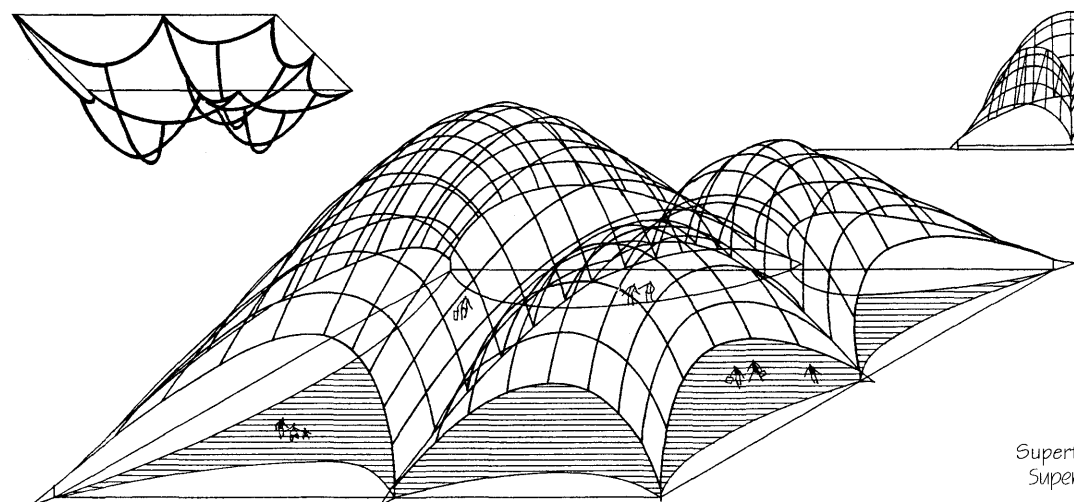
Sistemas de retícula abobadada com arco de malha como definição de borda e como subdivisão da retícula



Superfície reticular abovedada dividida em dos de maneira simétrica  
Superfície reticular abobadada dupla e simétrica



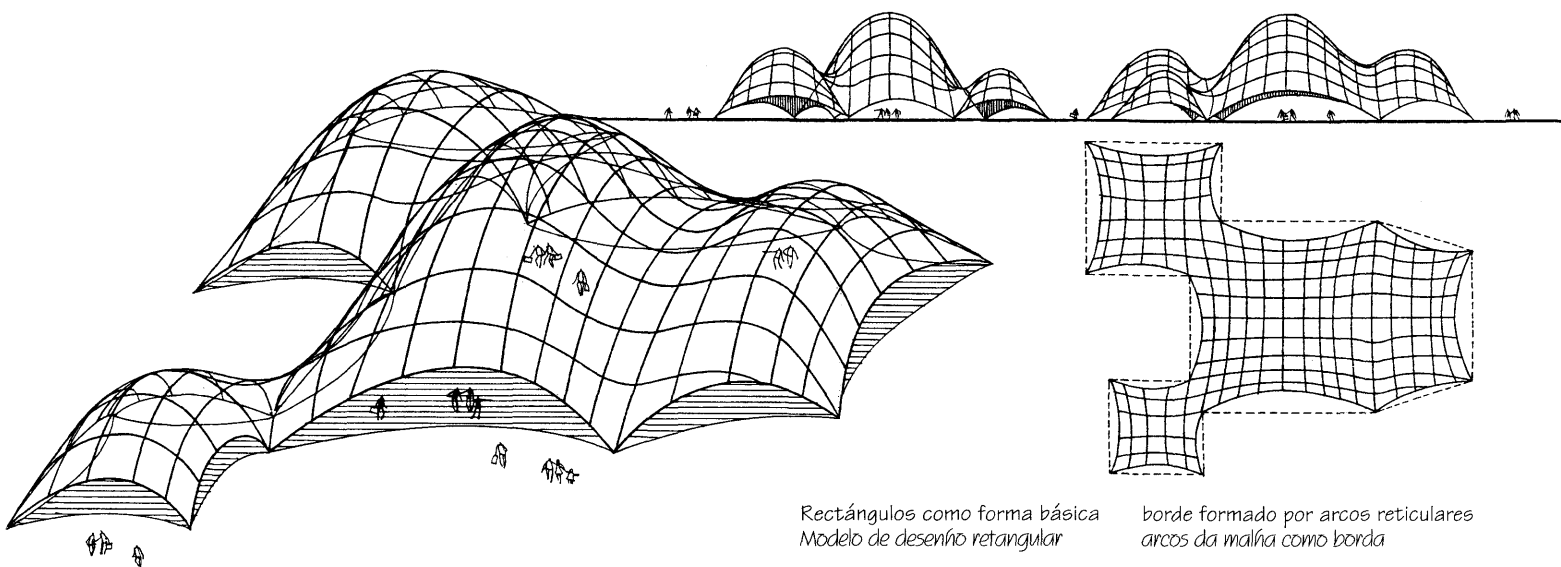
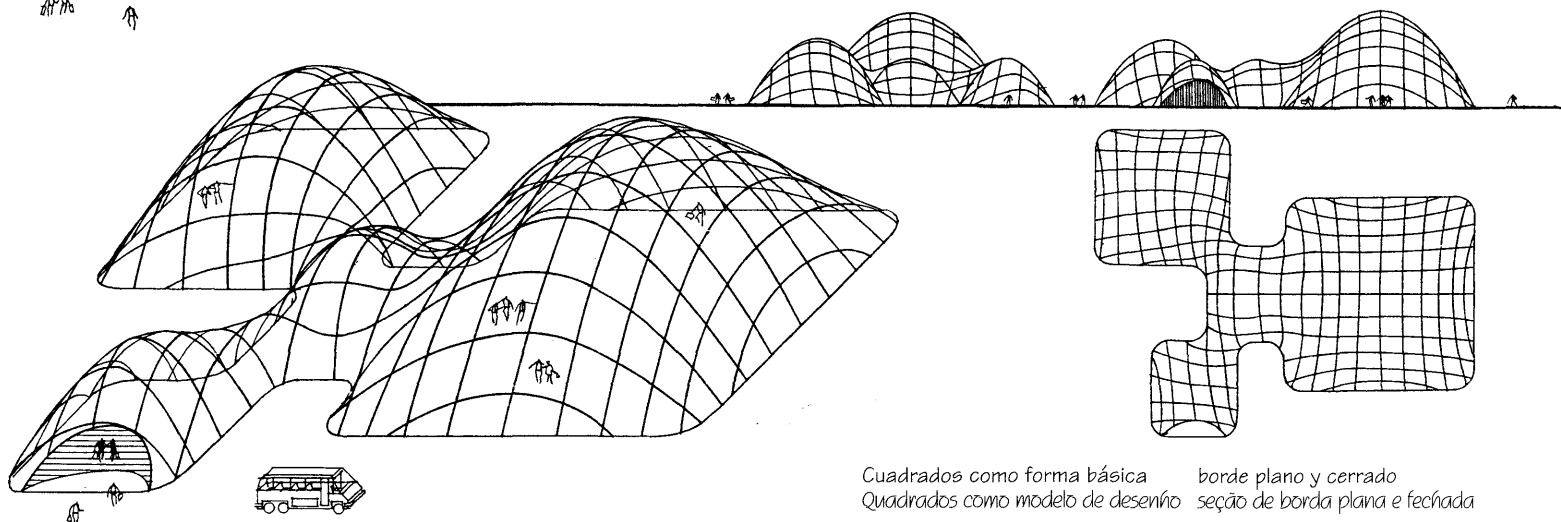
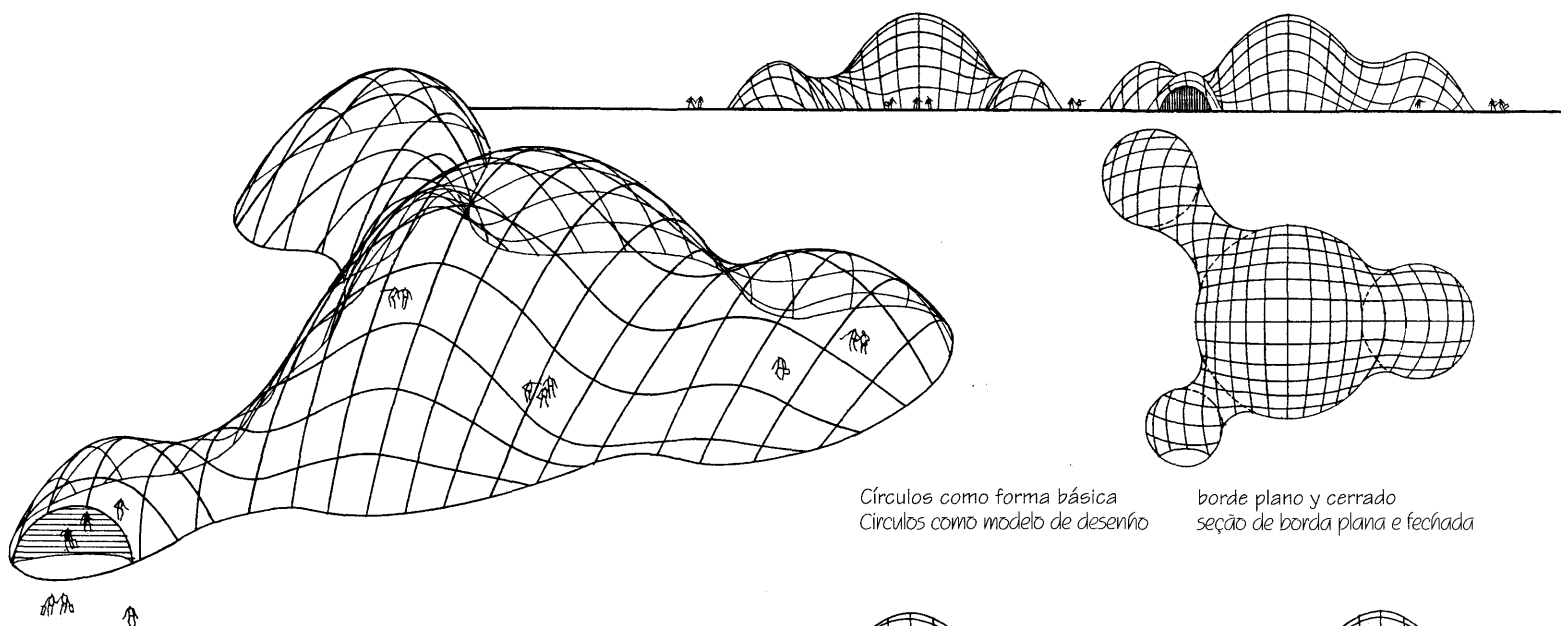
Superfície reticular abovedada dividida em dos de maneira assimétrica  
Superfície reticular abobadada dupla com partes componentes desiguais



Superfície reticular abovedada dividida em forma de T  
Superfície reticular abobadada tripla em disposição de T

Sistemas de retículas abovedadas para plantas de forma irregular

Estrutura de reticula abobadada para planta livre







Sistemas de estructuras de vector activo  
Sistemas estruturais de vetor-ativo

2

Elementos curtos, sólidos, em linha reta, isto é, peças lineares, são componentes estruturais que, devido à sua pequena seção em comparação com seu comprimento, podem transmitir forças apenas na direção de seu comprimento, isto é, esforços normais (tração e/ou compressão): barras a tração e barras a compressão.

As barras compressíveis e tracionáveis em montagem triangular formam uma composição estável, e completa em si mesma que, se apropriadamente suportada, é capaz de receber cargas assimétricas e variáveis, transferindo-as aos extremos.

As barras compressíveis e tracionáveis, dispostas em uma determinada forma e colocadas em um sistema com juntas articuladas, constituem mecanismos que podem mudar as direções das forças e transmitir cargas a longas distâncias sem apoios intermediários: sistemas estruturais de vetor-ativo.

A característica dos sistemas estruturais de vetor-ativo é a montagem triangular das peças em linha reta: triangulação.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo efetuam a redistribuição das forças, na qual as forças externas são divididas e redirecionadas por duas ou mais peças, e são mantidas em equilíbrio por contraforças apropriadas, os vetores.

A posição das peças em treliça, com relação à direção dos esforços externos, determina nos sistemas estruturais de vetor-ativo a grandeza dos esforços vetoriais nas peças. É conveniente um ângulo entre 45° e 60° para a direção da força; assim obtém-se uma redistribuição efetiva, com forças vetoriais relativamente pequenas.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo são sistemas multicompostos, cujo mecanismo repousa sobre a ação combinada do tensor individual e peças compressíveis.

O conhecimento de como se pode mudar a direção das forças por meio da decomposição do vetor, e de como se pode testar a grandeza das forças vetoriais, é um requisito prévio indispensável para a evolução das idéias estruturais sobre a base do vetor-ativo.

Uma vez que a composição e decomposição de

forças é basicamente o centro de qualquer transformação físico-mecânica e, conseqüentemente, a essência do projeto de qualquer mecanismo resistente, as bases do mecanismo de vetor-ativo referem-se não somente aos sistemas de treliças, mas também a qualquer outra criação de forma que tente mudar a direção das forças com o fim de criar um espaço aberto.

A mudança de direção das forças por mecanismo vetorial não deve necessariamente ocorrer em um único plano, nem a distribuição de carga em um único eixo. A decomposição de forças pode ser também efetuada tanto em curvas planas quanto em direções tridimensionais.

Dispondo as peças em planos curvos, simples ou duplamente, a vantagem da redistribuição das forças dos sistemas de vetor-ativo é integrada e, assim, é estabelecido um mecanismo de transmissão de carga coesivo e resistente aos esforços: sistema de treliças curvas.

A expansão biaxial das vigas em treliça triangulada conduz aos suportes espaciais planos.

O conhecimento da geometria do espaço, das sistemáticas dos poliedros e das leis da trigonometria esférica é um requisito prévio para a utilização das múltiplas possibilidades de projeto de treliças espaciais.

O mecanismo de redistribuição de forças dos sistemas de vetor-ativo pode ser aplicado também em outros tipos de sistemas estruturais, especialmente se estes, devido ao aumento do peso próprio, tenham atingido os limites de possibilidade de execução. Assim, arcos, pórticos ou cascas também podem ser projetados como sistemas em treliça.

Com relação à distribuição de esforços, os sistemas estruturais de vetor-ativo podem ser comparados com as estruturas compactas que possuem a mesma forma: em uma viga entrelaçada apoiada simplesmente com cordas paralelas, os esforços nas barras relativas à direção e grandeza são semelhantes aos esforços internos de uma viga reta também apoiada em ambas as extremidades.

Já que as composições de vetor-ativo são muito eficientes com relação às condições de carga variável, e uma vez que são compostas por ele-

mentos em linha reta de pequeno porte, são altamente apropriadas para os sistemas estruturais de forma vertical, nas construções tipo arranha-céus.

Os sistemas de vetor-ativo têm grandes vantagens como sistemas estruturais verticais para construção de arranha-céus. Compostos convenientemente, podem combinar as funções estruturais de agrupamento linear das cargas, de transmissão direta destas e de estabilidade lateral ao vento.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo, devido à sua possibilidade ilimitada de expansão tridimensional com elementos padronizados, com um mínimo de obstrução do espaço, são a forma estrutural adequada às cidades dinâmicas do futuro.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo são requisitos prévios para uma ampla invasão do planejamento urbano na terceira dimensão da altura. Somente por meio de estruturas espaciais de vetor-ativo pode-se alcançar um domínio técnico do espaço tridimensional em escala urbana.

O conhecimento dos sistemas estruturais de vetor-ativo é, portanto, imprescindível, não só para o projetista de grandes arranha-céus mas também para o planejador de estruturas tridimensionais de futuras cidades.

Os sistemas estruturais de vetor-ativo, em seu esqueleto transparente, são uma expressão convincente do gênio inventivo do homem para manipular as forças e dominar a gravidade.

Devido ao tratamento puramente técnico de treliças, o potencial estético dos sistemas de vetor-ativo permanece sem uso. O emprego dos sistemas estruturais de vetor-ativo nas construções de edifícios é caracterizado, portanto, pelo desempenho estrutural de alto nível, por um lado, e por um descuido estético, por outro.

Com o desenvolvimento de juntas limpas e salientes, e seções de barras leves e simples, a estrutura triangulada e os sistemas em treliça nas construções do futuro serão também dirigidas esteticamente e desempenharão esse papel formal que o potencial estético e estrutural do projeto merece.

## Definición / Definição

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

OS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE VETOR-ACTIVO são sistemas de estrutura de elementos sólidos e em linha reta (barras, hastes), nos quais a redistribuição de forças faz-se efetiva através da DECOMPOSIÇÃO VETORIAL, isto é, através da DIVISÃO MULTIDIRECCIONAL DE FORÇAS

## Fuerzas / Forças

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

Os componentes do sistema (cordas, barras) são sustentados em parte por compressão, em parte por tensão: SISTEMAS MIXTOS DE COMPRESSÃO E TENSÃO

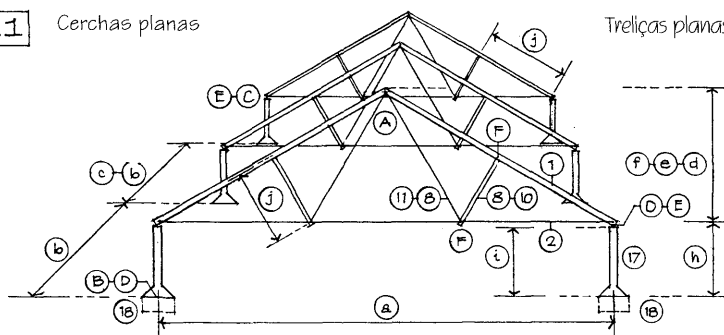
## Características

Las características estructurales típicas son: TRIANGULACIÓN y UNIÓN MEDIANTE NUDOS

As características típicas desta estrutura são: TRIANGULAÇÃO e PONTO DE CONEXÃO

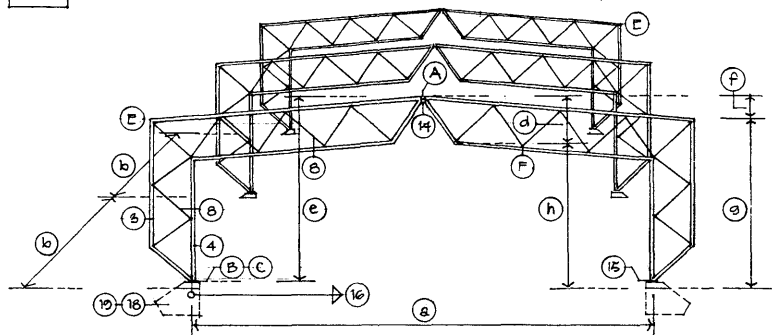
## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

## 2.1 Cerchas planas



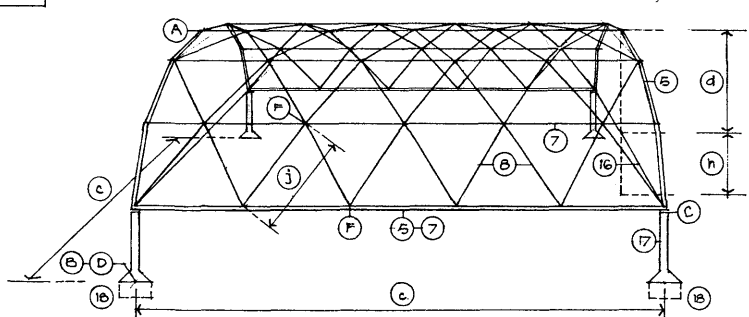
## Treliças planas

## 2.2 Cerchas planas combinadas



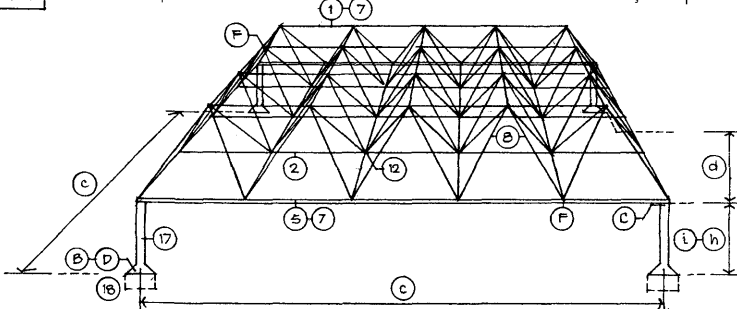
## Treliças planas combinadas

## 2.3 Cerchas curvas



## Treliças curvas

## 2.4 Mallas espaciales



## Treliças espaciais

## 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

## Membros do sistema

- 1 Corda de topo
- 2 Corda inferior
- 3 Corda externa
- 4 Corda interna
- 5 Corda de borda, corda de limite
- 6 Corda cruzada
- 7 Corda longitudinal
- 8 Barra de alma cheia, barra, haste
- 9 Barra diagonal
- 10 Barra de compressão (haste)
- 11 Barra de tensão (haste)
- 12 Junta, ponto de conexão
- 13 Dobradiça, pino de junta
- 14 Coroa de dobradiça, dobradiça superior
- 15 Base de dobradiça
- 16 Tirante, tirante traseiro
- 17 Coluna, suporte
- 18 Fundação, base
- 19 Contraforte, estribo
- 20 Suporte, apoio
- 21 Suporte com final fixo, empotramento

## Puntos topográficos del sistema

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

## Sistema topográfico de pontos

- A Pico, topo, coroa
- B Ponto base
- C Ponto de apoio, ponto de suporte
- D Ponto com final fixo, empotramento
- E Ponto de beiral
- F Ponto de conexão, nó

## Dimensiones del sistema

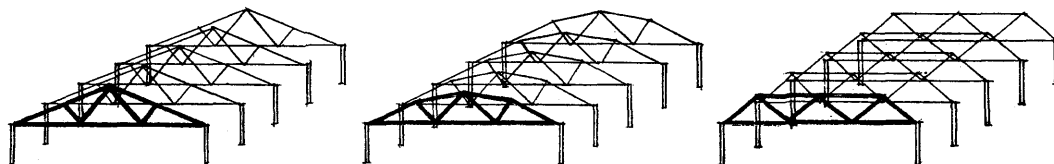
- a Luz
- b Separación entre pórticos
- c Separación entre pilares
- d Altura de la estructura
- e Altura de las cerchas
- f Pendiente
- g Altura del alero
- h Altura libre
- i Altura pilares, longitud pilares
- j Longitud de las barras

## Dimensões do sistema

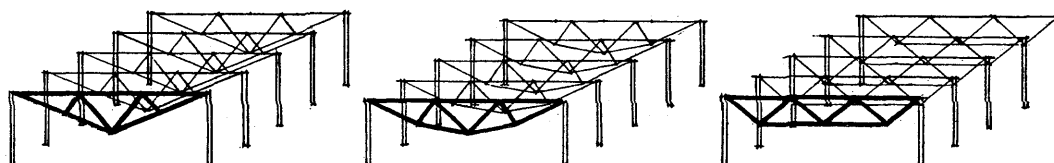
- Vão
- Distância entre pórticos
- Distância entre columnas
- Altura da estrutura
- Altura da treliça
- Subida, elevação
- Altura beirais
- Espaço livre, altura livre
- Altura da base, comprimento do pilar
- Comprimento do tirante, comprimento da barra

## 2.1 Cerchas planas / Treliças planas

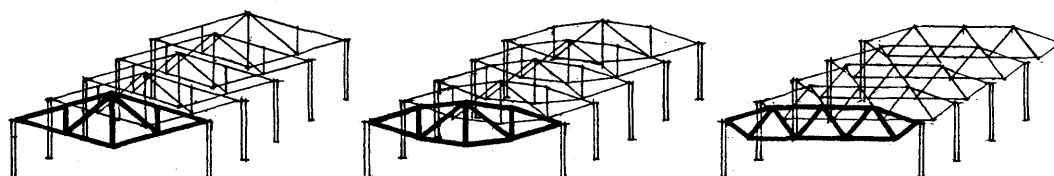
Sistemas de cordón superior  
Sistema de corda de topo



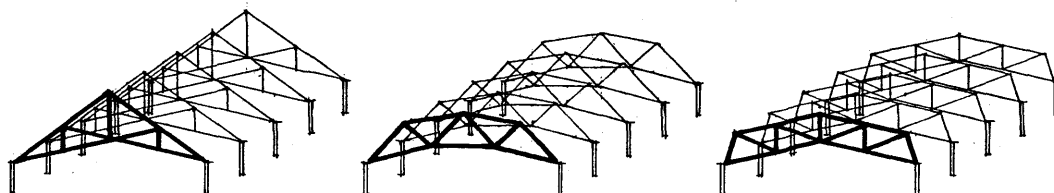
Sistemas de cordón inferior  
Sistema de corda inferior



Sistemas de dos cordones  
Sistema de corda dupla

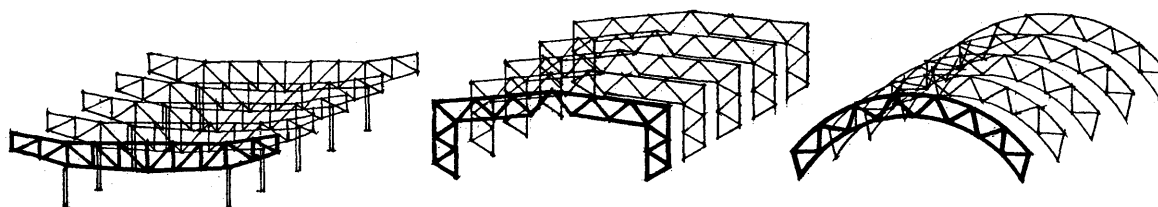


Sistemas sobreelevados  
Sistemas em contraflecha

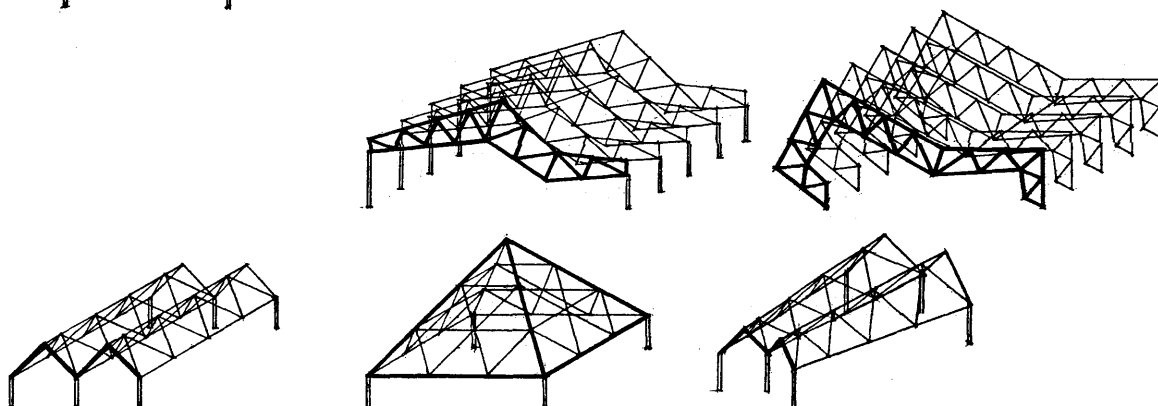


## 2.2 Cerchas planas combinadas / Treliças planas combinadas

Sistemas lineales  
Sistemas lineares



Sistemas plegados  
Sistemas dobrados

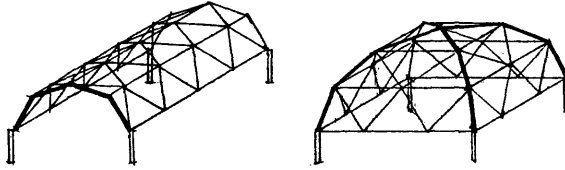


Sistemas cruzados  
Sistemas cruzados

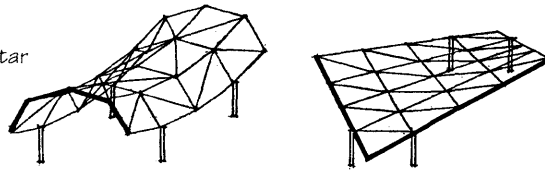


**2.3** Cerchas curvas / Treliças curvas

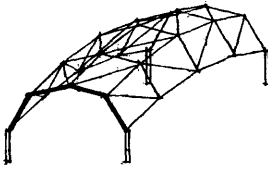
Sistemas de curvatura simple  
Sistemas de curva simples



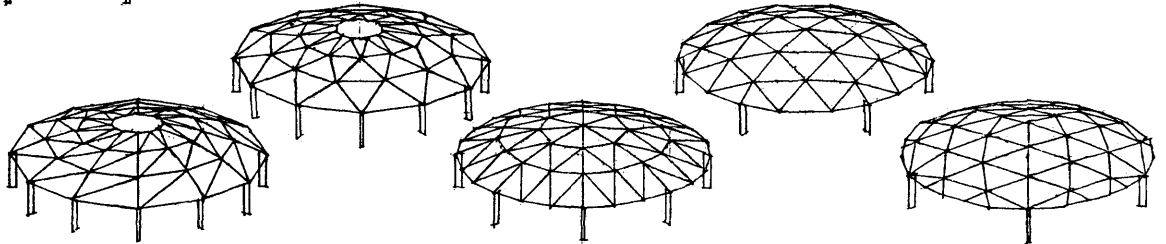
Sistemas en forma de silla de montar  
Sistemas em forma de sela



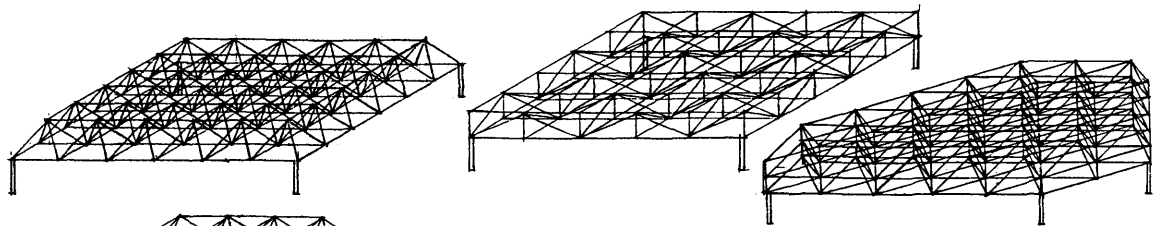
Sistemas en forma de cúpula  
Sistemas em forma de cúpula



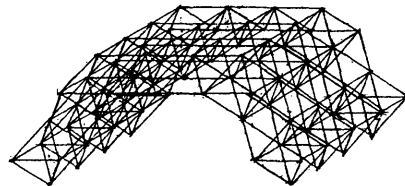
Sistemas de forma esférica  
Sistemas de forma esférica

**2.4** Mallas espaciales / Treliças espaciais

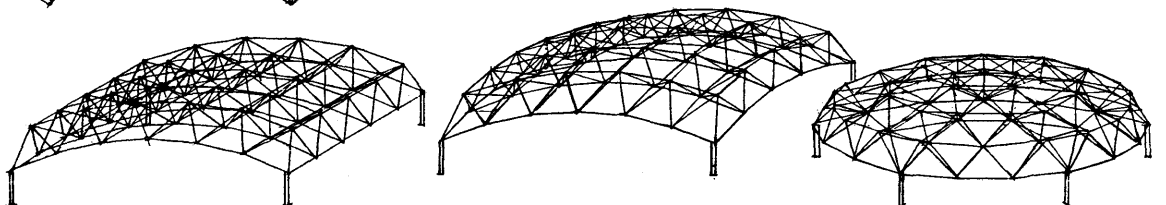
Sistemas planos  
Sistemas planos



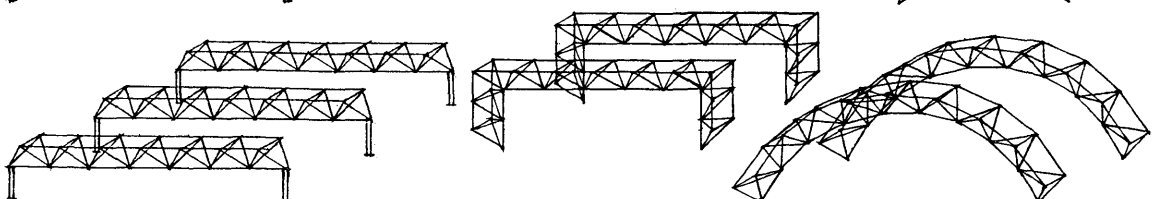
Sistemas plegados  
Sistemas dobrados



Sistemas curvos  
Sistemas curvos



Sistemas lineales  
Sistemas lineares



Aplicaciones: sistema estructural - material - luz

Aplicações: sistema de estrutura - material - vão

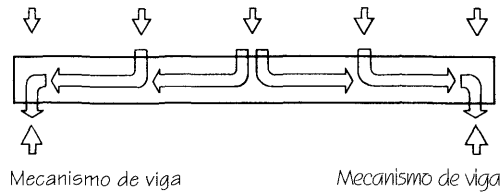
| Sistema estructural / Sistema de estruturas                              |  | Material principal      | Matéria prima          | Luz en metros / Vão em metros |   |    |    |     |     |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|--------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------|------------------------|-------------------------------|---|----|----|-----|-----|----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|                                                                          |  |                         |                        | 0                             | 5 | 10 | 15 | 20  | 25  | 30 | 40  | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |
| Cerchas planas<br><div>2.1</div><br>Trelças planas                       |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 8  | 15 | 20  | 30  | 40 |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 10 | 15 | 20  | 30  | 50 |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 10 | 20 | 20  | 30  | 40 | 100 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Cerchas planas combinadas<br><div>2.2</div><br>Trelças planas combinadas |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 15 | 20 | 40  | 40  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 15 | 25 | 100 | 120 |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 8  | 12 | 25  | 30  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Cerchas curvas<br><div>2.3</div><br>Trelças curvas                       |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 10 | 20 | 30  | 30  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 8  | 12 | 25  | 30  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 20 | 40 | 100 | 200 |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Mallas espaciales<br><div>2.4</div><br>Trelças espaciais                 |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 8  | 15 | 30  | 30  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 6  | 25 | 100 | 130 |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 8  | 15 | 30  | 30  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 15 | 20 | 40  | 70  |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                                                          |  | madera<br>metal (acero) | madeira<br>metal (aço) |                               |   | 15 | 25 | 120 | 150 |    |     |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones propio de sus componentes. De esto resultan condicionantes inevitables para la elección de los principales materiales de construcción y su situación respecto a las luces.

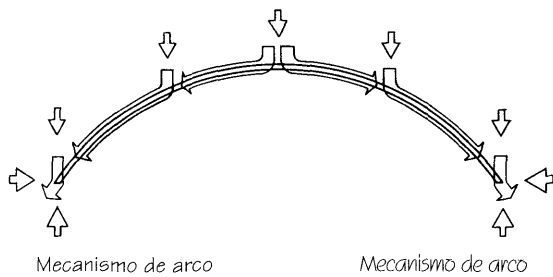
Em cada tipo de estrutura há uma condição inerente de tensão específica de seus componentes. Essa característica essencial submete o projeto das estruturas a associações racionais na escolha do tecido estrutural principal e na atribuição da capacidade de vão.

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

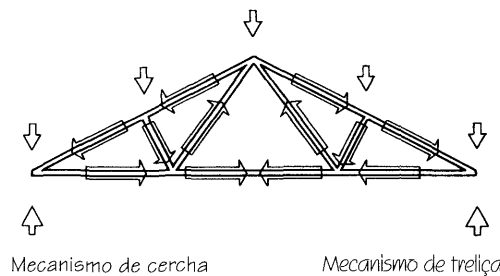
Comparação do mecanismo de treliça com outros mecanismos de redistribuição de forças.



Transmisión de fuerzas mediante la sección del material.  
Redistribuição das forças externas por meio de seção material rígida.



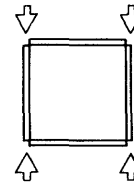
Transmisión de fuerzas exteriores mediante forma material adecuada.  
A Redistribuição de forças externas por meio de forma material apropriada.



Transmisión de fuerzas exteriores mediante el esquema adecuado de barras individuales.  
Redistribuição de forças externas por meio de disposição adequada de barras individuais.

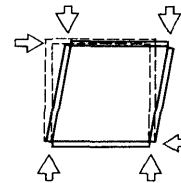
### Arriostramiento de cercha mediante triangulación del bastidor

Rigidez da treliça por meio da triangulação do quadro.



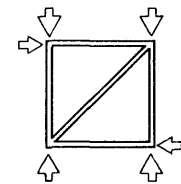
Un bastidor con cuatro articulaciones en las esquinas sólo está en equilibrio en teoría.

O pórtico com quatro articulações nos cantos: está em equilíbrio apenas teoricamente.



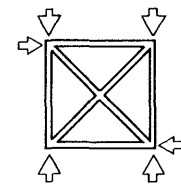
Con una carga asimétrica, el sistema no funciona si las esquinas no se rigidizan.

Sob carga assimétrica, o sistema não funcionará enquanto os cantos permanecerem flexíveis.



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

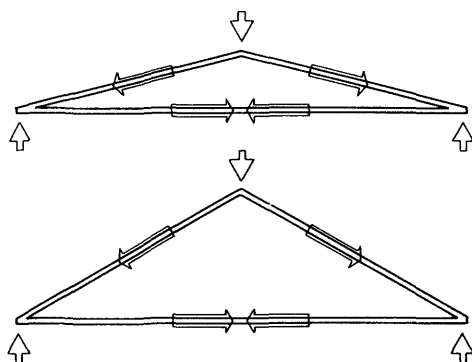
A barra diagonal resiste à deformação. O pórtico transforma-se em treliça.



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

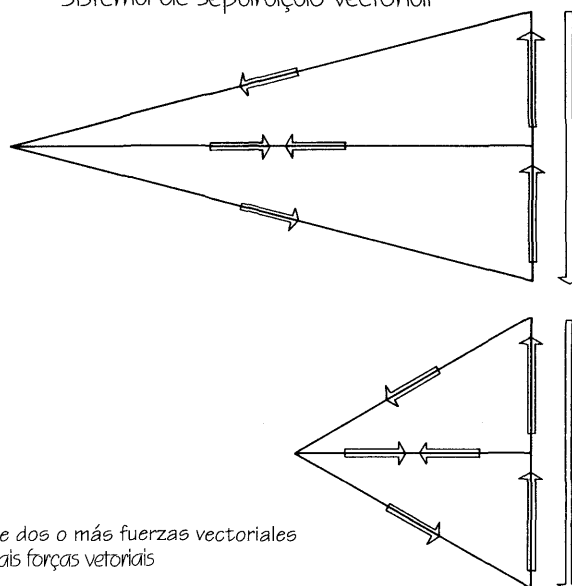
A segunda barra diagonal aumenta a rigidez, mas não é um requisito para a ação vetorial.

### Sistema de separación de vectores



Cada fuerza exterior se conserva en equilibrio mediante dos o más fuerzas vectoriales  
Cada carga externa é mantida em balanço por duas ou mais forças vetoriais

### Sistema de separação vectorial



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

A altura da construção é reduzida: as forças nas barras aumentam, porque sua componente na direção da carga externa diminui e torna-se menos eficiente.

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

A altura da construção é aumentada: as forças nas barras diminuem, porque sua componente na direção da carga externa aumenta e torna-se mais eficiente.

Influencia del canto en la carga sobre las barras

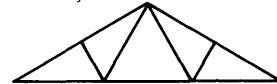
Influência da altura da construção nos esforços das barras de alma cheia

Cantos

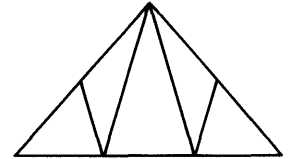
Alturas de construção



bajo



mediano



alto

baixa

média

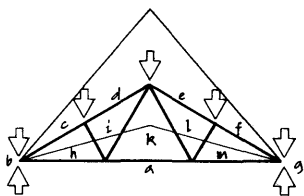
alta

Nudos

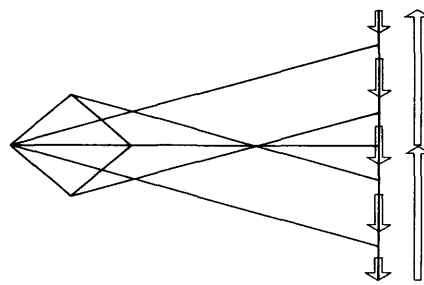
Nós

Esfuerzos vectoriales

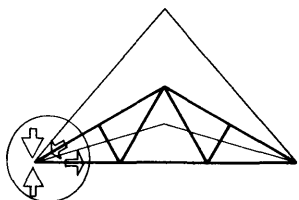
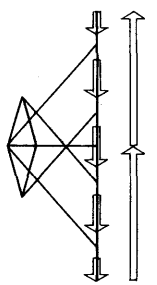
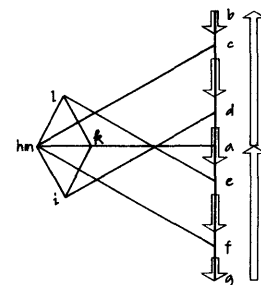
Esforços vetoriais



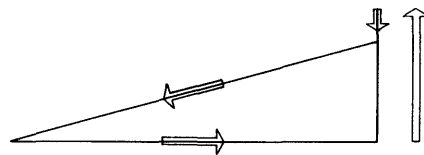
todos los nudos



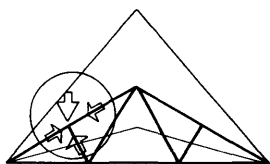
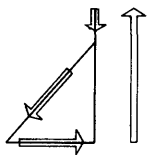
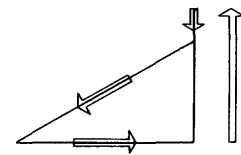
todos os nós



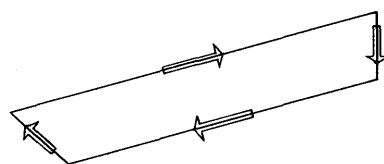
nudo en apoyo



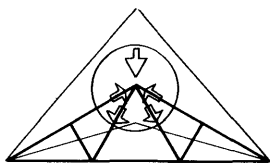
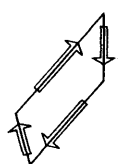
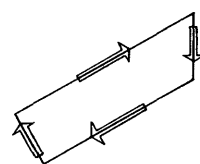
nó no apoio



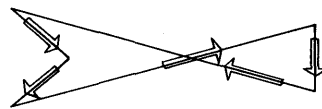
nudo en cordón superior



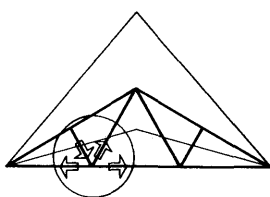
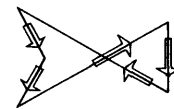
nó na corda de topo



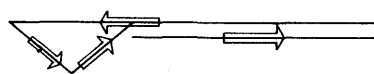
nudo en vértice



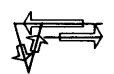
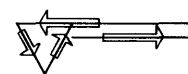
nó na cumeeira



nudo en cordón inferior

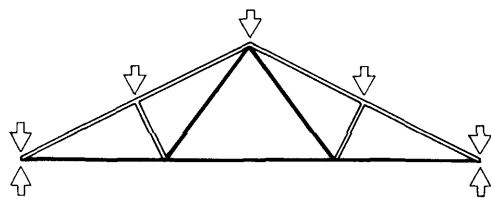


nó na corda inferior

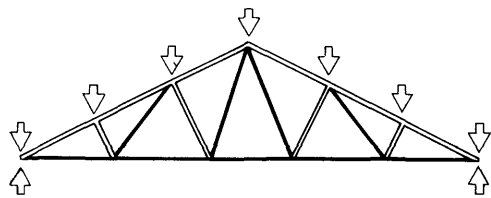




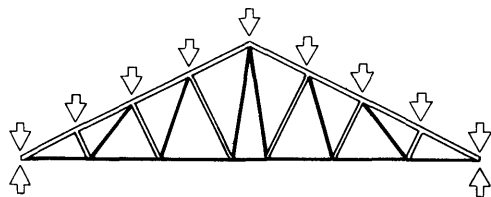
Influencia de la división del esquema de barras  
sobre la distribución de tensiones  
Influência da divisão do painel na distribuição dos esforços



esquema de barras  
en 4 áreas  
esquema com 4 painéis

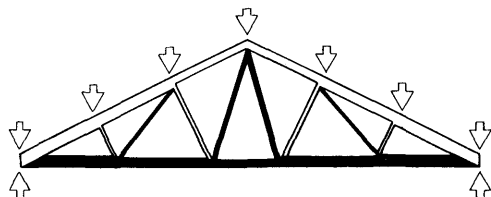


esquema de barras  
en 6 áreas  
esquema com 6 painéis

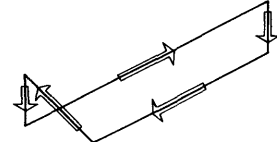
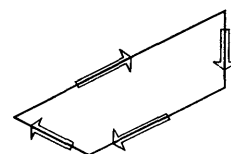
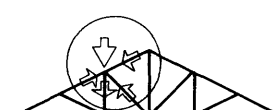
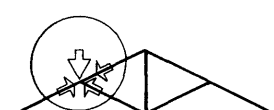
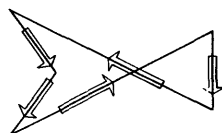
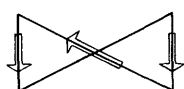


esquema de barras  
en 8 áreas  
esquema com 8 painéis

Comparación de dimensiones tensionales en las  
barras individuales  
Comparação das tensões nas barras individuais



Influencia de la distribución de las barras en la distribución  
de tensiones en los nudos  
Influência da disposição na distribuição dos esforços nos nós



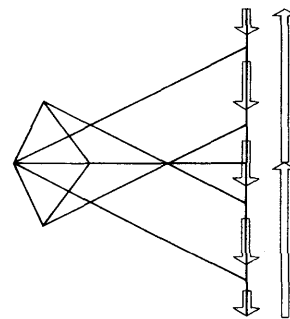
A pesar de la introducción de una barra adicional, las tensiones  
aumentan en las barras del vértice por la disposición poco efectiva de  
los ángulos en las barras intermedias.

Apesar da introdução de uma viga adicional, os esforços no espigão  
aumentarão, por causa dos ângulos pouco efetivos nas barras.

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

Apesar do aumento de barras os esforços nas barras dificilmente decresce-  
rão, por causa dos ângulos diferentes das barras.

Cercha Polanceau  
Treliça belga

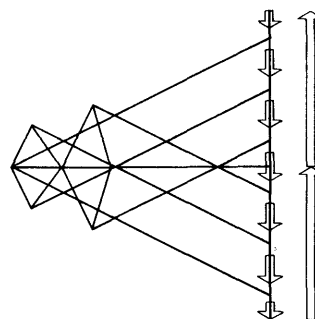


cuatro módulos

4 painéis

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

Esforço principal (compressão) nas barras  
superiores com comprimentos de flambagem  
críticos.

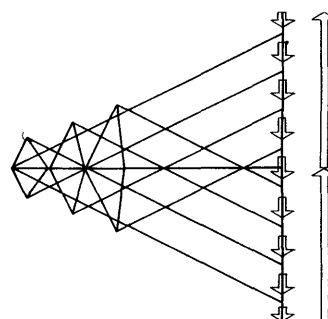


seis módulos

6 painéis

Reducción considerable de las longitudes  
de pandeo en el cordón superior. Notable  
bajada de tensiones en las barras diag-  
nales.

Redução considerável do comprimento de  
flambagem nas barras superiores. Redução  
considerável de esforços nas barras diag-  
onais.



ocho módulos

8 painéis

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

Menor redução do comprimento de flamba-  
gem nas barras superiores. Redução não  
muito grande dos esforços nas barras dia-  
gonais.

Estado de carga uniforme  
Carga uniforme da treliça

## Influencia del perfil de la cercha sobre los cordones y las barras

Análogamente a la catenaria, la línea funicular dibuja el camino natural de las fuerzas de compresión hacia los apoyos dentro de una materia homogénea. Mediante la comparación del perfil de la cercha se pueden sacar conclusiones sobre los esfuerzos dentro de la cercha. La norma general es que cuanto mayor es la distancia de la materia estructural de la línea funicular, menos efectiva es la reconducción de los esfuerzos y la economía.

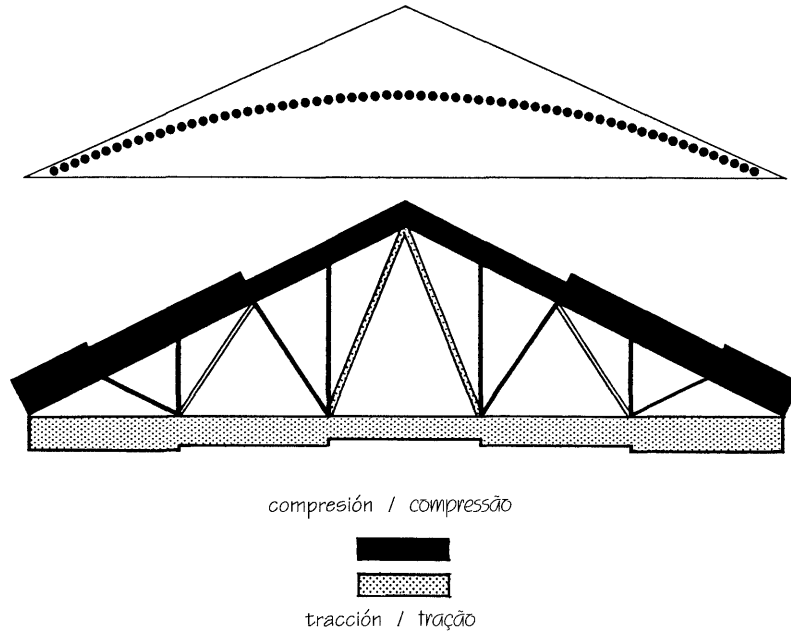
## Influência do perfil de treliça na distribuição de esforços nas cordas e barras

Analogamente à catenária, a linha de empuxo funicular delinea o caminho natural de forças compressoras (isto é, determinado por gravidade) aos suportes dentro do tecido estrutural homogêneo. Comparando isso com o perfil de treliça, podem ser traçadas conclusões sobre a distribuição de esforços dentro da treliça. A regra geral é: quanto maior a distância entre o tecido estrutural da linha funicular, menor é a eficácia da força de redistribuição e a economia.

### Cercha triangular

El perfil de la cercha sólo se acerca a la línea funicular en los puntos de apoyo. Aquí se aprovecha la capacidad de los cordones en su totalidad, produciéndose los esfuerzos máximos.

Concentración crítica en el área de los apoyos.



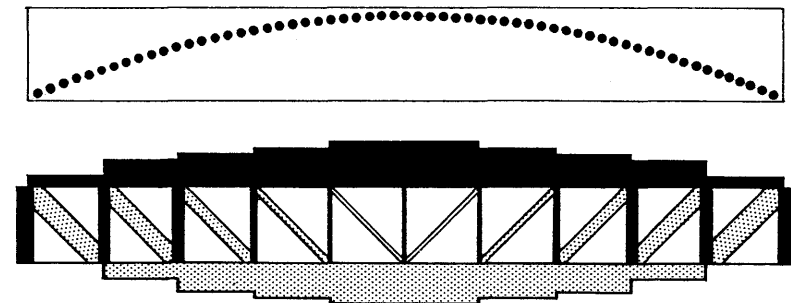
### Treliça de duas águas

Somente nos pontos de apoio, o perfil da treliça aproxima-se da linha de empuxo funicular. Aqui, a capacidade das cordas é totalmente utilizada; e desenvolver-se-ão forças máximas. Concentração crítica de forças em direção aos suportes.

### Cercha de cordones paralelos

El perfil de la cercha sólo se corresponde con la funicular en la zona central. Aquí se aprovecha la capacidad de los cordones en su totalidad; produciéndose los esfuerzos máximos.

Concentración crítica en la zona central.



### Treliça de corda paralela

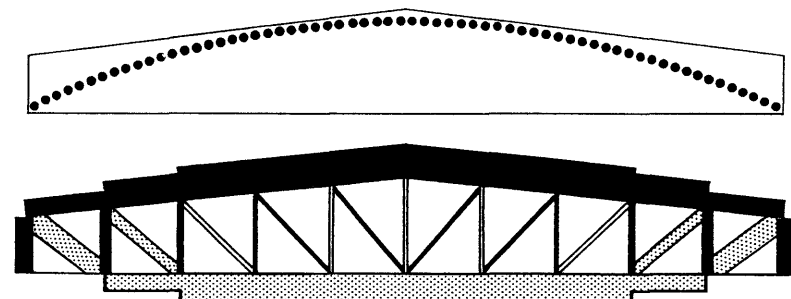
Somente na zona central, o perfil de treliça corresponde com a linha de empuxo funicular. Aqui a capacidade das cordas é totalmente utilizada e desenvolver-se-ão forças máximas.

Concentração crítica de forças na zona central.

### Cercha trapezoidal

El perfil de la cercha se corresponde básicamente con la funicular. Los cordones reciben la carga a lo largo de una zona central más amplia; los esfuerzos se reparten de forma equitativa.

Reparto de esfuerzos más equilibrado con su punto principal en el centro de la cercha.



### Treliça de corda trapezoidal

O perfil de treliça está amplamente de acordo com a linha funicular. As cordas são tensionadas na zona central ao longo de uma distância muito maior; as forças são distribuídas mais uniformemente.

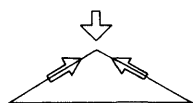
Distribuição balanceada de forças culminando no centro da treliça.

Derivación de las formas básicas para cerchas  
bidimensionales sencillas

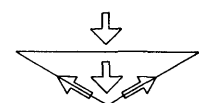
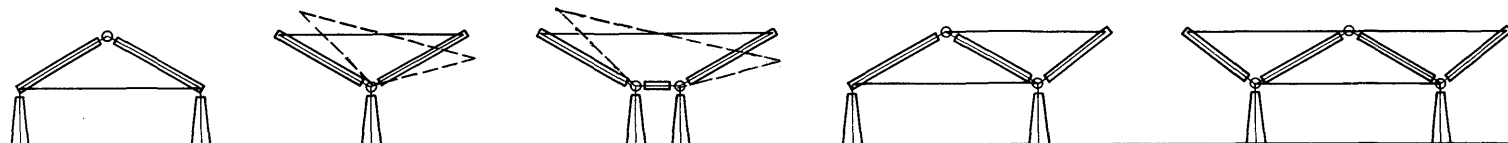
Influencia de las condiciones de apoyo en la forma estructural

Derivação das formas básicas de treliças  
simples bidimensionais

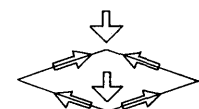
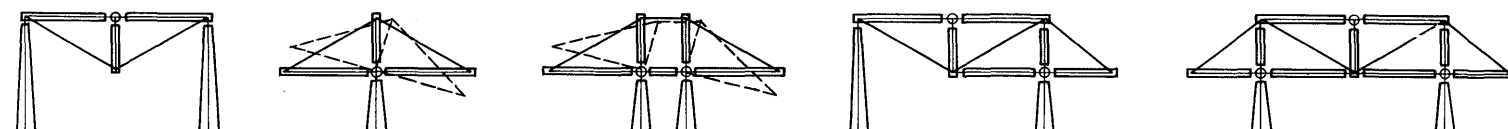
Influência das condições de apoio na forma da estrutura



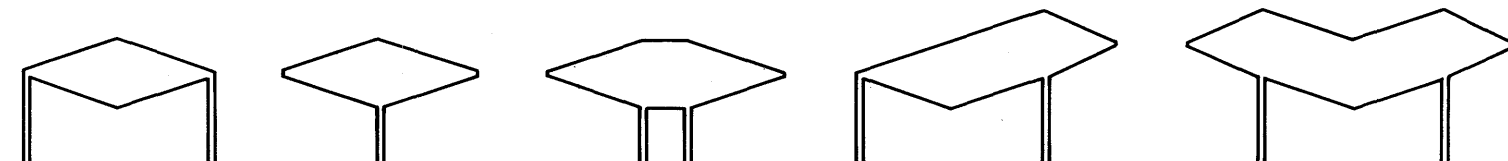
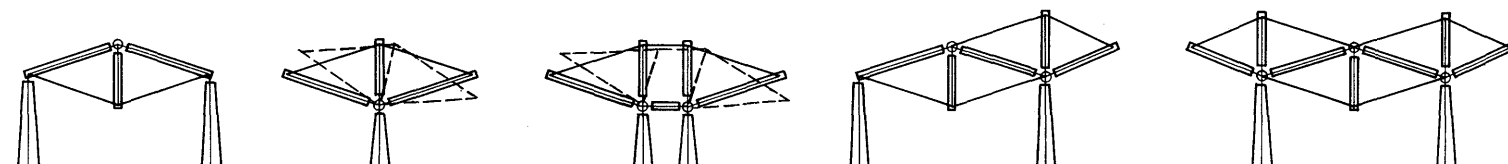
Acción vectorial por ángulo de compresión  
Ação vetorial por meio do ângulo de compressão



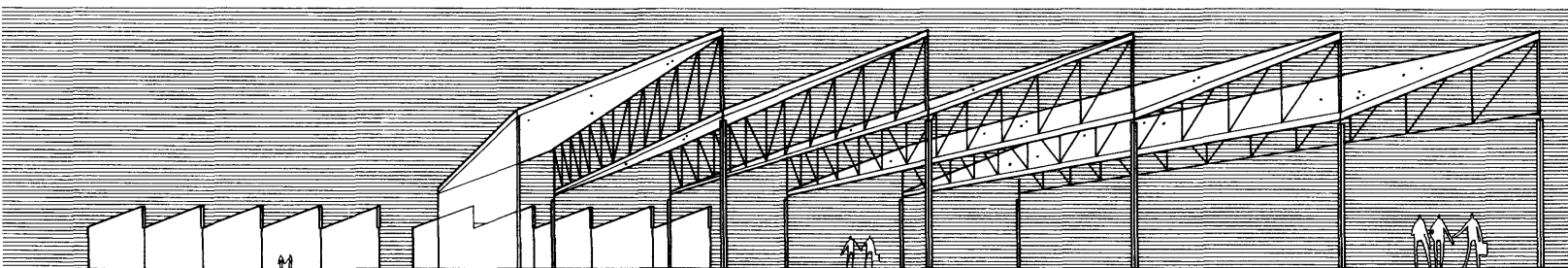
Acción vectorial por ángulo de tracción  
Ação vetorial por meio do ângulo de tração



Acción vectorial por combinación de ángulos de tensión y compresión  
Ação vetorial por meio do ângulo combinado de tração e compressão

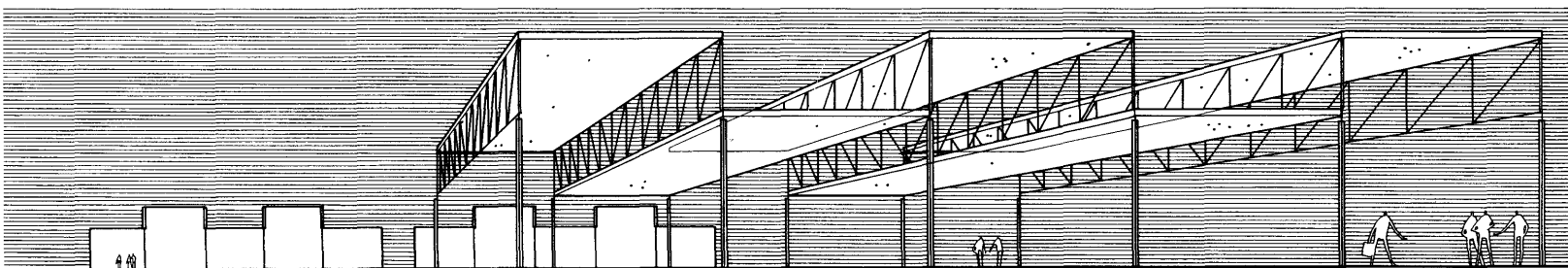


Posibilidades formales mediante diferenciación de planos de cubierta en cerchas continuas  
Possibilidades de projeto através da diferenciação de tetos planos nas treliças continuas



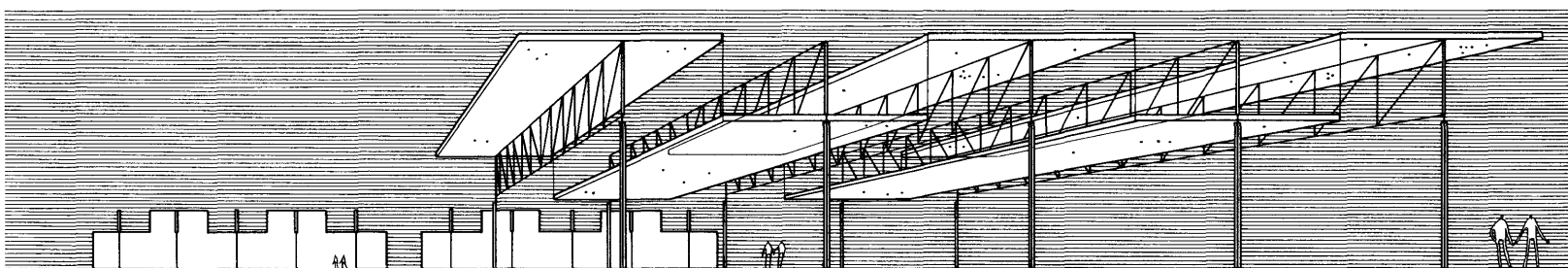
Planos de cubierta inclinados biapoyados

Tetos planos inclinados apoiados nas duas extremidades



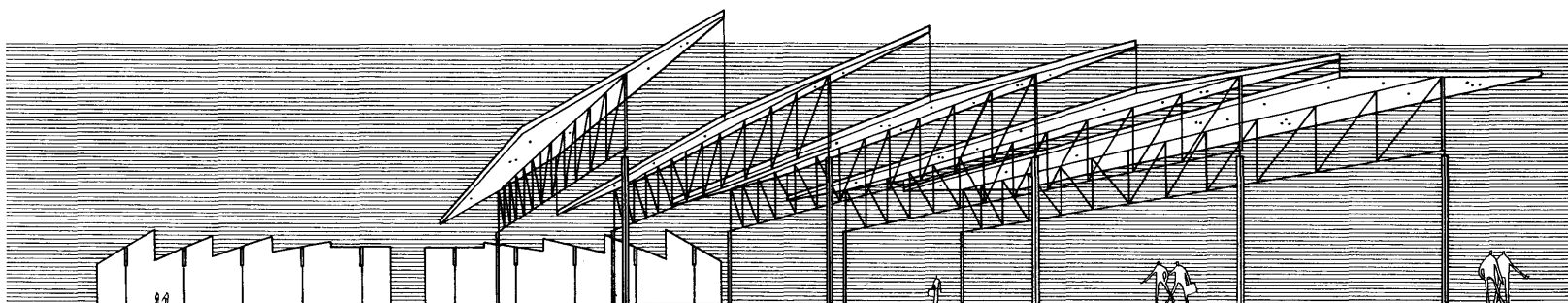
Planos de cubierta planos biapoyados

Tetos planos horizontais alternados apoiados nas duas extremidades



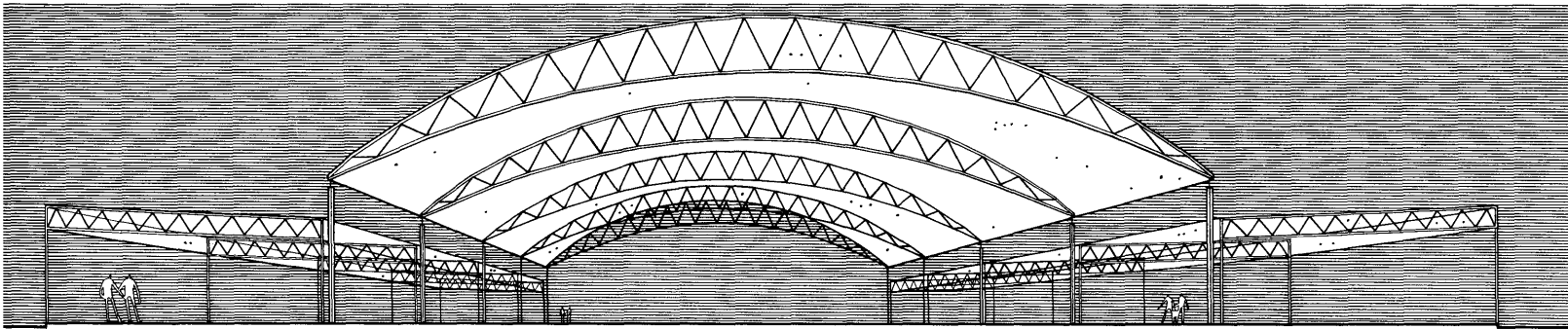
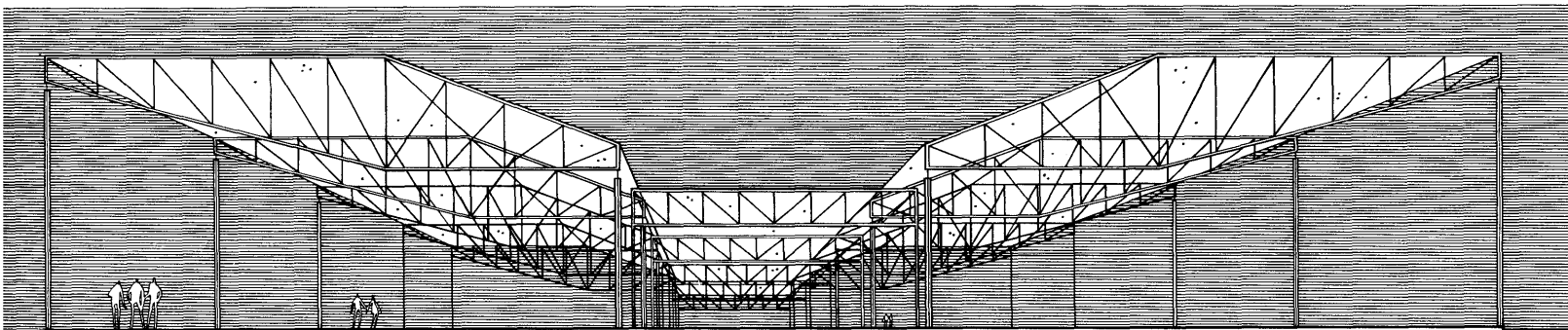
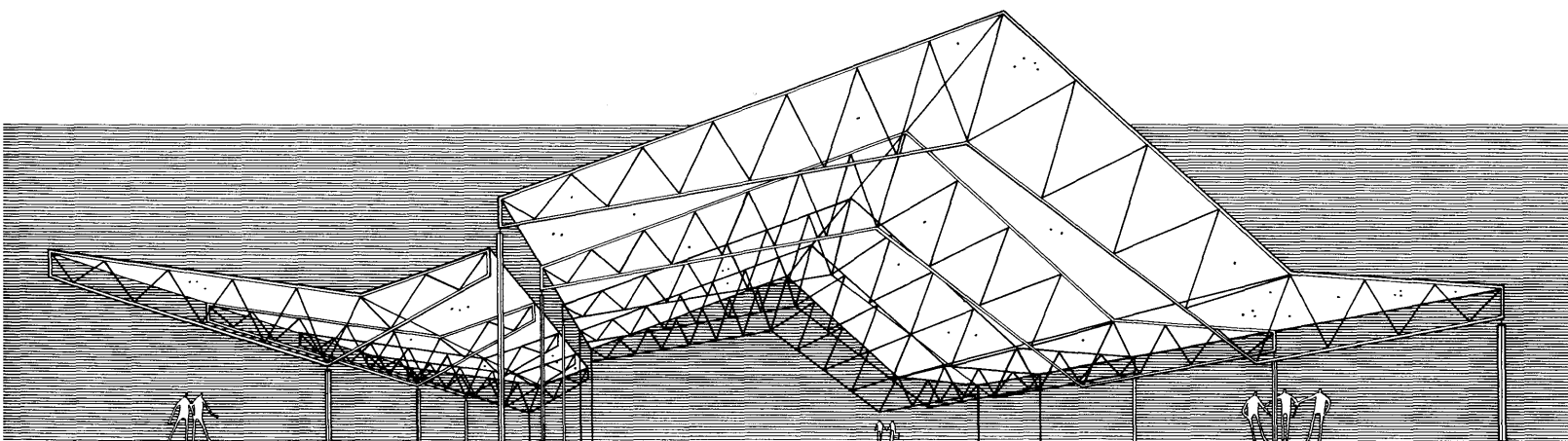
Planos de cubierta con apoyo central

Tetos planos horizontais apoiados no centro



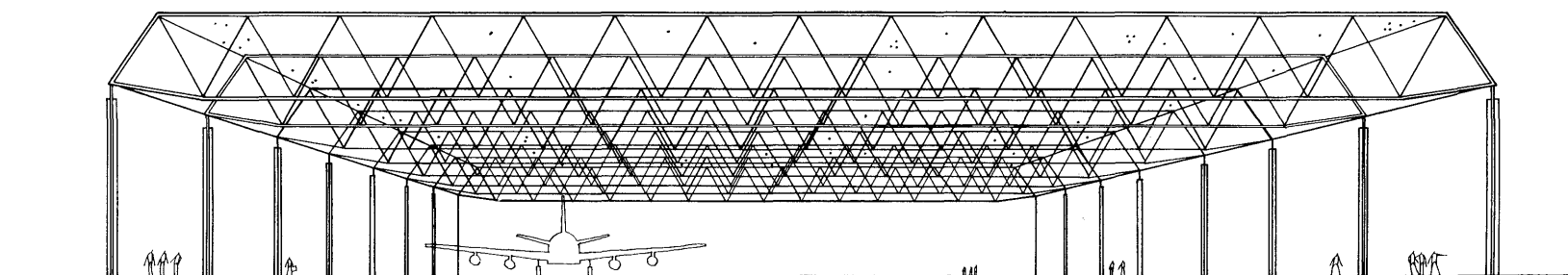
Planos de cubierta con inclinación variable y apoyo central

Tetos planos com inclinações diferentes apoiados no centro

*Composición de cerchas de grandes y pequeñas luces**Composição de treliças de grande e pequeno vão**Composición simétrica con cercha central de gran luz**Composição simétrica com treliças de grande vão central**Composición simétrica con cerchas laterales de gran luz**Composição simétrica com treliças de grandes vãos laterais**Composición de cerchas de grandes y pequeñas luces**Composição assimétrica com treliças de grande e pequeno vão*

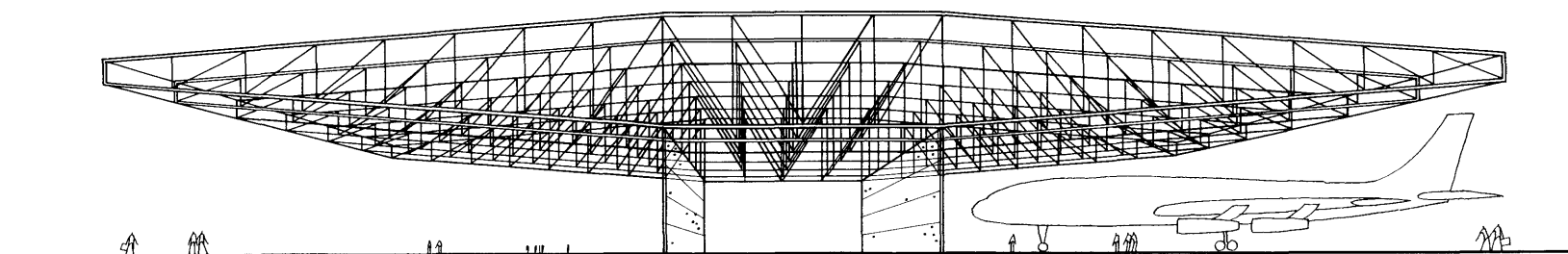
*Cerchas de grandes luces con condiciones de apoyo diferenciadas*

*Treliças de grandes vãos com diferentes condições de apoio*



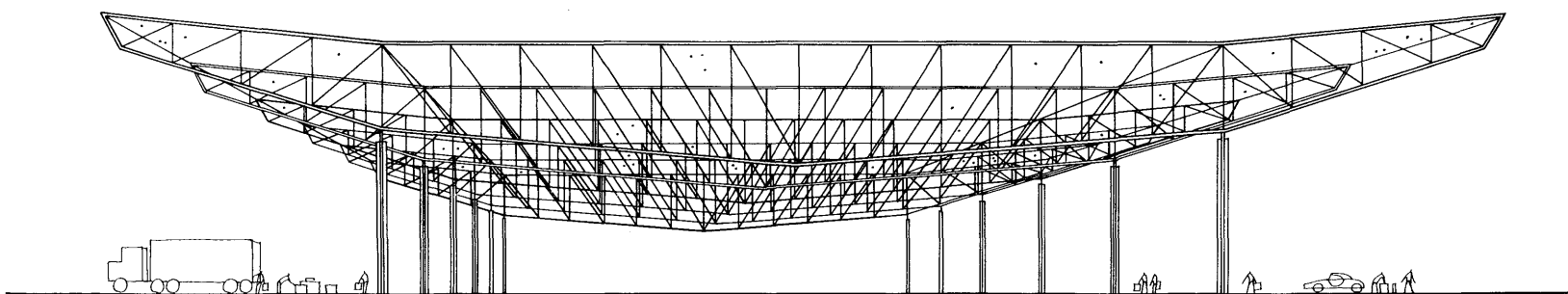
*Cercha biapoyada en los extremos / estructura isostática*

*Treliças apoiadas nas duas extremidades: estrutura de vão livre*



*Cercha con doble pilar central / estructura hiperestática empotrada*

*Treliças com apoio duplo no centro: estrutura em balanço*

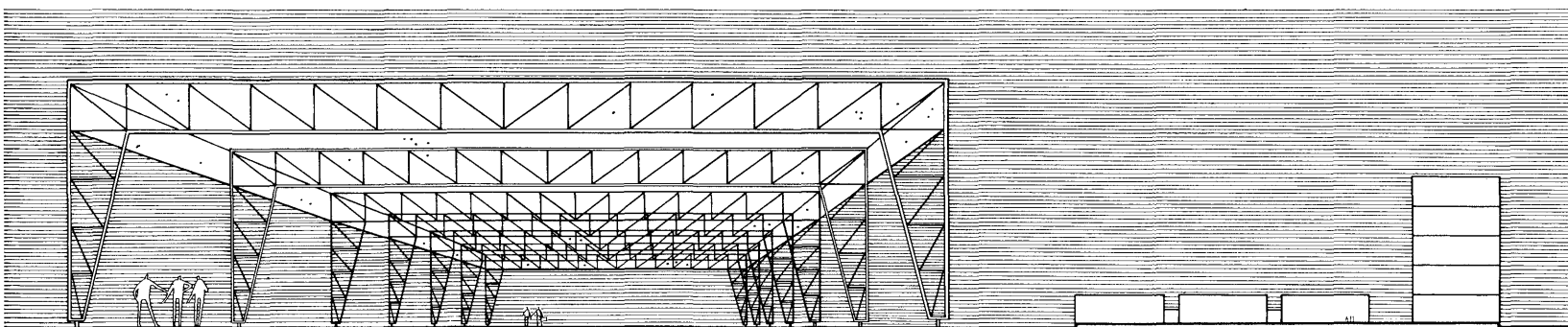


*Cercha con laterales en voladizo / estructura isostática con voladizos*

*Treliças com extremidades em balanço: estrutura com vão livre em balanço*

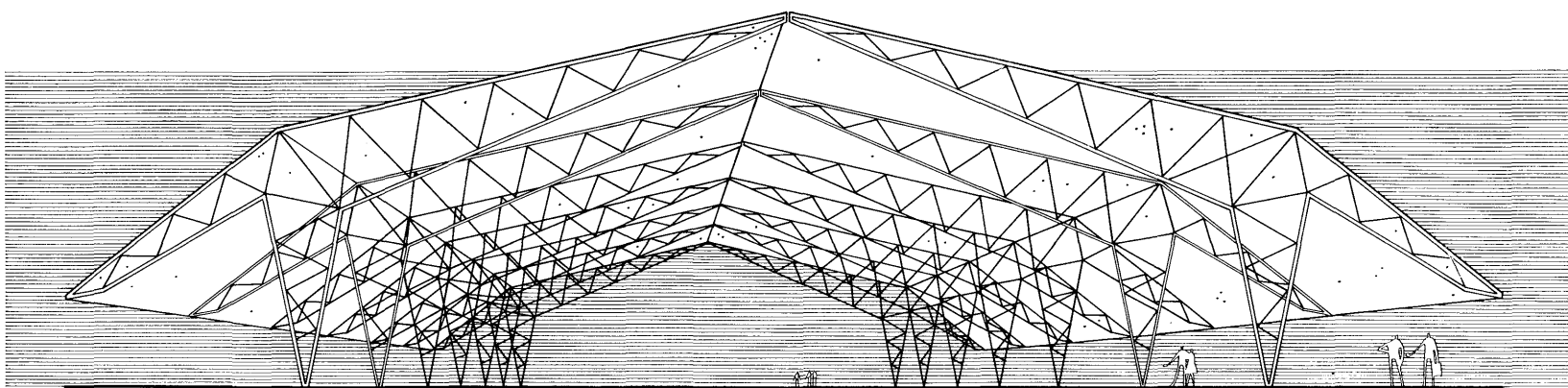
Aplicación del mecanismo de cercha para otros  
sistemas estructurales

Aplicação do mecanismo de treliça para outros  
sistemas estruturais



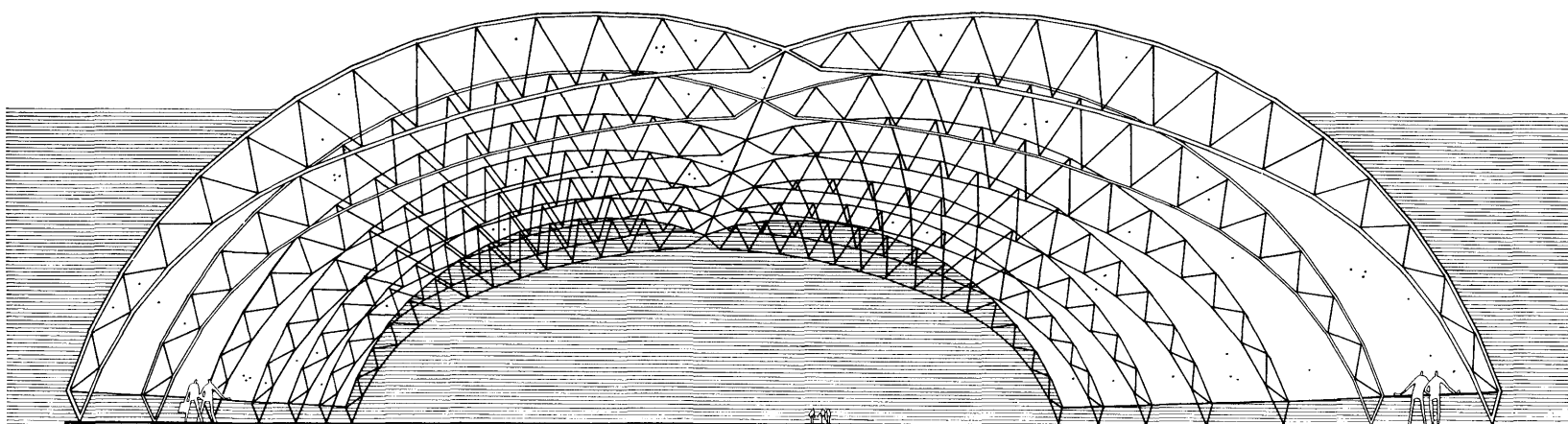
Pórtico de cerchas biarticulado

Pórtico de treliça biarticulado



Pórtico de cerchas triarticulado con voladizo

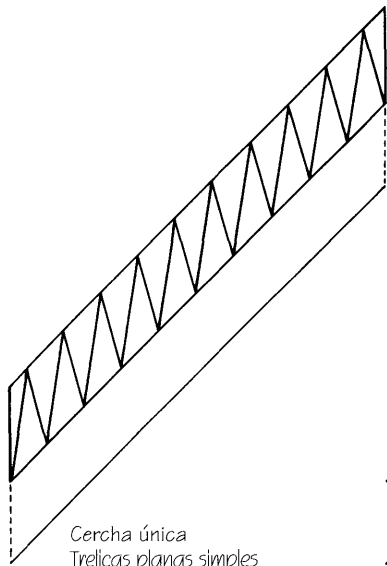
Pórtico de treliça triarticulado com balanços



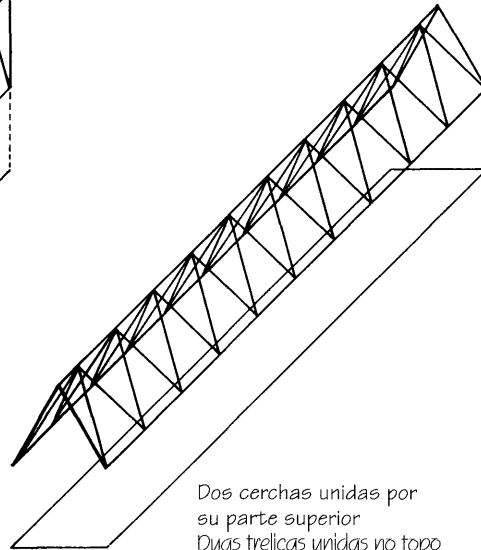
Cercha de celosía triarticulada

Arco de treliça triarticulado

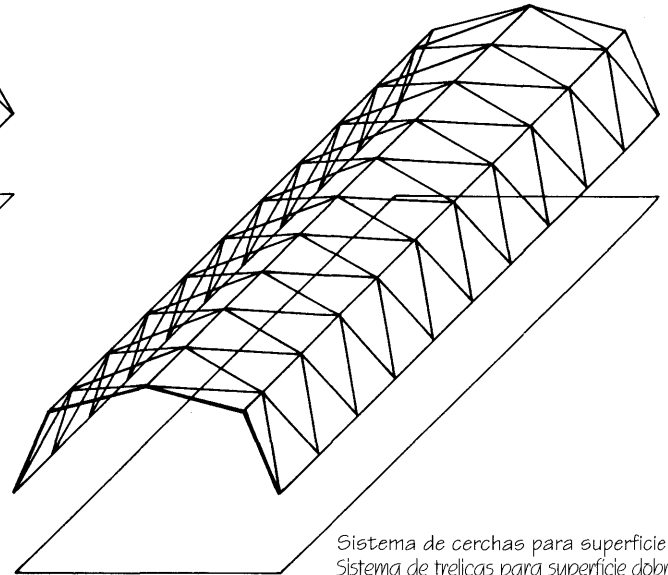
Combinación de cerchas bidimensionales para la creación de sistemas de cerchas en planos plegados o curvados  
 Combinação de treliças planas para formar sistemas de treliças de áreas curvas ou dobradas



Cercha única  
 Treliças planas simples



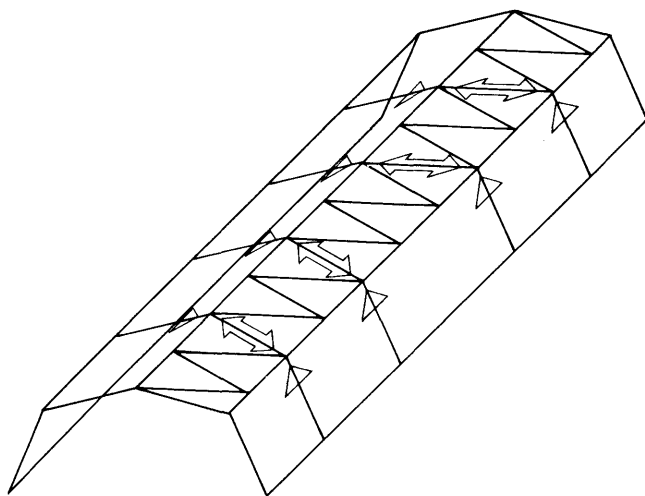
Dos cerchas unidas por  
 su parte superior  
 Duas treliças unidas no topo



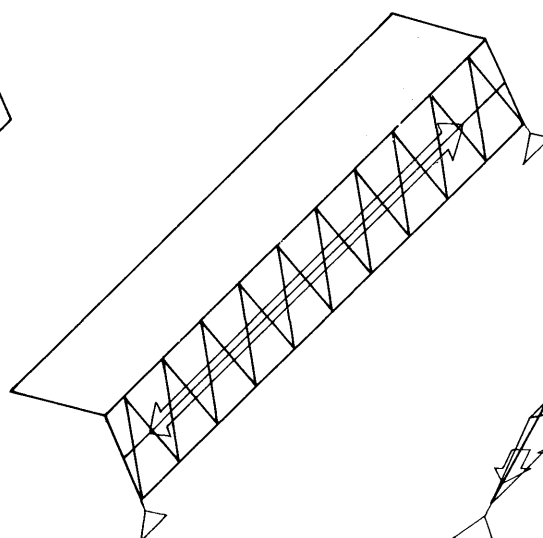
Sistema de cerchas para superficie plegada  
 Sistema de treliças para superficie dobrada

Sustentación triple de la cercha espacial prismática

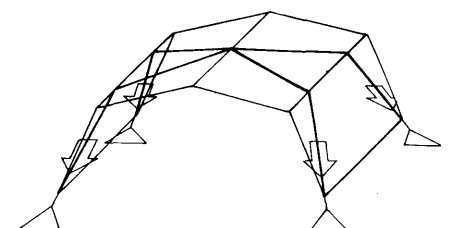
Ação de suporte triplo das treliças espaciais prismáticas



Sustentación transversal entre los cordones como  
 vigas separadas  
 Ação de suporte transversal entre as cordas como  
 vigas separadas

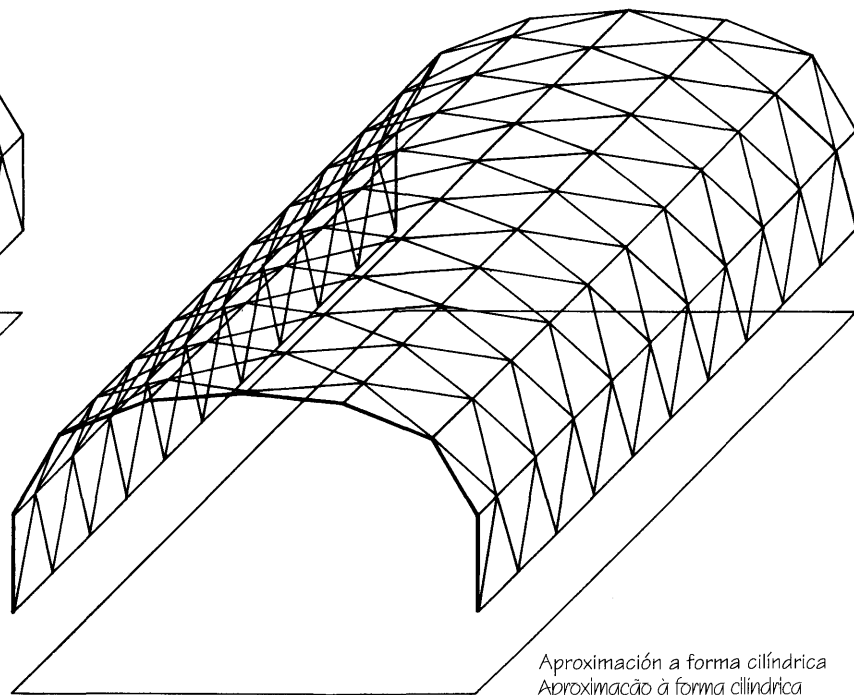
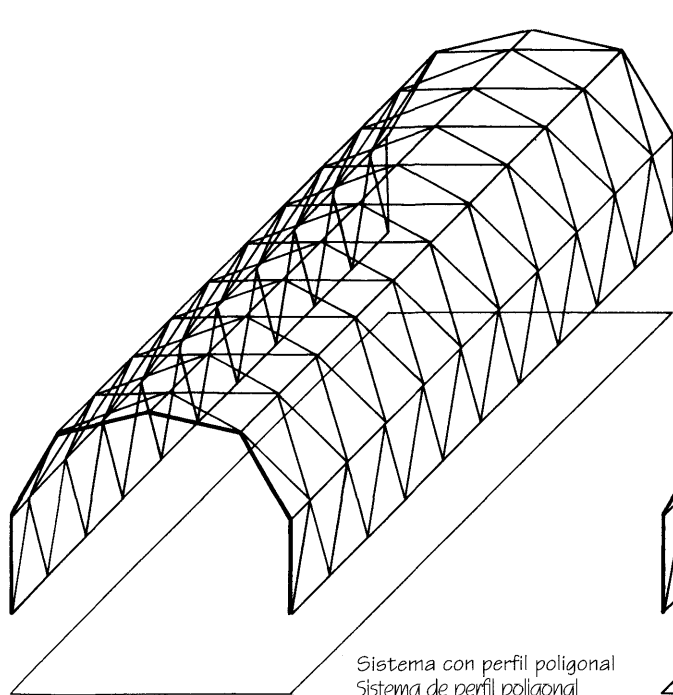


Sustentación longitudinal como cerchas  
 separadas  
 Ação de suporte longitudinal como treliças  
 separadas



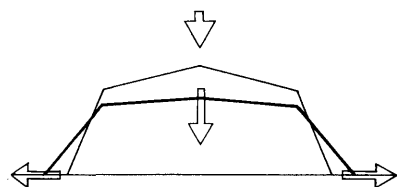
Sustentación transversal como arcos  
 diagonales  
 Ação de suporte transversal como arcos  
 diagonais



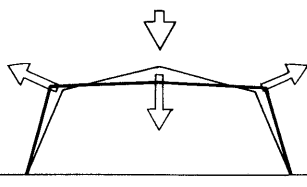


Deformación crítica del perfil transversal en la cercha espacial prismática

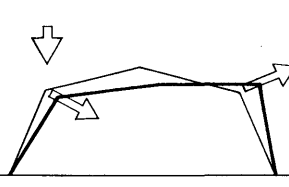
Deformação crítica do perfil transversal



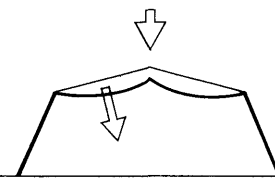
Dislocación lateral de los apoyos  
Deslocamento lateral dos pontos da base



Bajada del vértice (cumbre)  
Rebaixamento do ponto da cumeeira



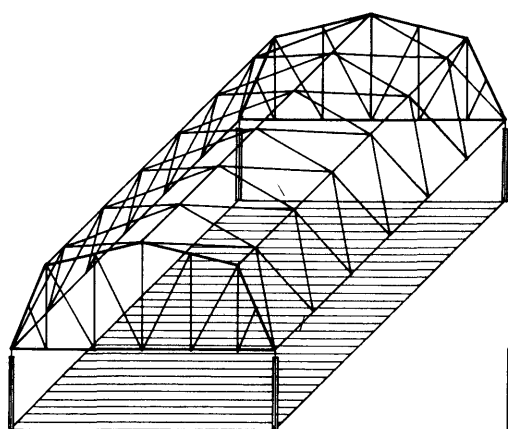
Cambio de los ángulos del perfil  
Mudança dos ângulos do perfil



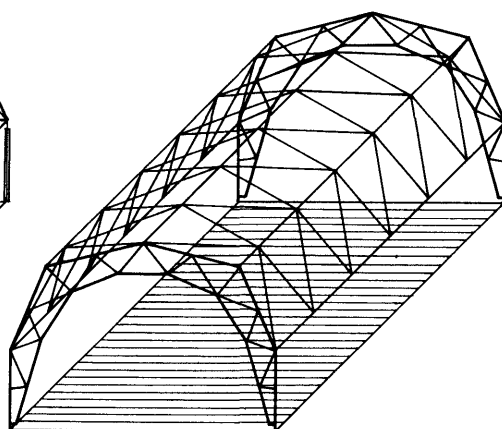
Flexión (pandeo) de los lados  
Flexão (flambagem) dos lados

Formas típicas para arriostramientos transversales de cerchas

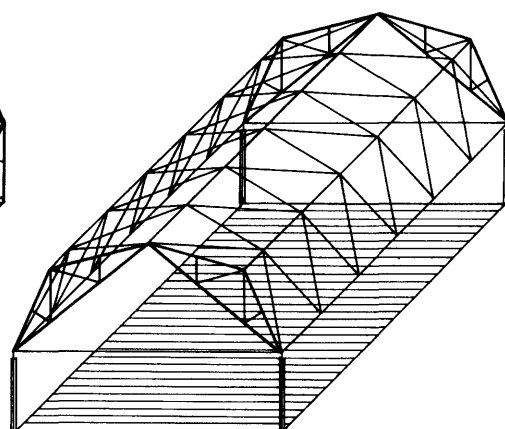
Formas típicas de enrijecedores transversais de treliça



Cercha como diafragma sobre pilares  
Treliza em diafragma sobre pilares



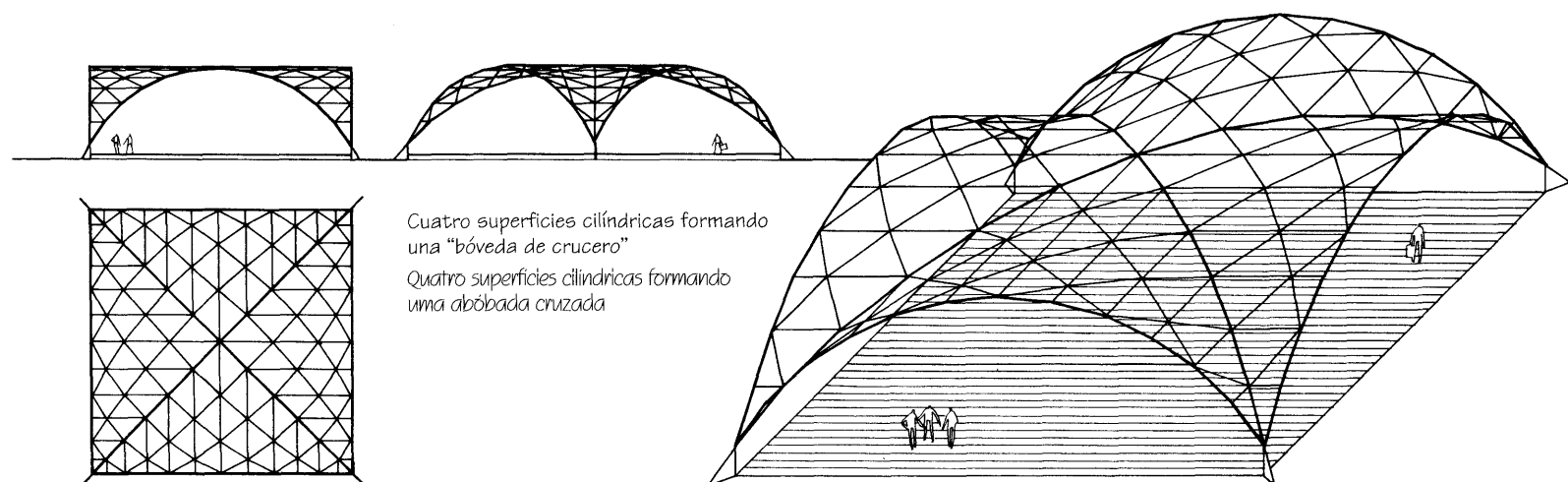
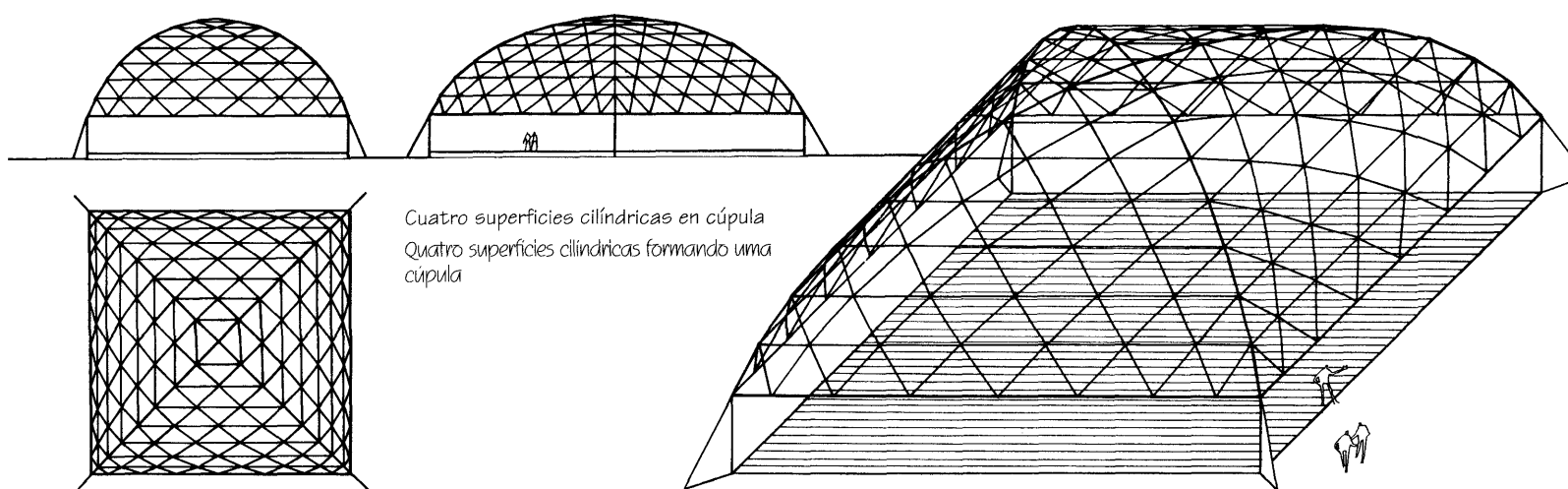
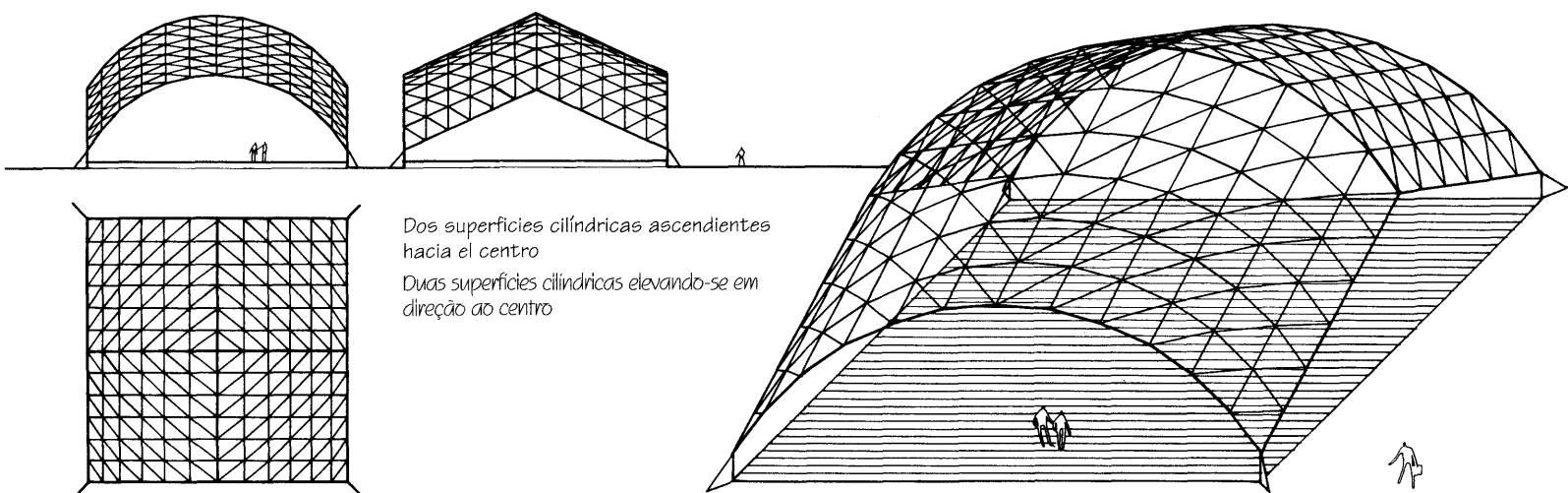
Arco de celosía biarticulado sobre cimientos  
Pórtico de treliça com arco biarticulado sobre fundação



Pórtico de cerchas con tensor sobre pilares  
Pórtico triarticulado de treliça com tirantes nos apoios

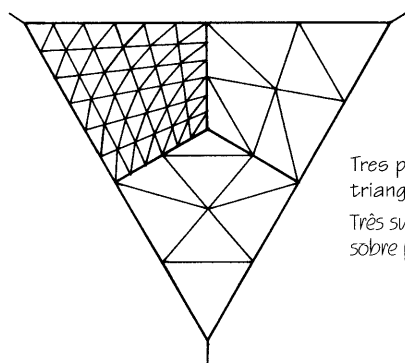
## Sistemas de cerchas para superficies de curvatura simple

## Sistemas de treliças para áreas curvas simples



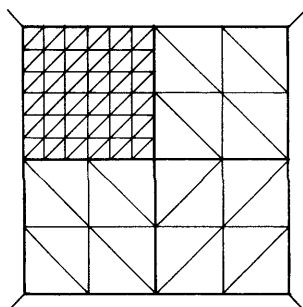
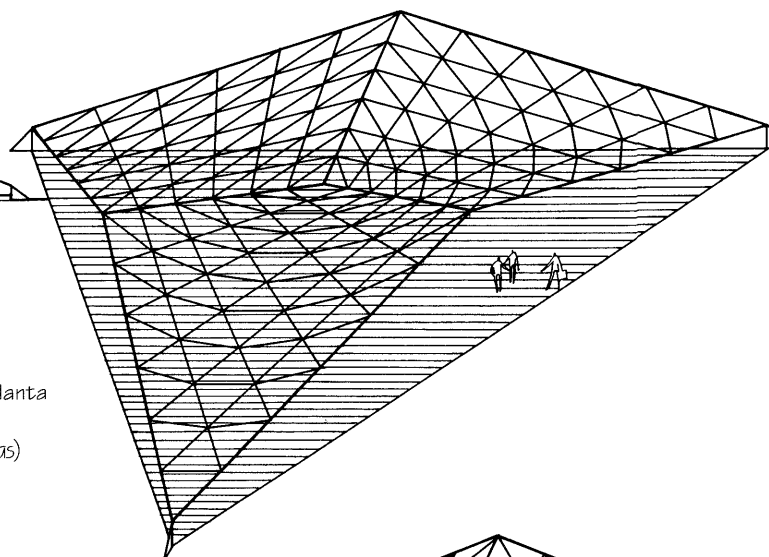
Sistemas de cerchas para superficies de doble curvatura

Sistemas de treliças para superficies de dupla curvatura



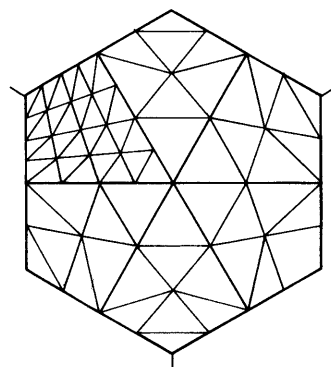
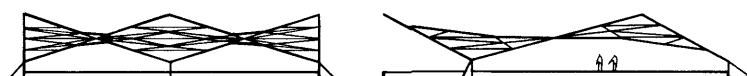
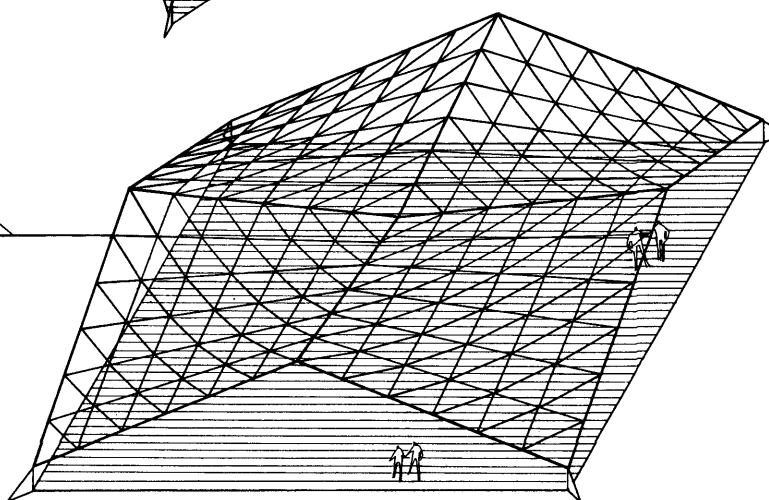
Tres paraboloides hiperbólicos sobre un planta triangular

Três superfícies "hp" (paraboloides hiperbólicas) sobre planta triangular



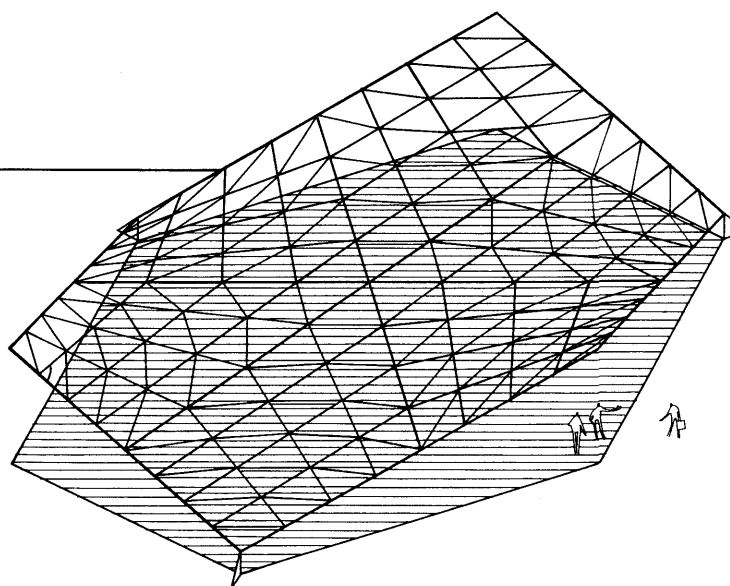
Cuatro paraboloides hiperbólicos sobre planta cuadrada

Quatro superfícies "hp" sobre planta quadrada

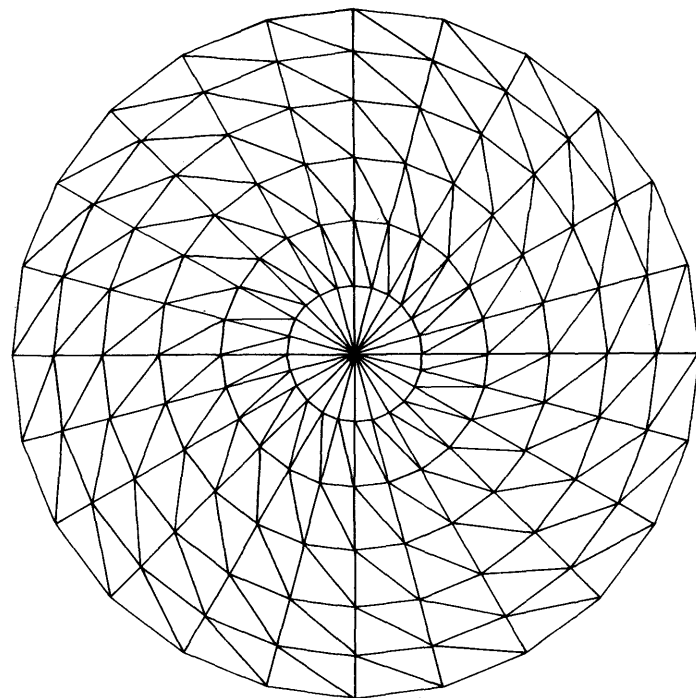
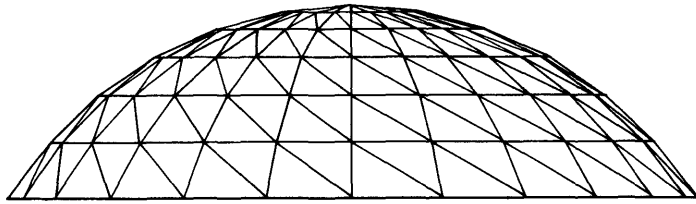


Seis paraboloides hiperbólicos sobre planta hexagonal

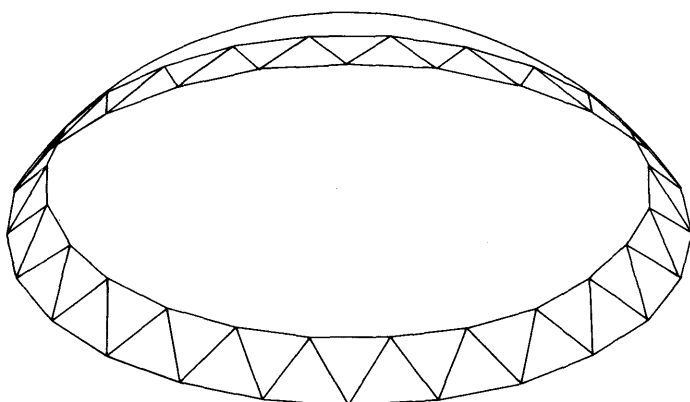
Seis superfícies "hp" sobre planta hexagonal



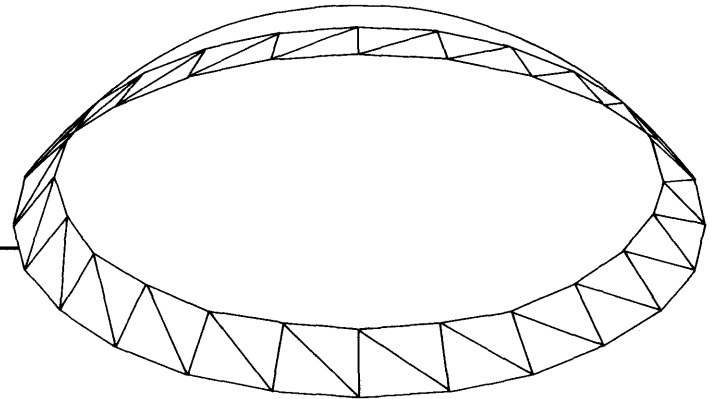
Sistemas de cerchas para superficies esféricas



Anillos esféricos con diagonales bidireccionales  
Anéis esféricos com entrelaçamento diagonal bidirecional

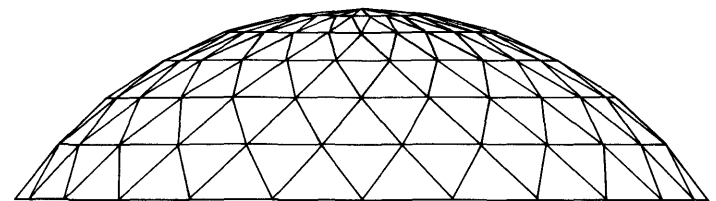


Sistemas de treliças para superficies esféricas

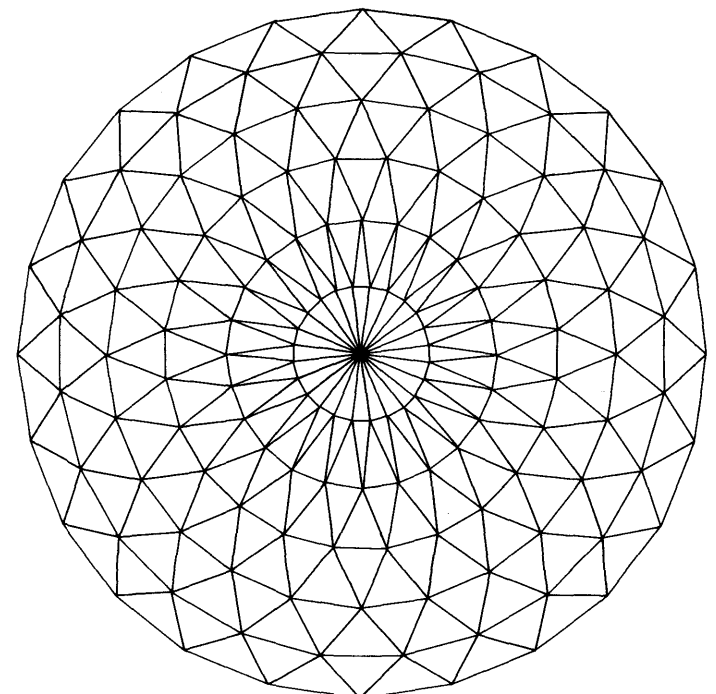


Anillos esféricos con diagonales hacia la izquierda  
Anéis esféricos com entrelaçamento diagonal à esquerda

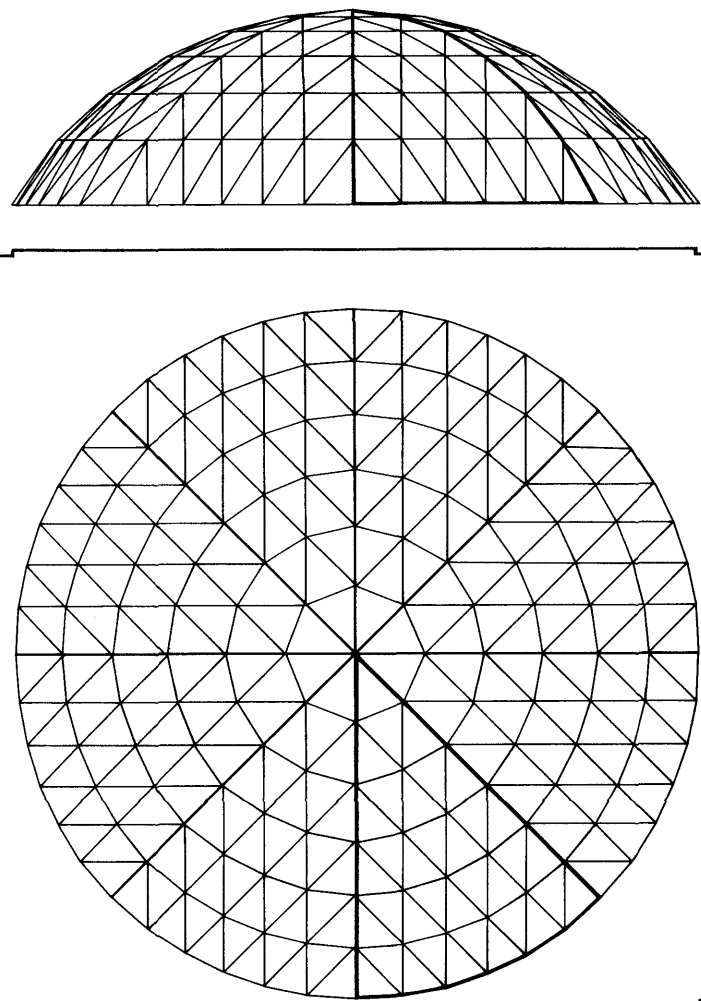
Cúpula de Schwedler  
Cúpula "Schwedler"



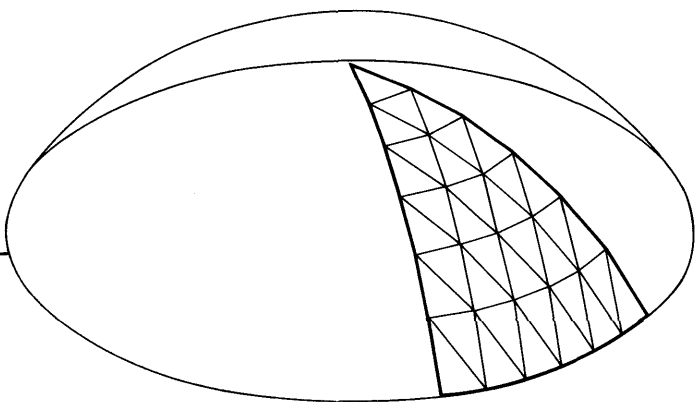
Cúpula en celosía  
Cúpula em grade



Sistemas de cerchas para superficies esféricas

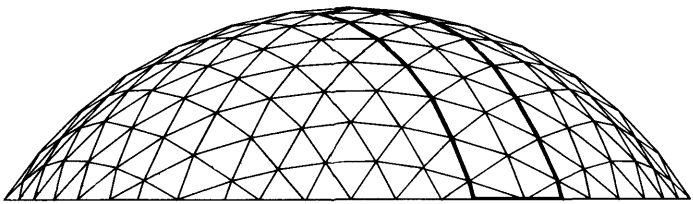


Sistemas de treliças para superficies esféricas

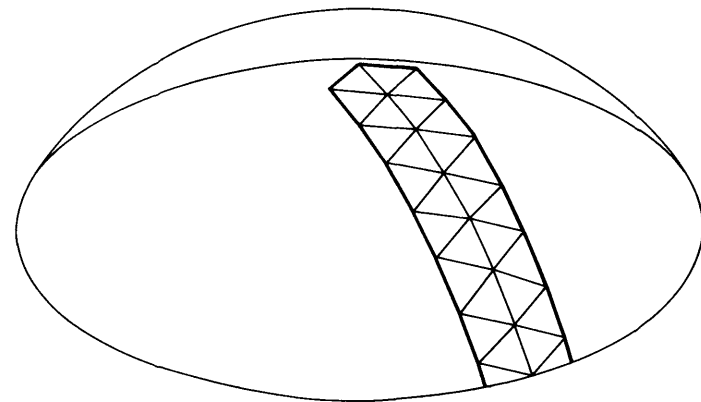


Segmentos esféricos con distribución de barras en paralelo  
Segmentos esféricos com entrelaçamento paralelo

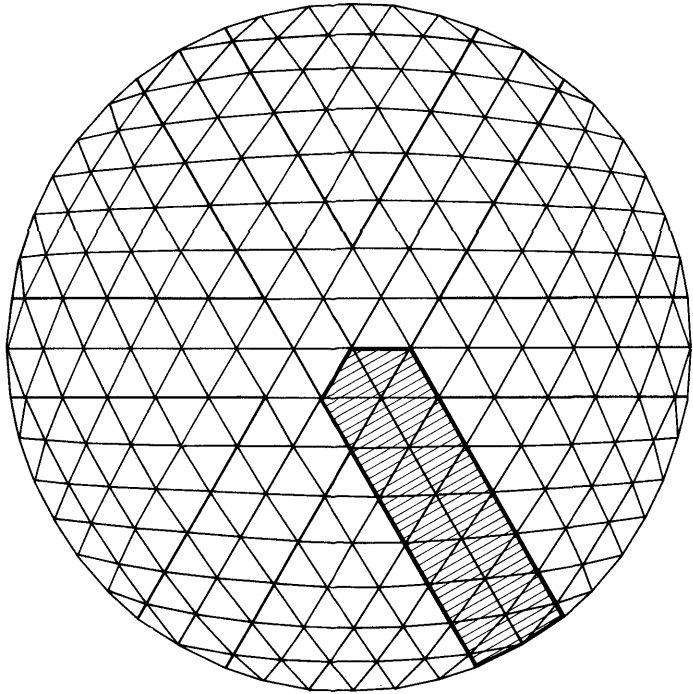
Cúpula de malla paralela  
Cúpula de grade paralela



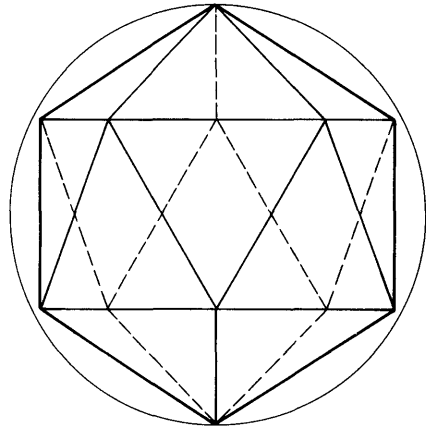
Tira esférica con distribución de barras hexagonal  
Faixas esféricas com entrelaçamento hexagonal



Cúpula de laminas  
Cúpula lamelar hexagonal

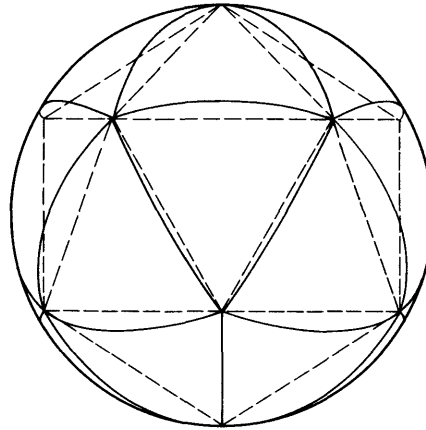


## Derivación geométrica de la cúpula geodésica



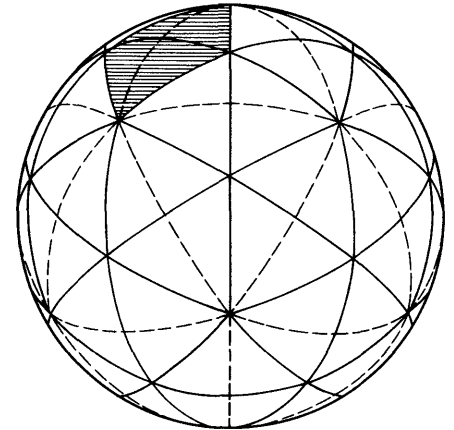
icosaedro

20 triángulos equiláteros  
20 triángulos equiláteros idénticos



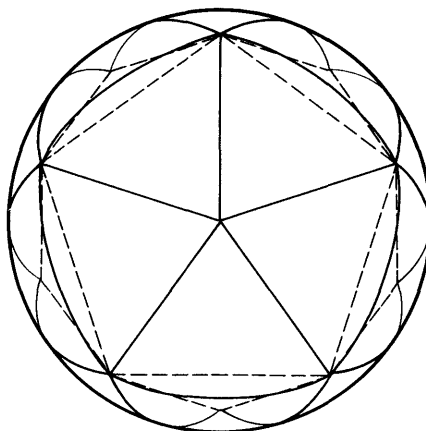
icosaedro esférico

20 triángulos equiláteros idénticos  
20 triángulos esféricos equiláteros idénticos

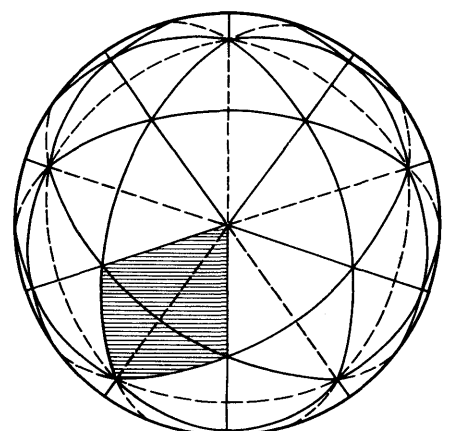


división angular en partes iguales

60 triángulos idénticos formados por 15 grandes círculos  
60 triángulos idénticos formados por 15 grandes arcos

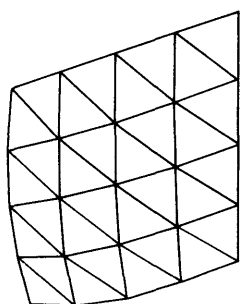


icosaedro esférico

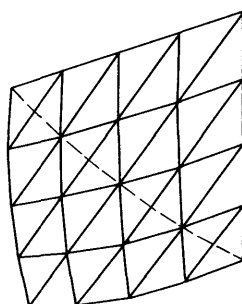


bisectriz

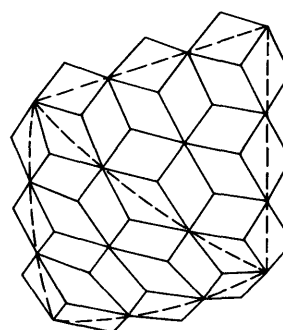
## Mallas típicas para las cúpulas geodésicas



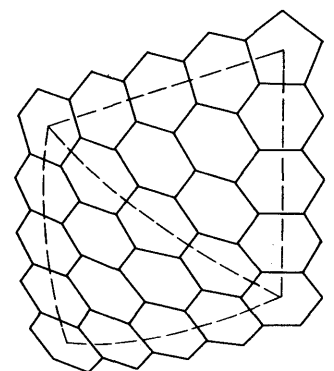
triangular / triangular



semirromboidal / semi-rômbica



romboidal / rômbica

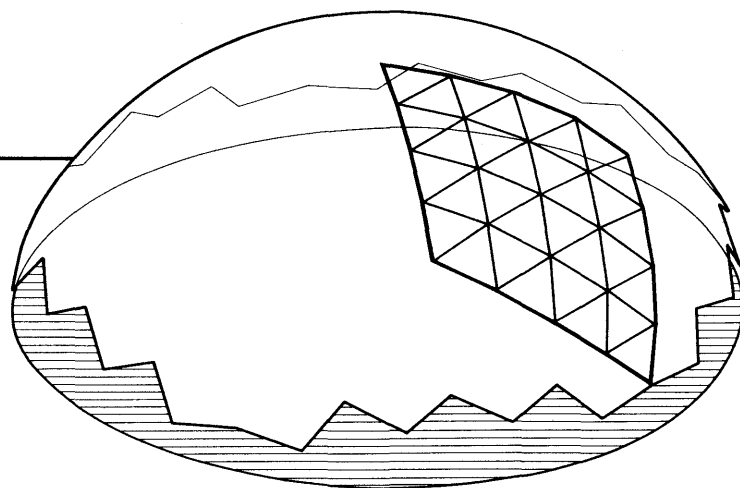
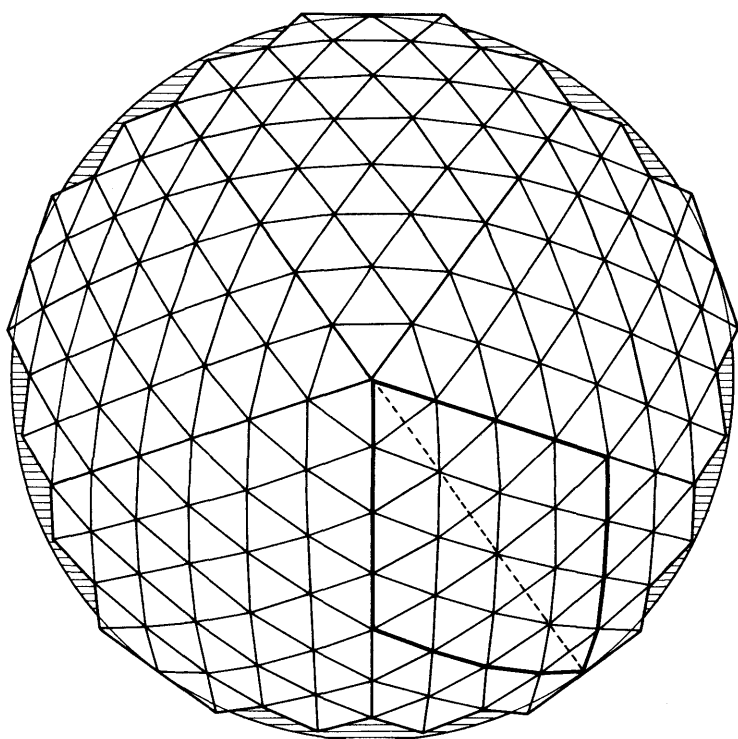
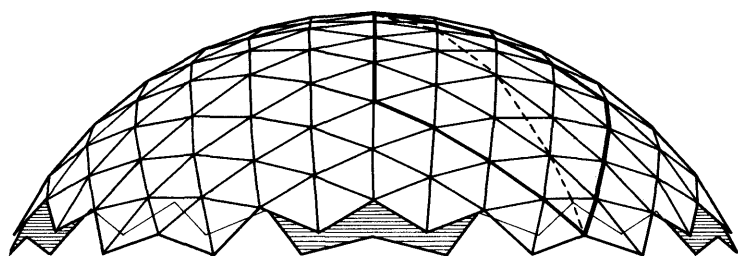


hexagonal / hexagonal

## Malhas típicas para cúpulas geodésicas

Sistemas de cechas para superficies esféricas

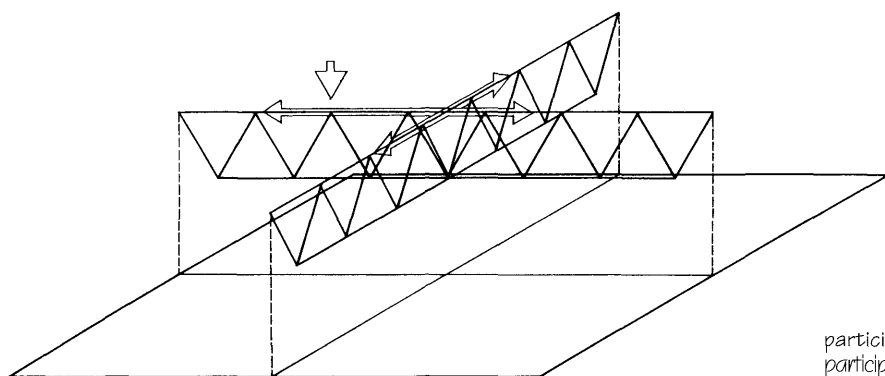
Sistemas de treliças para superficies esféricas



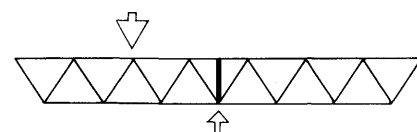
Icosaedro esférico con distribución de barras triangular  
Icosaedro esférico com entrelaçamento triangular

Cúpula geodésica  
Cúpula geodésica

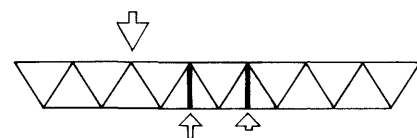
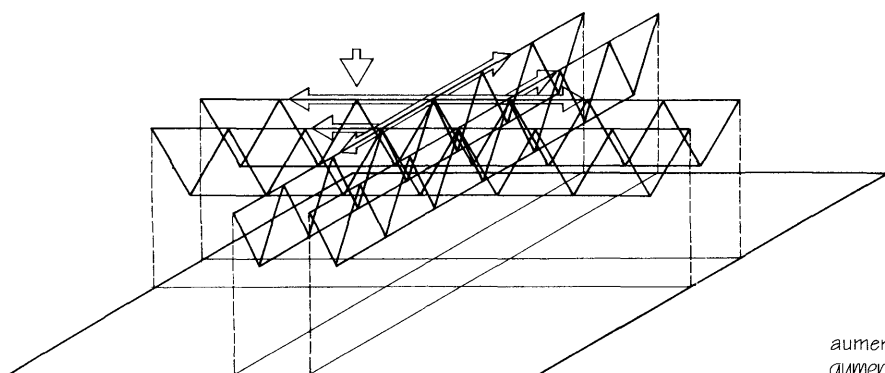
Sistema de sustentación de una cercha espacial



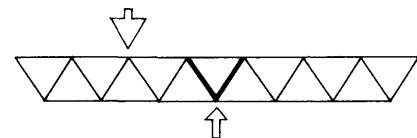
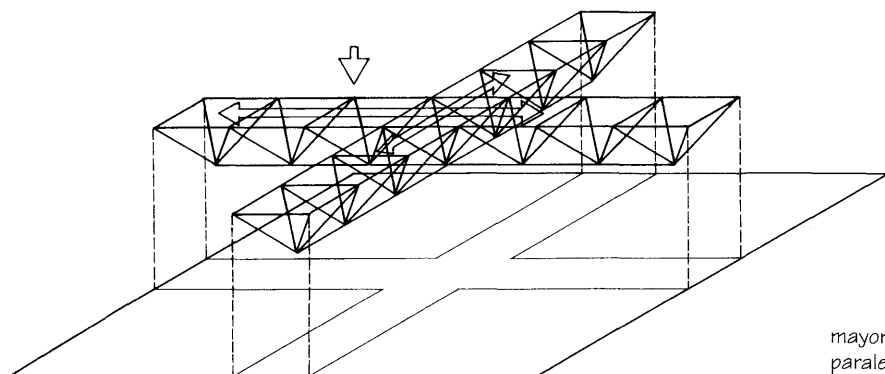
Mecanismo portante de treliça espacial



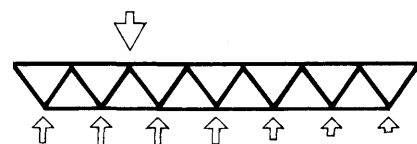
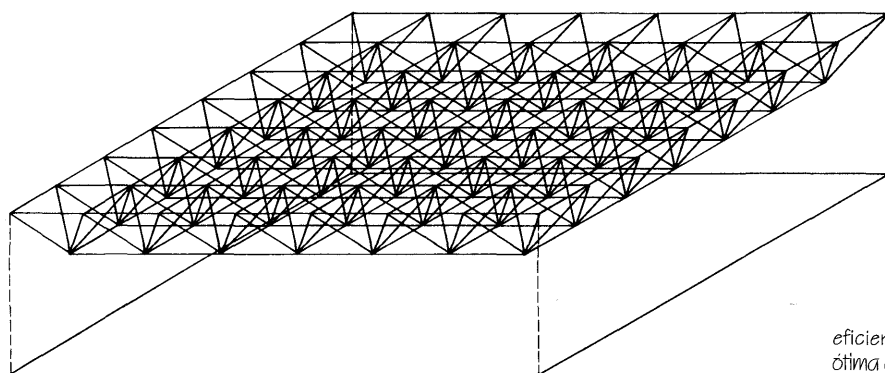
participación en el efecto resistente de la cercha sin carga directa  
participação da treliça indiretamente carregada na resistência à deformação



aumento de la eficiencia por juxtaposición de cerchas paralelas  
aumento da eficiência por meio da juxtaposição de treliças paralelas adicionais



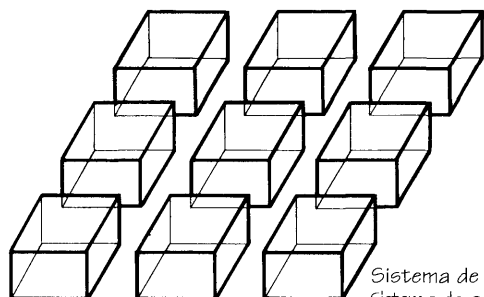
mayor aumento de la eficiencia mediante combinación de cerchas paralelas  
aumento posterior da eficiência por meio da combinação de treliças paralelas



eficiencia máxima mediante continuidad en longitud y anchura  
ótima eficiência por meio da continuidade do sistema em comprimento e largura

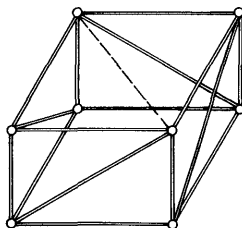


Mallas espaciales coplanarias compuestas  
por prismas rectangulares

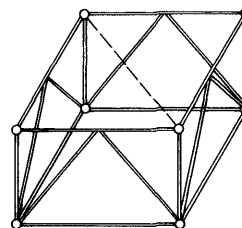


Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades

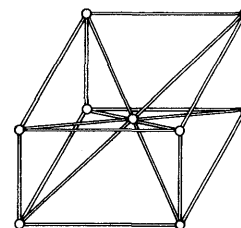
Sistemas de treliças espaciais compostas  
por prismas retangulares



tipo 1

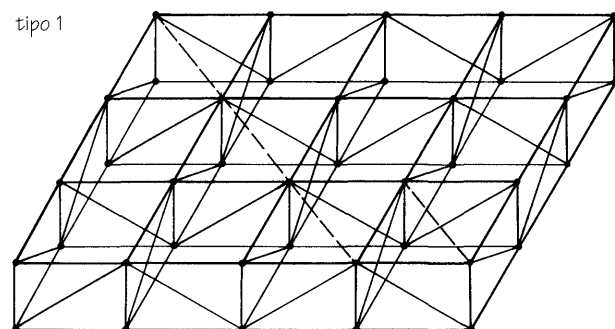


tipo 2

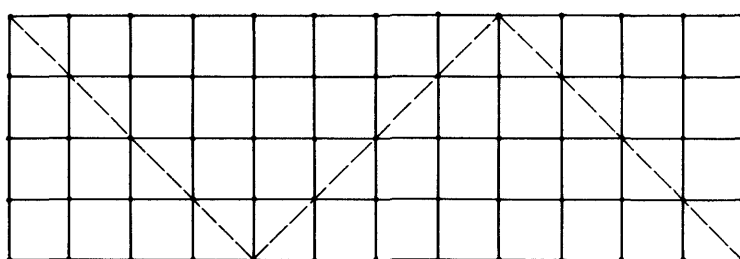


tipo 3 Unidades espaciales  
Unidades espaciais

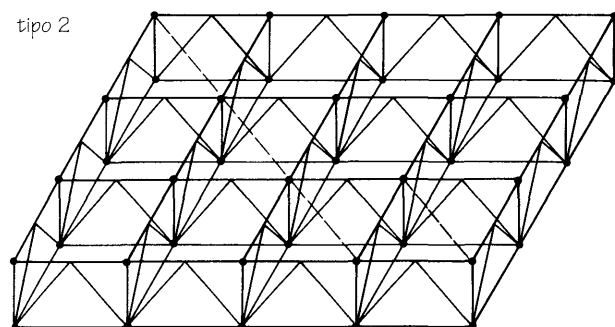
Sistema con arriostramiento simple de las caras verticales de los prismas  
Sistema com entrelaçamento simples de faces prismáticas verticais



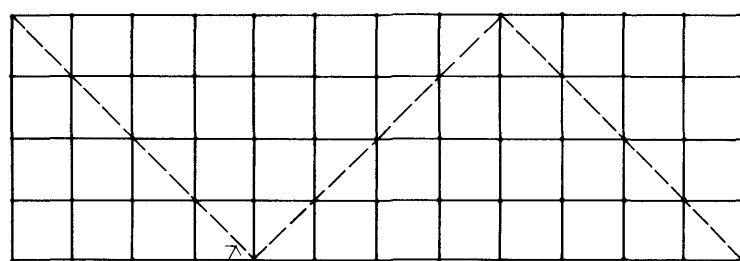
tipo 1



Sistema con doble arriostramiento de las caras verticales de los prismas  
Sistema com entrelaçamento duplo de faces prismáticas verticais

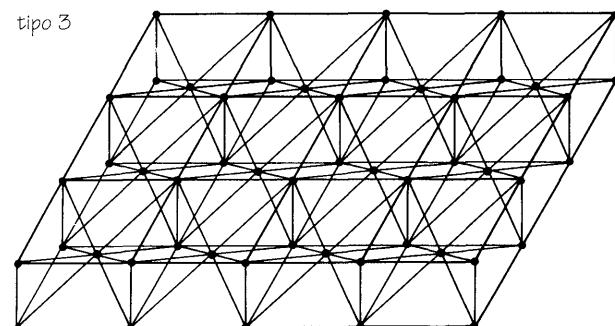


tipo 2

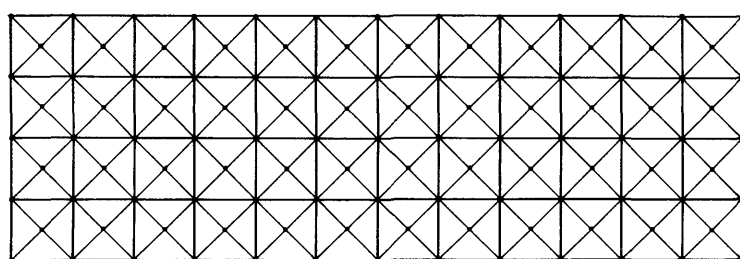


arriostramiento lateral  
entrelaçamento lateral

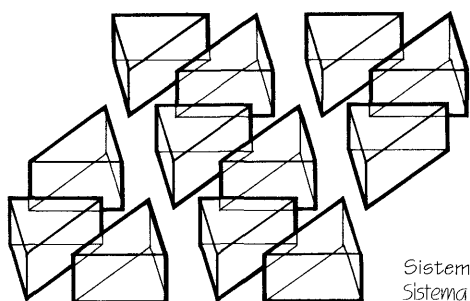
Sistema con arriostramiento cruzado de las secciones diagonales de los prismas  
Sistema com entrelaçamento cruzado de seções prismáticas diagonais



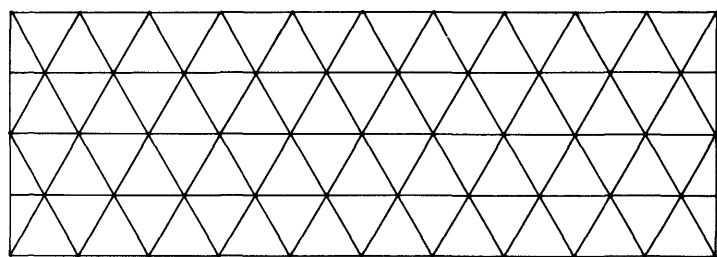
tipo 3



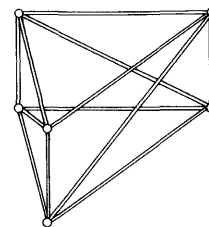
Mallas espaciales coplanarias compuestas por prismas triangulares



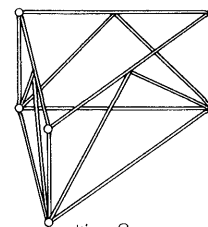
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



Sistema de treliça espacial plana composta de prismas triangulares



tipo 1

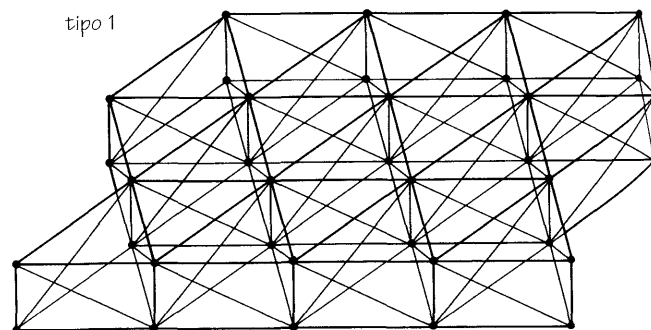


tipo 2

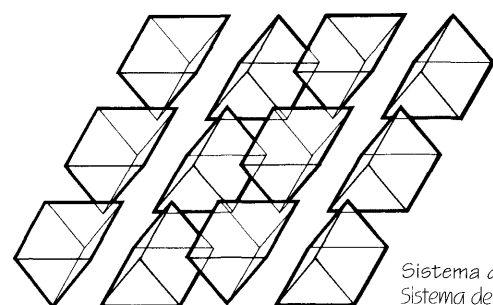
Unidades espaciales  
Unidades espaciais

Sistema con arriostramiento simple de las caras rectangulares de los prismas  
Sistema com entrelaçamento simples de faces prismáticas retangulares

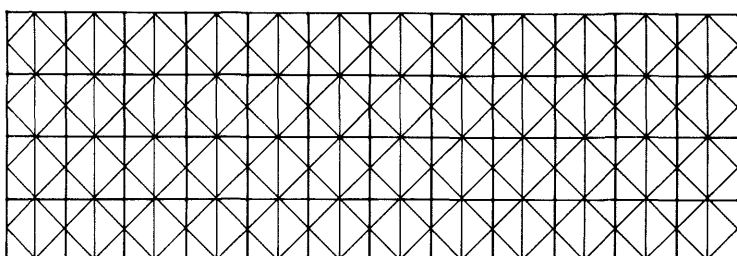
tipo 1



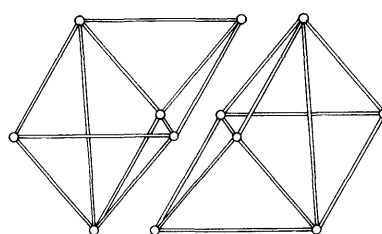
Cerchas espaciales coplanarias compuestas por prismas triangulares



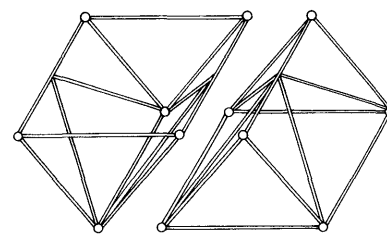
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



Sistema de treliça espacial plana composta de prismas triangulares



tipo 1

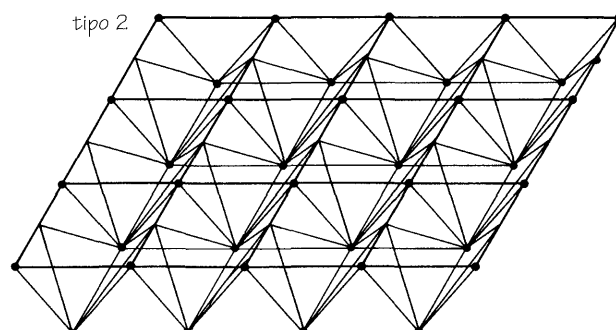


tipo 2

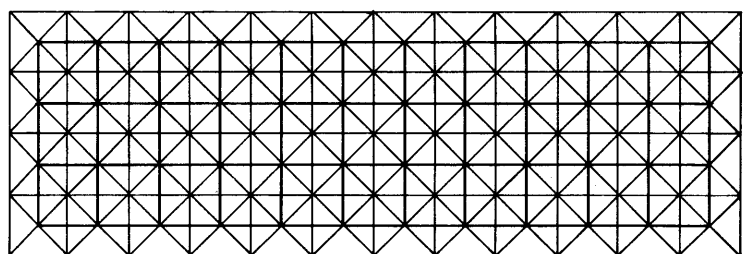
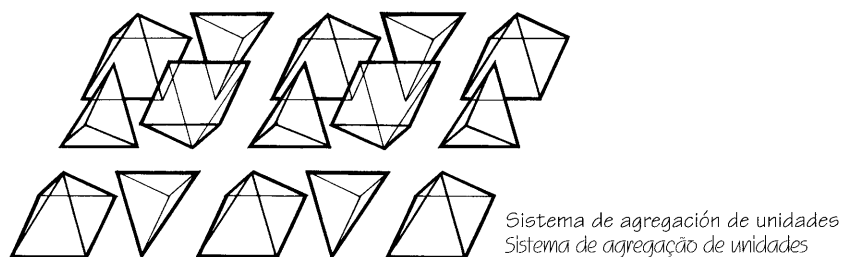
Unidades espaciales  
Unidades espaciais

Sistema con doble arriostramiento de las caras rectangulares de los prismas  
Sistema com entrelaçamento duplo de faces prismáticas retangulares

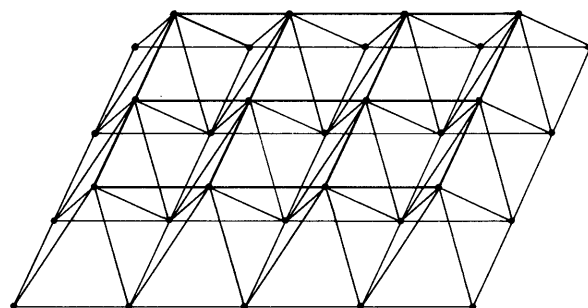
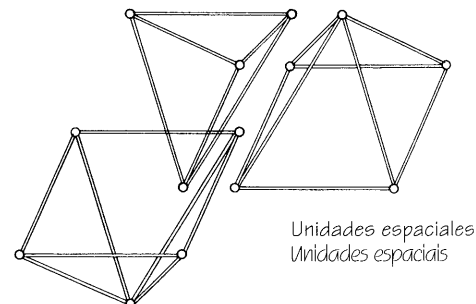
tipo 2



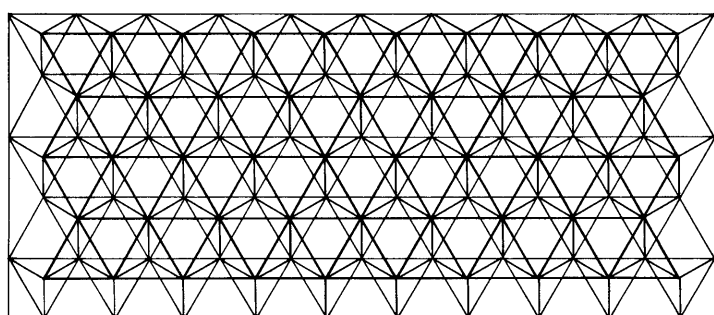
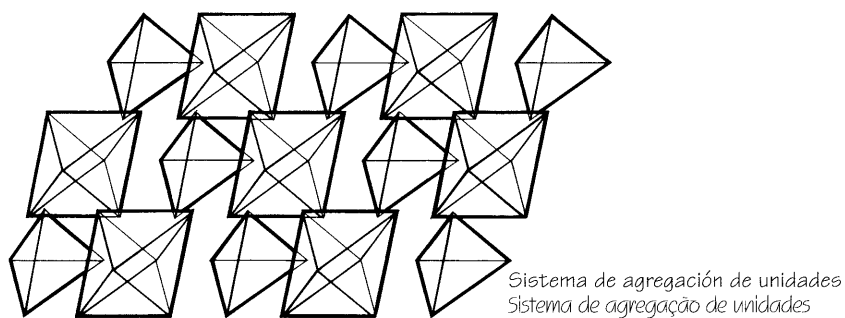
Mallas espaciales coplanarias compuestas por tetraedros y semioctaedros



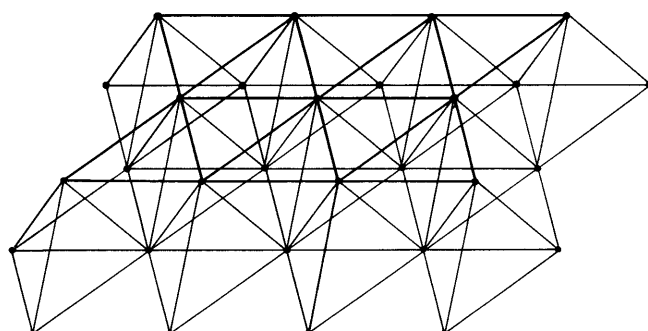
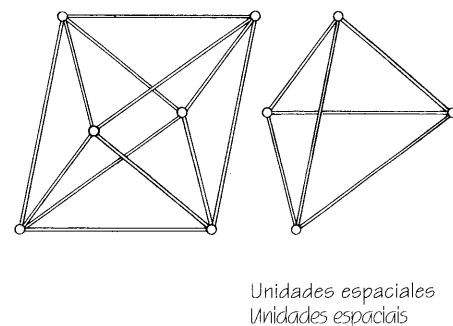
Sistema de treliça espacial plana composta por tetraedros e semi-octaedros



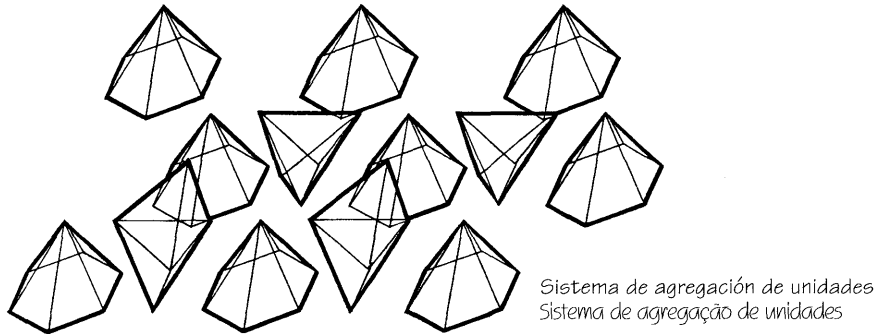
Mallas espaciales coplanarias compuestas por tetraedros y octaedros



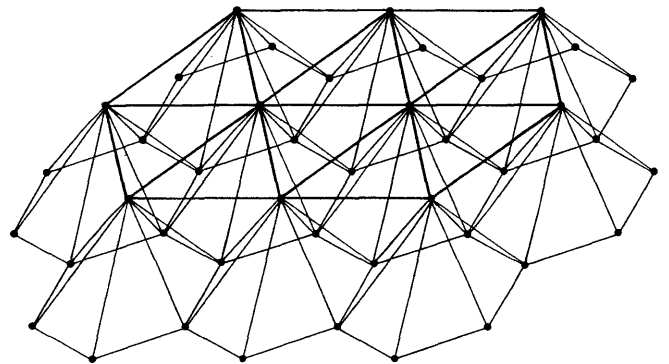
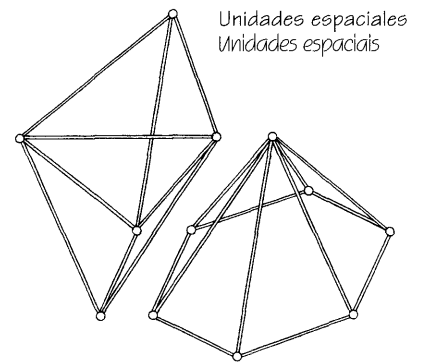
Sistema de treliça espacial plana composta por tetraedros e octaedros



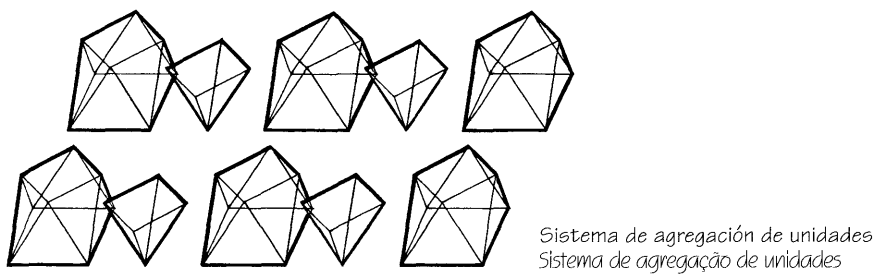
Mallas espaciales coplanarias basadas en la pirámide hexagonal



Sistema de treliça espacial plana baseada em pirâmide hexagonal

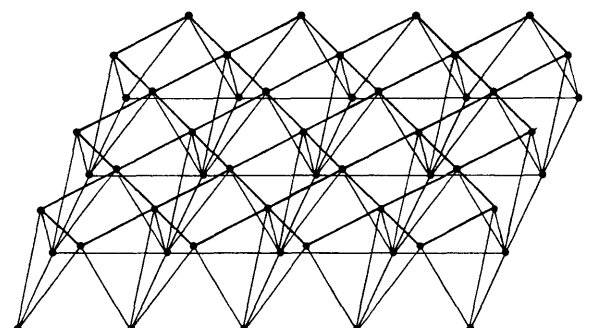
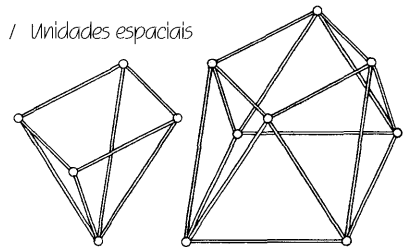


Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas con coordenadas diferentes

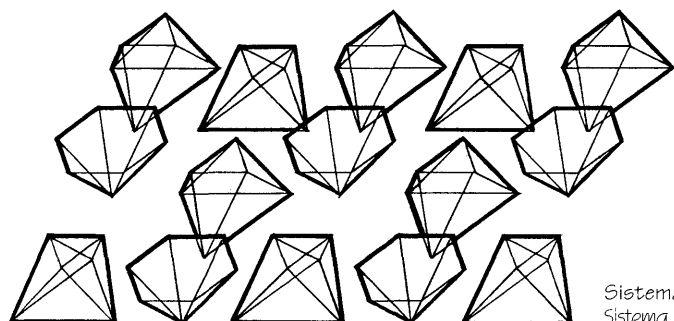


Sistema de treliça espacial plana composta por duas retículas com coordenadas diferentes

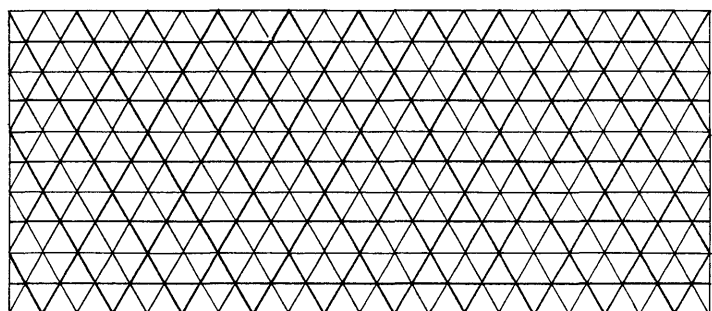
Unidades espaciales / Unidades espaciais



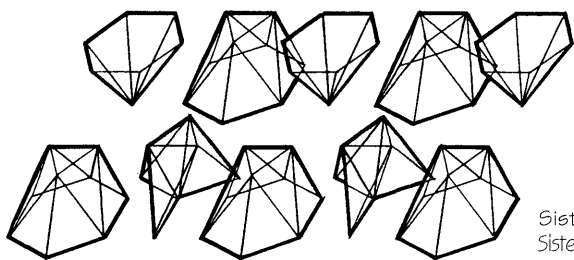
Mallas espaciales coplanarias basadas en la pirámide hexagonal invertida



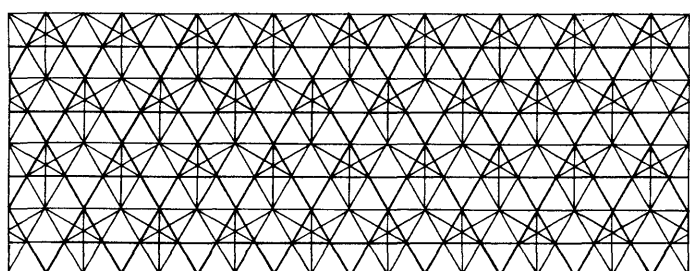
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



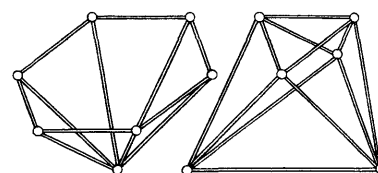
Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas hexagonales diferentes



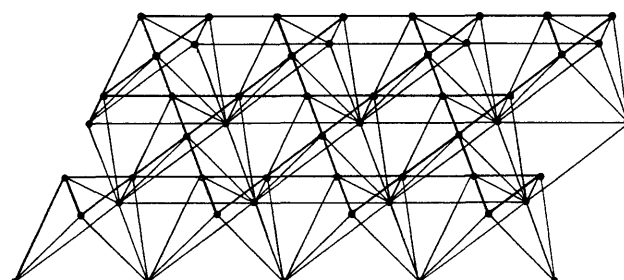
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



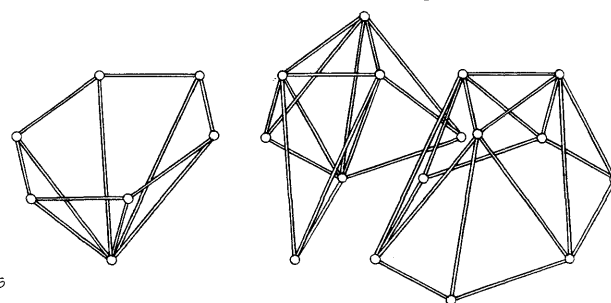
Sistema de treliça espacial plana com pirâmide hexagonal invertida



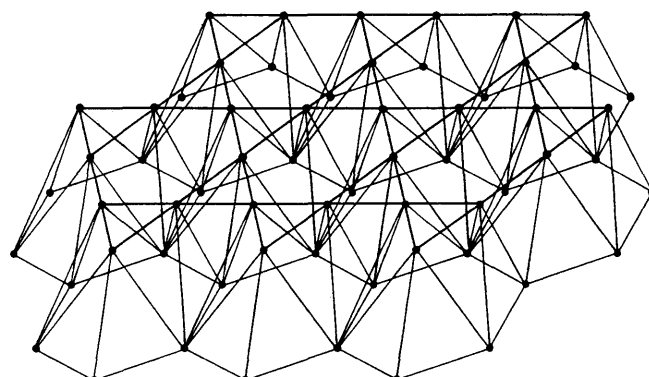
Unidades espaciales / Unidades espaciais



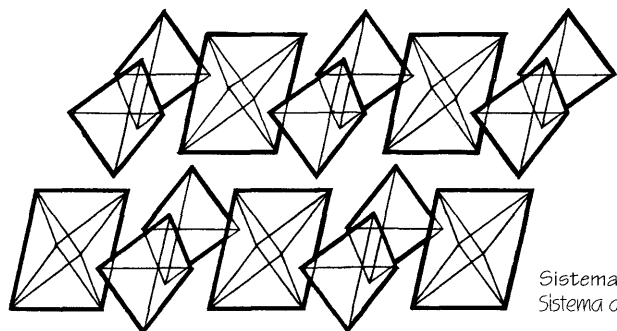
Sistema de treliça espacial plana composta por duas retículas hexagonais diferentes



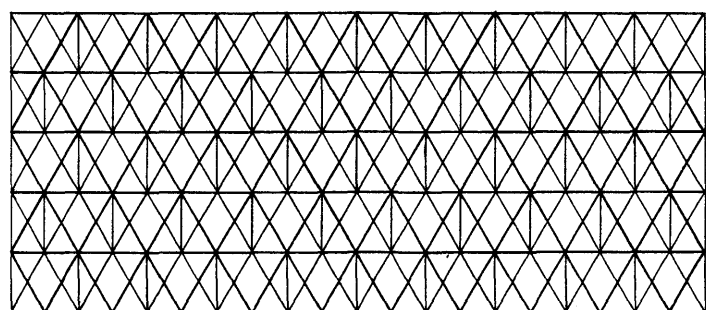
Unidades espaciales / Unidades espaciais



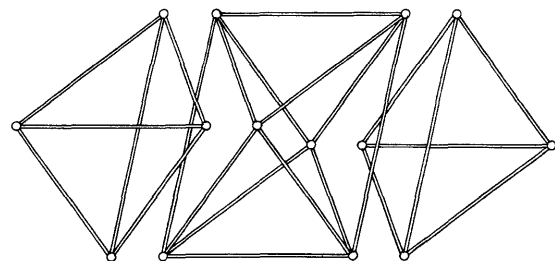
Mallas espaciales coplanarias compuestas por dos retículas triangulares contrapuestas



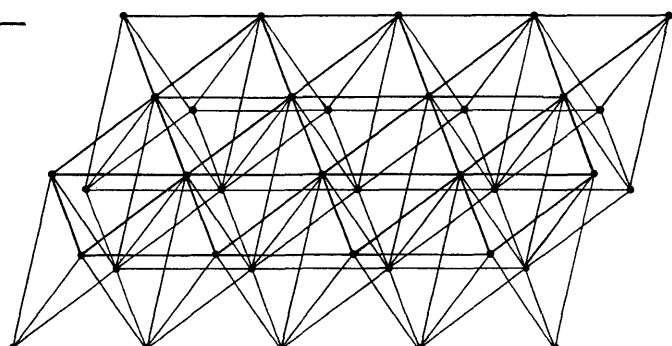
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



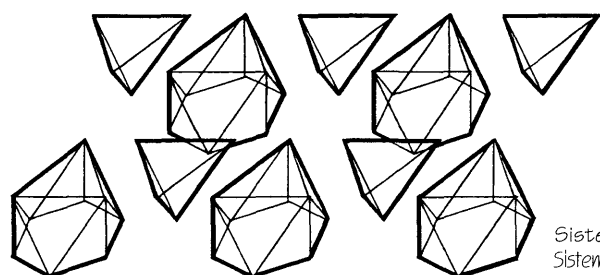
Sistema de treliça espacial plana composta por duas retículas triangulares contrapostas



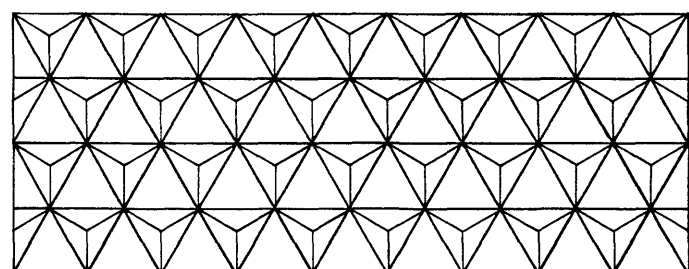
Unidades espaciales / Unidades espaciais



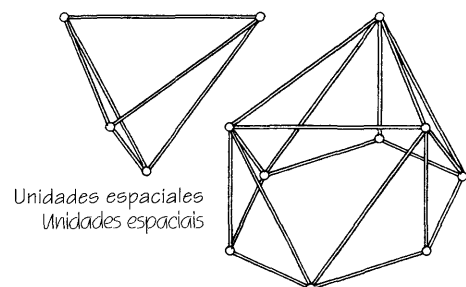
Mallas espaciales coplanarias compuestas por una retícula hexagonal y una triangular, respectivamente



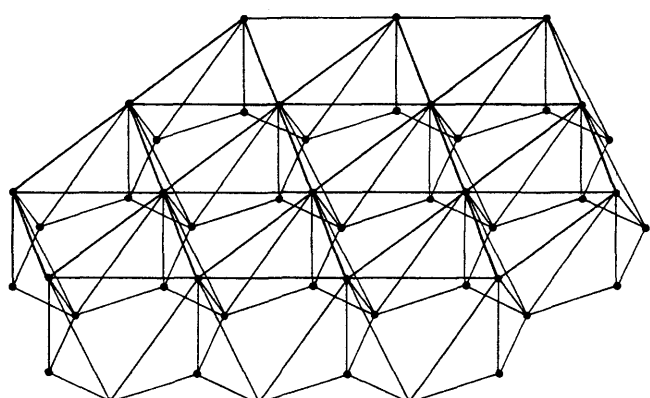
Sistema de agregación de unidades  
Sistema de agregação de unidades



Sistema de treliça espacial plana composta por uma retícula hexagonal e uma triangular

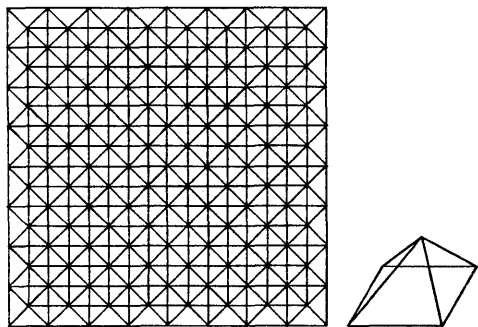


Unidades espaciales  
Unidades espaciais

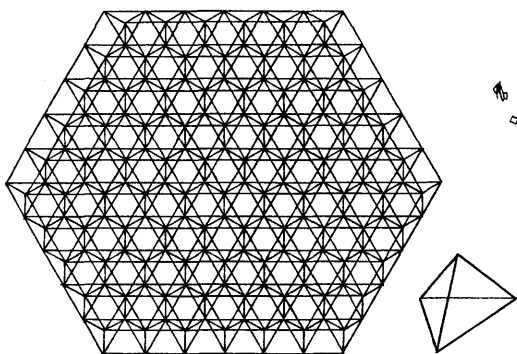
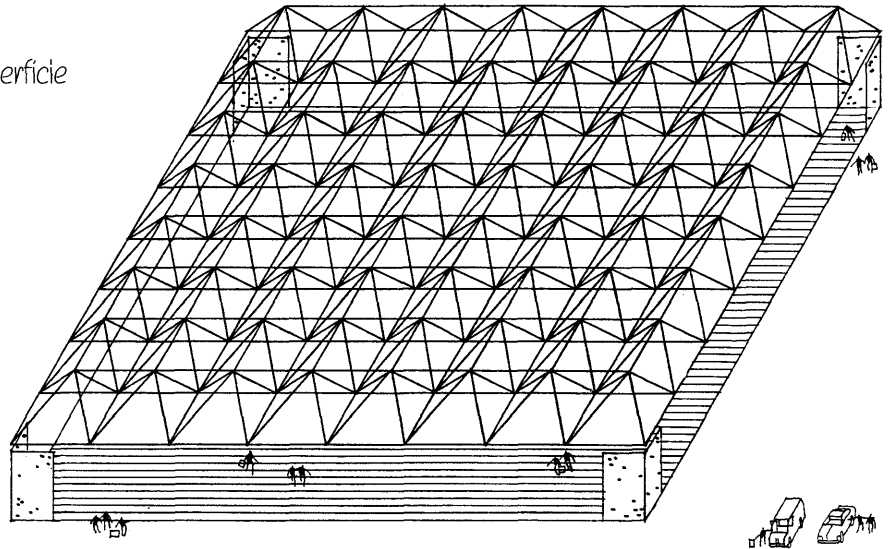


Sistemas de mallas espaciales de dos capas  
para grandes luces

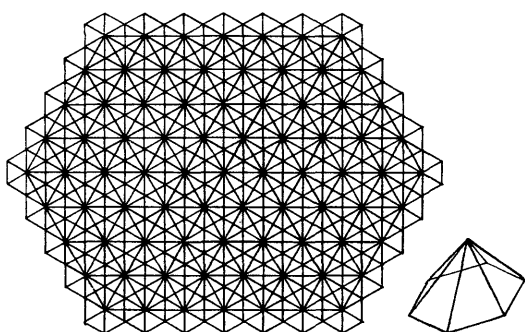
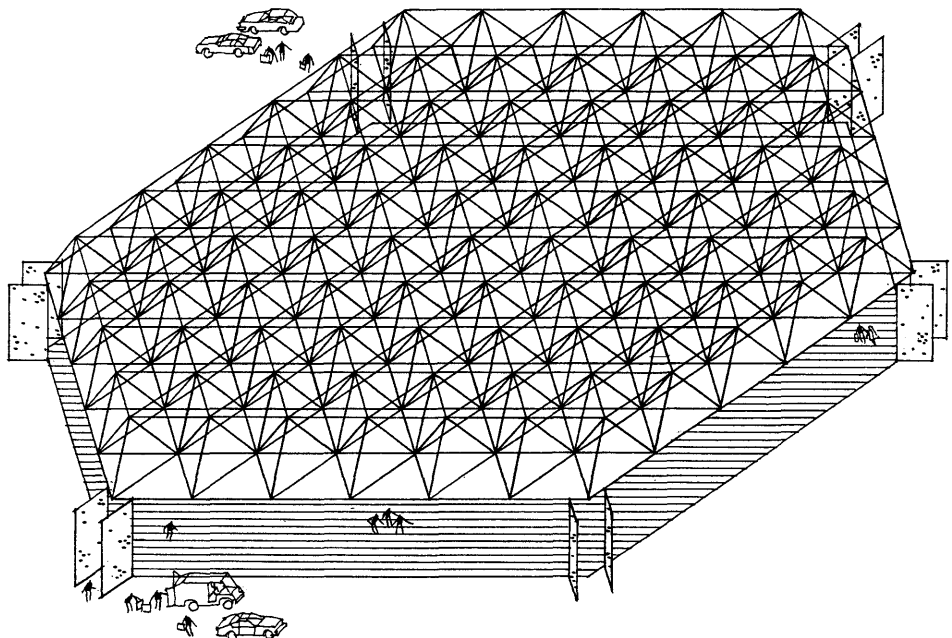
Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superfície  
para cobrir grandes vãos



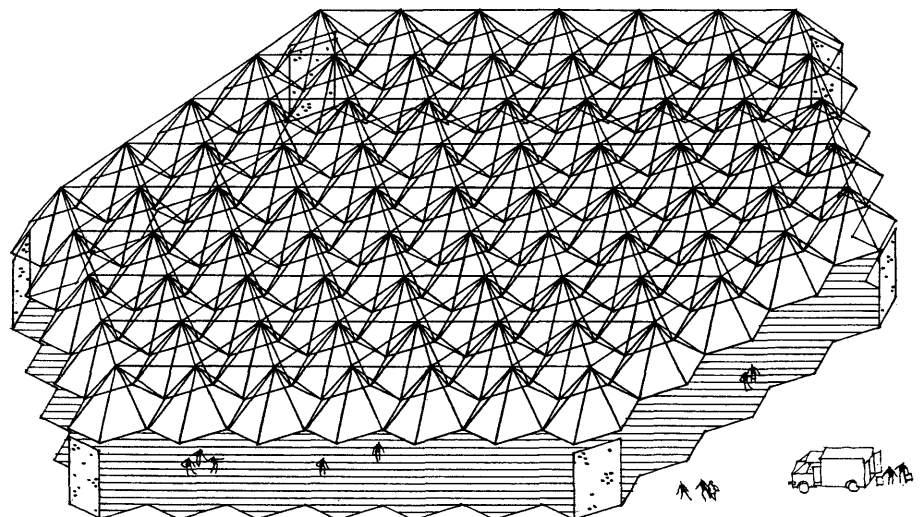
Principio del sistema: semi-octaedro sobre retícula cuadrada  
Principio do sistema: semi-octaédros em malha quadrada



Principio del sistema: tetraedro sobre retícula triangular  
Principio do sistema: tetraédros em malha triangular

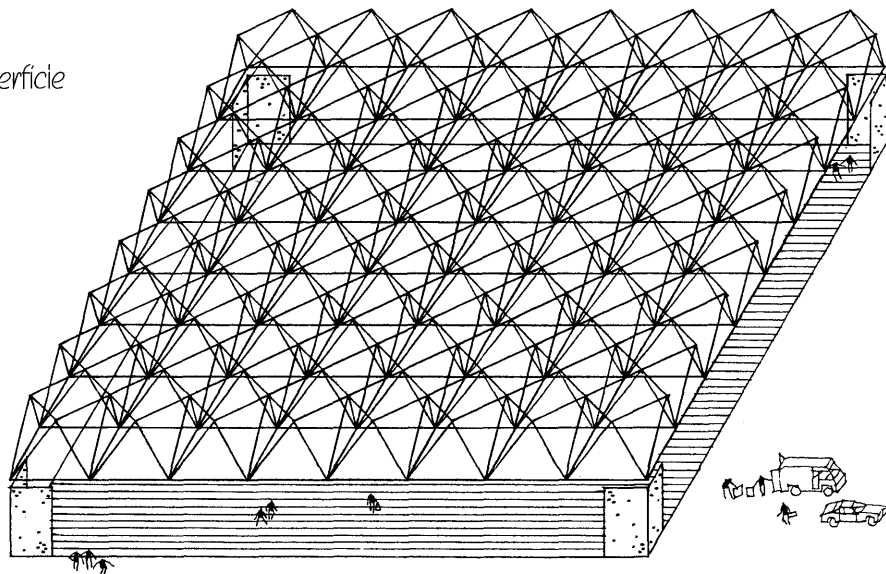
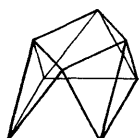
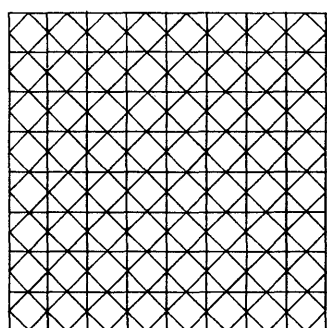


Principio del sistema: pirámide hexagonal sobre retícula  
en forma de panal  
Principio do sistema: pirâmide hexagonal em favo

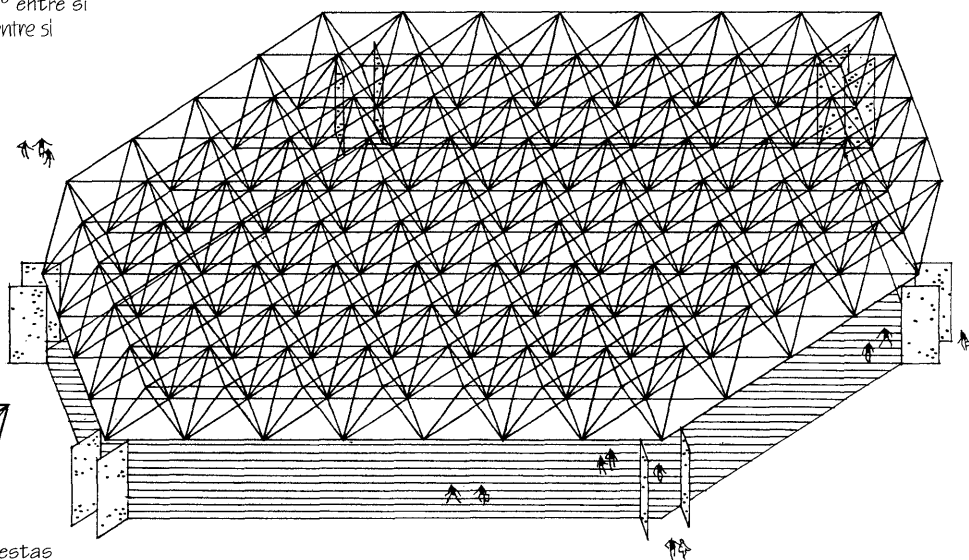
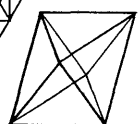
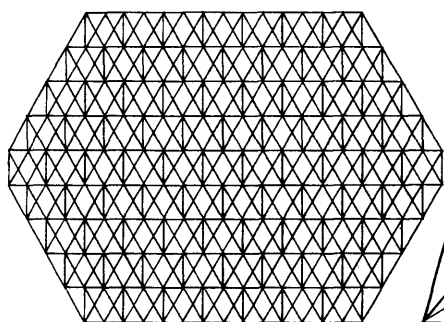


Sistemas de mallas espaciales de dos capas para grandes luces

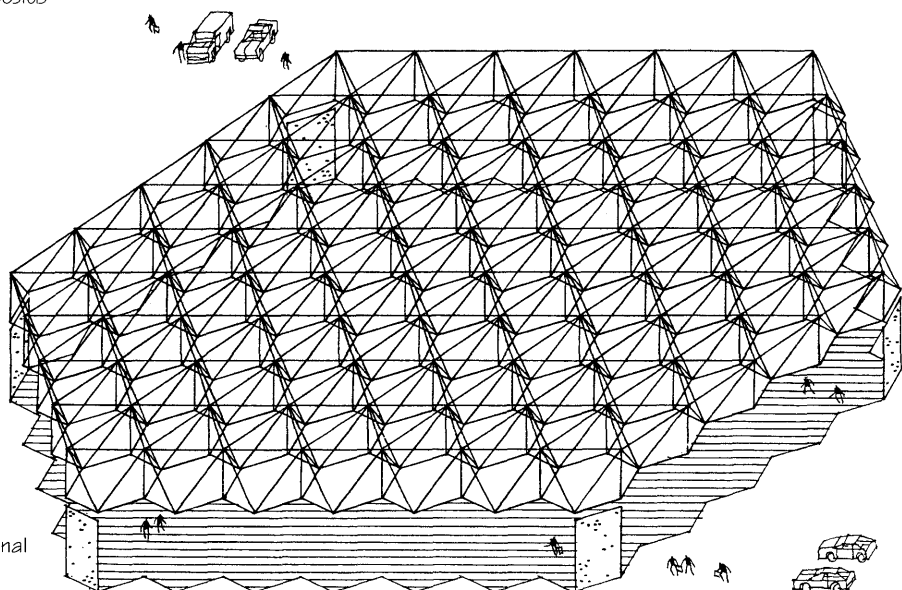
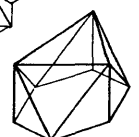
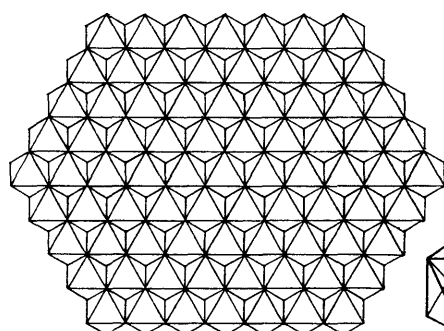
Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superfície para cobrir grandes vãos



Principio del sistema: dos retículas cuadradas giradas 45° entre sí  
Principio do sistema: duas malhas quadradas giradas em 45° entre si



Principio del sistema: dos retículas triangulares contrapuestas  
Principio do sistema: composto de duas malhas triangulares contrapostas

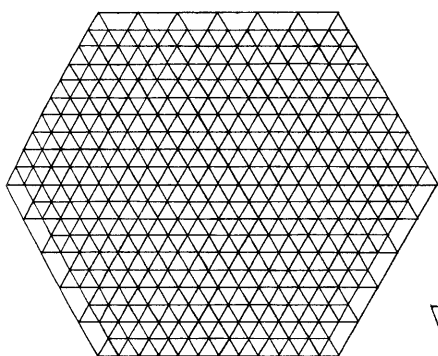


Principio del sistema: retícula triangular sobre retícula hexagonal  
Principio do sistema: malha triangular sobre malha hexagonal



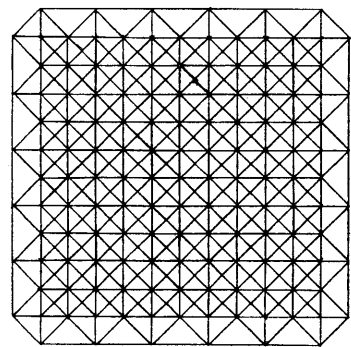
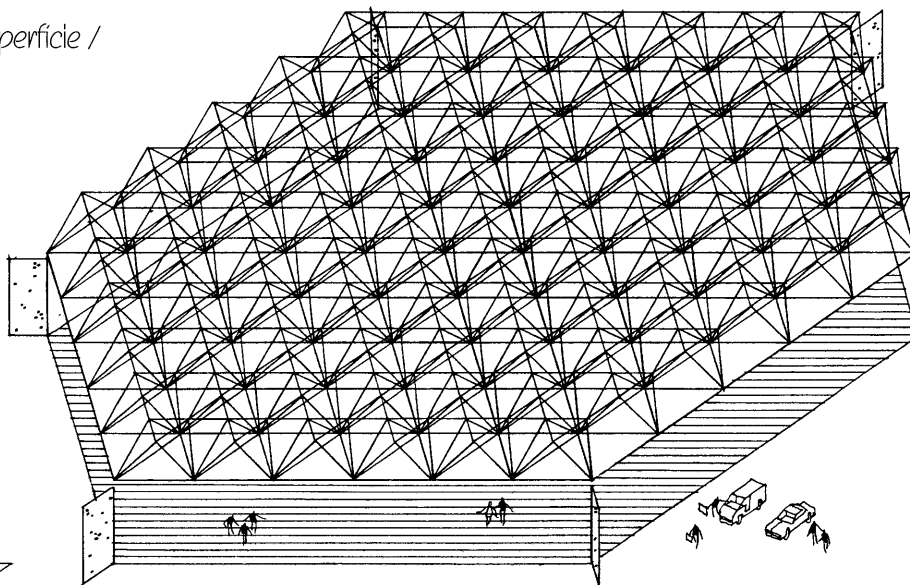
Sistemas de mallas espaciales de dos capas para grandes luces / tipos especiales

Sistemas de treliças espaciais planas de dupla superfície / tipos especiais para cobrir grandes vãos



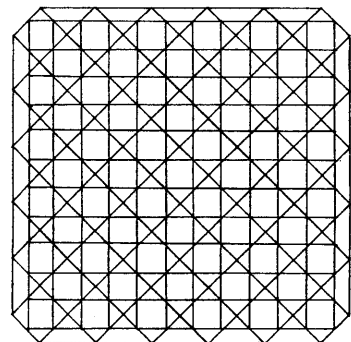
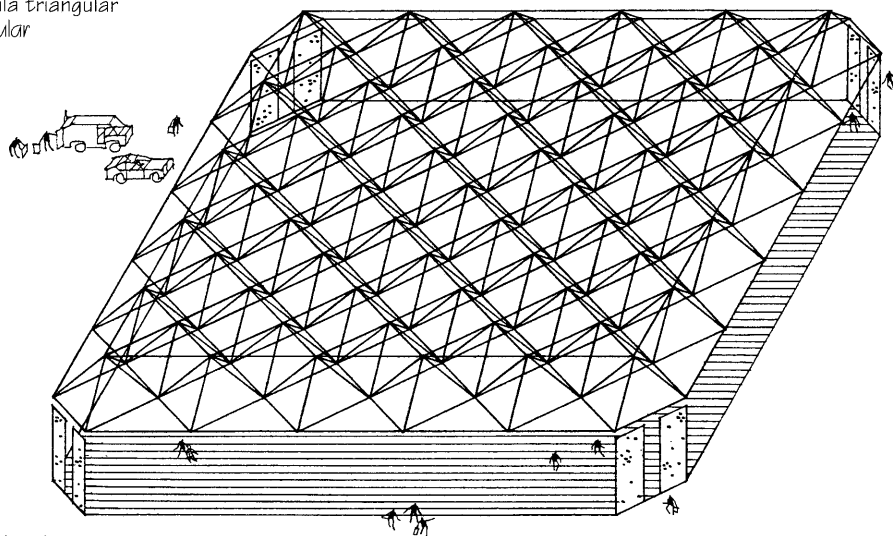
Principio del sistema: retícula triangular / hexagonal sobre retícula triangular

Principio do sistema: malha triangular / hexagonal sobre malha triangular



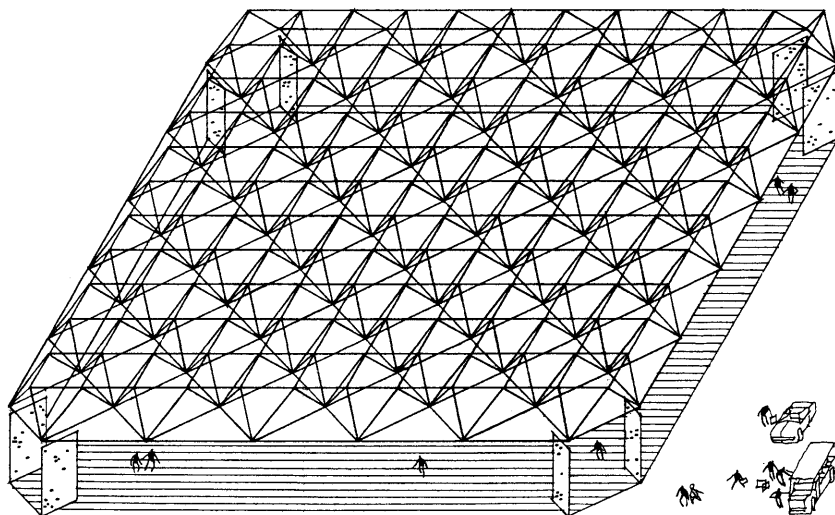
Principio del sistema: semioctaedros sobre retícula cuadrada inclinada

Principio do sistema: semi-octaedros sobre malha quadrada oblíqua



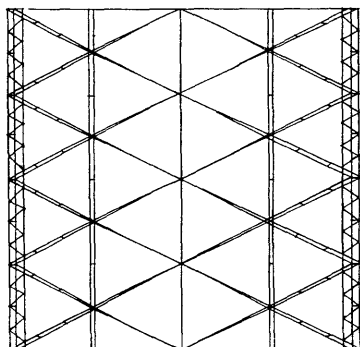
Principio del sistema: semi / cubooctaedro sobre retícula cuadrada inclinada

Principio do sistema: semi-cubo-octaedro sobre malha quadrada oblíqua

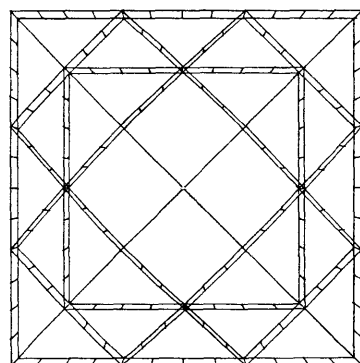


Intersección de arcos en celosía para cubrir grandes luces

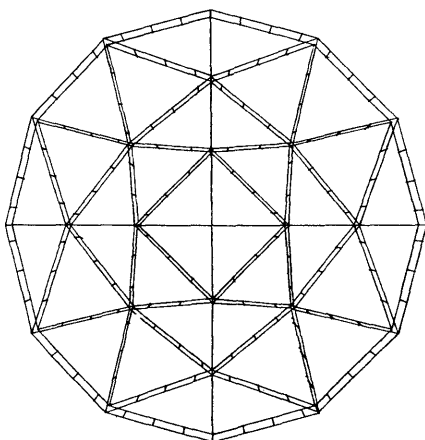
Interseção de arcos de treliça para cobrir grandes vãos



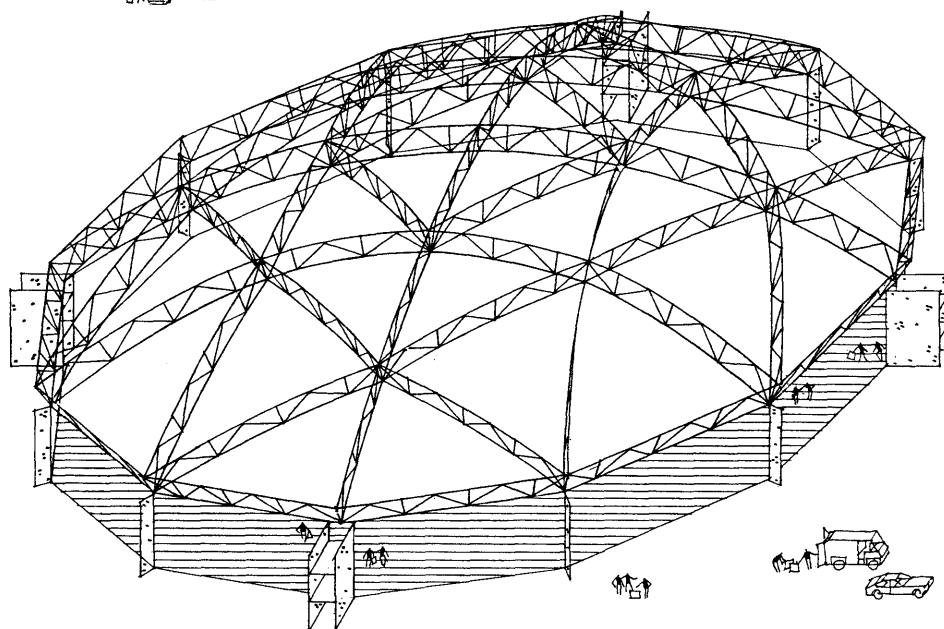
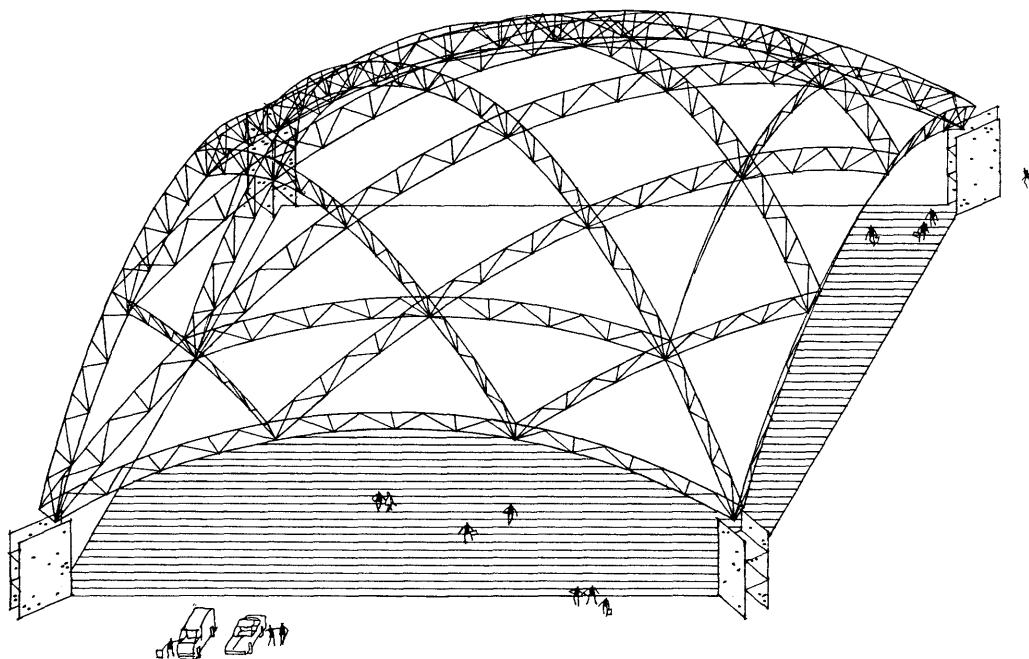
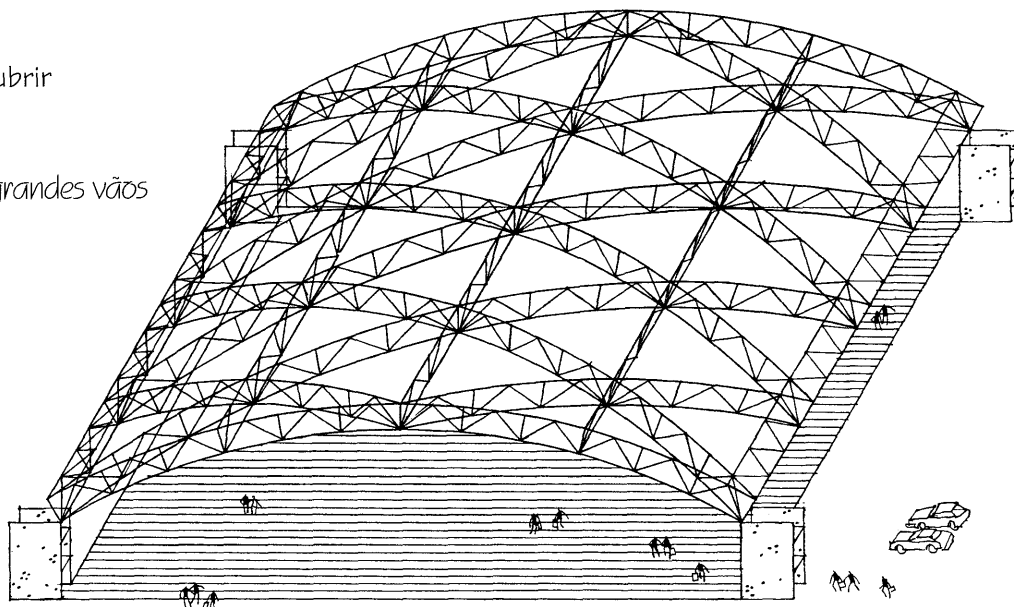
Retícula oblíqua para forma de sección cilíndrica  
Malha oblíqua para forma circular cilíndrica



Retícula a 45° para forma sinclástica  
Malha em 45° para forma sinclástica

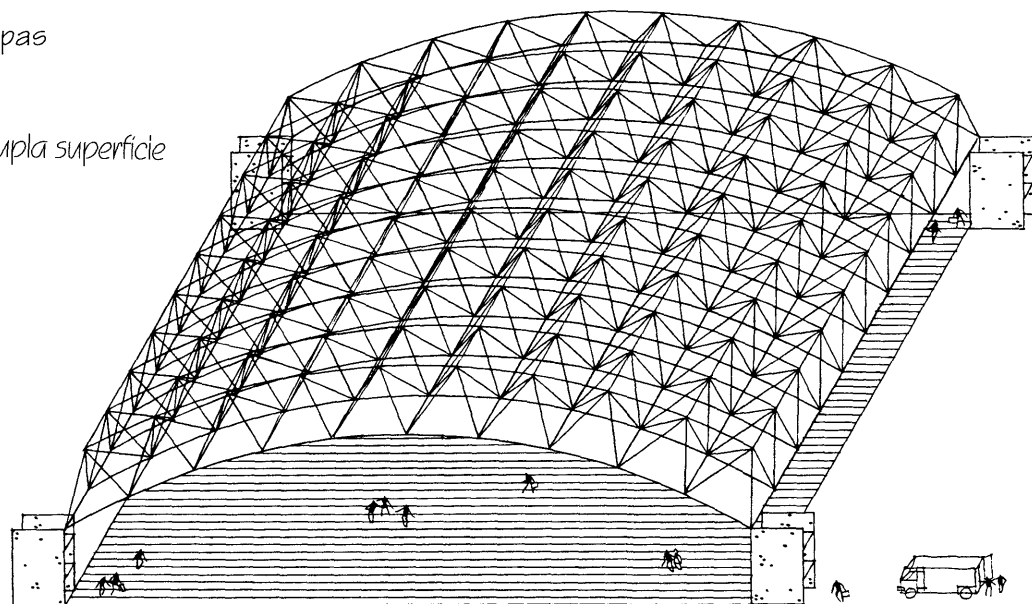
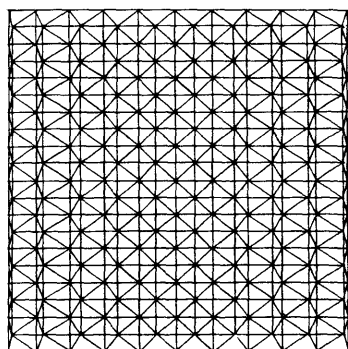


Retícula triangular para forma esférica  
Malha triangular para forma esférica

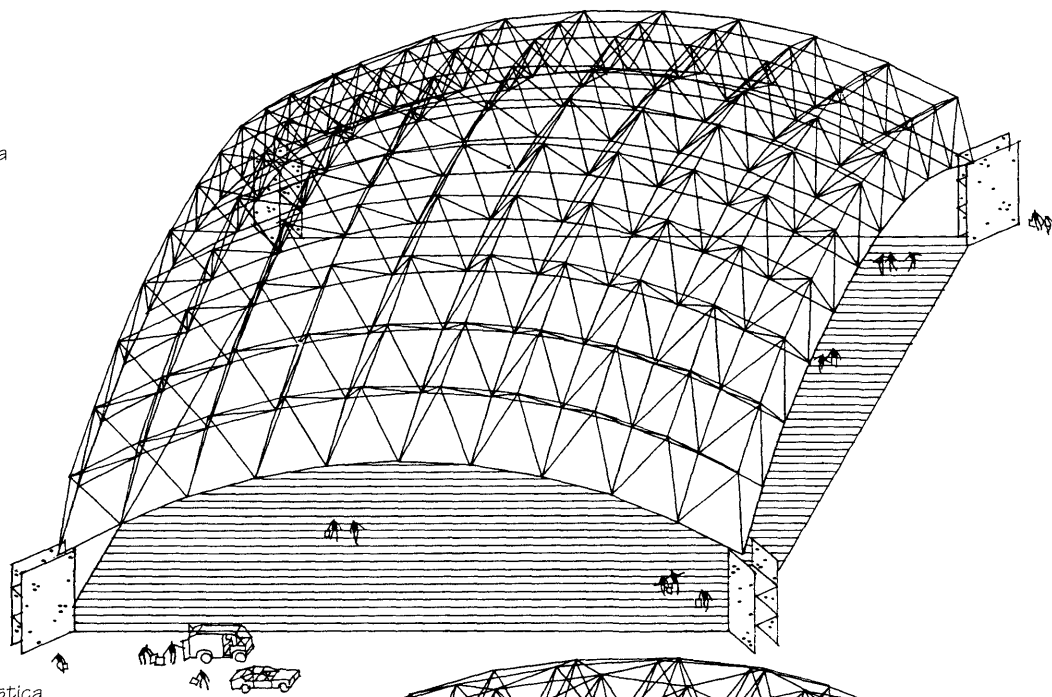
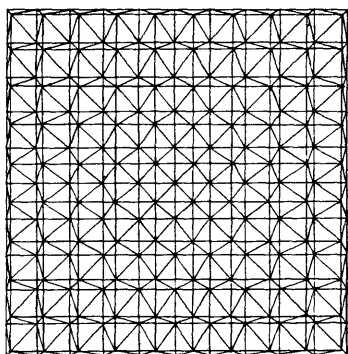


Mallas curvadas espaciales de dos capas  
para cubrir grandes luces

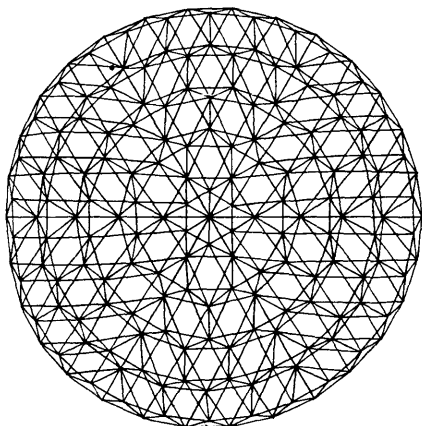
Sistemas de treliças espaciais curvas de dupla superfície  
para cobrir grandes vãos



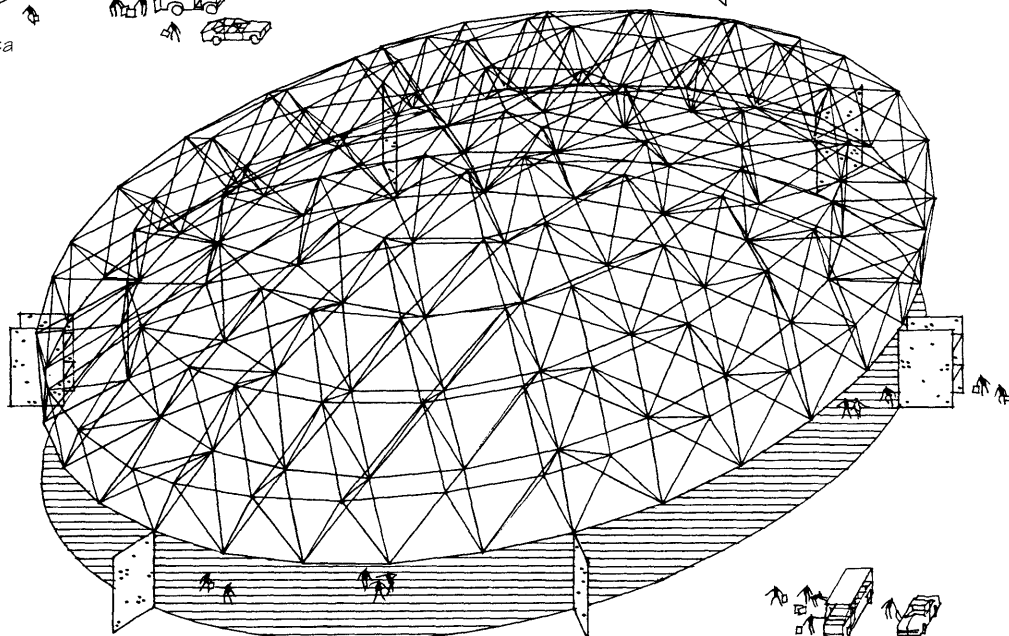
Base de semioctaedro para formas de sección cilíndrica  
Base semi-octaédrica para forma circular cilíndrica



Base de semioctaedro para formas de traslación sinclástica  
Base semi-octaédrica para forma de translação sinclástica

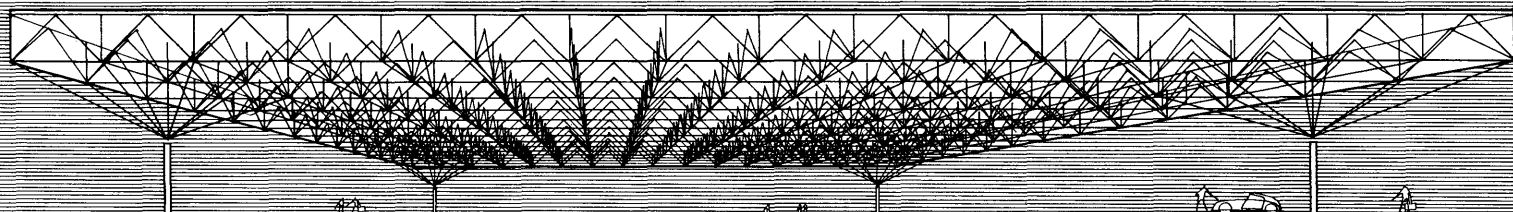


Base de tetraedro para forma esférica  
Base tetraédrica para forma esférica



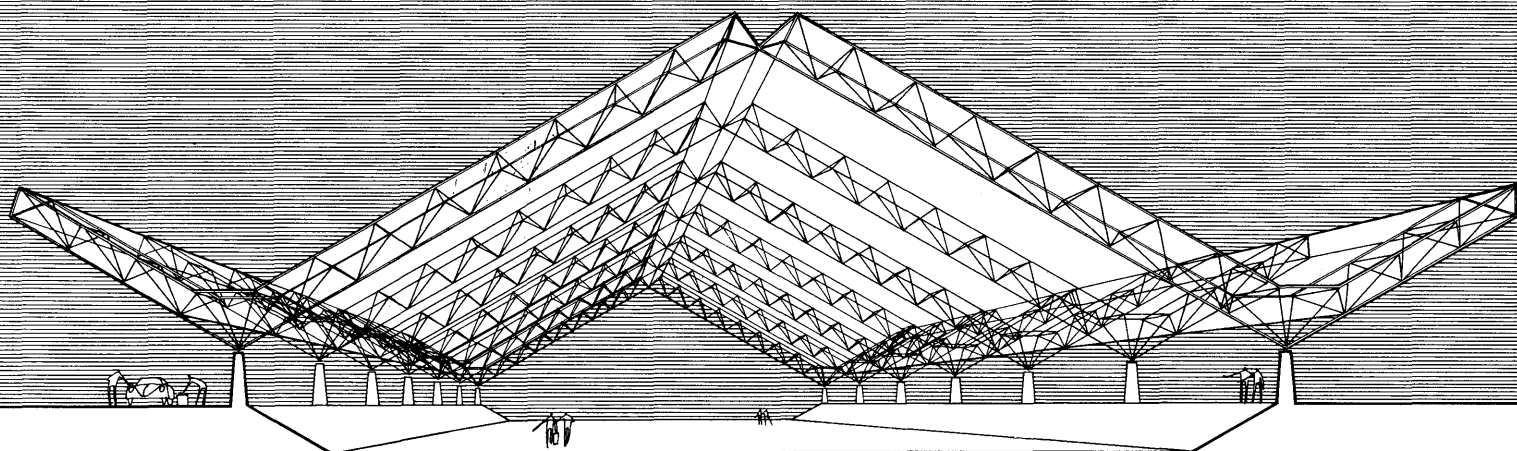
Aplicación de mallas espaciales para construcciones de grandes luces

Aplicação das treliças espaciais em estruturas de grandes vãos



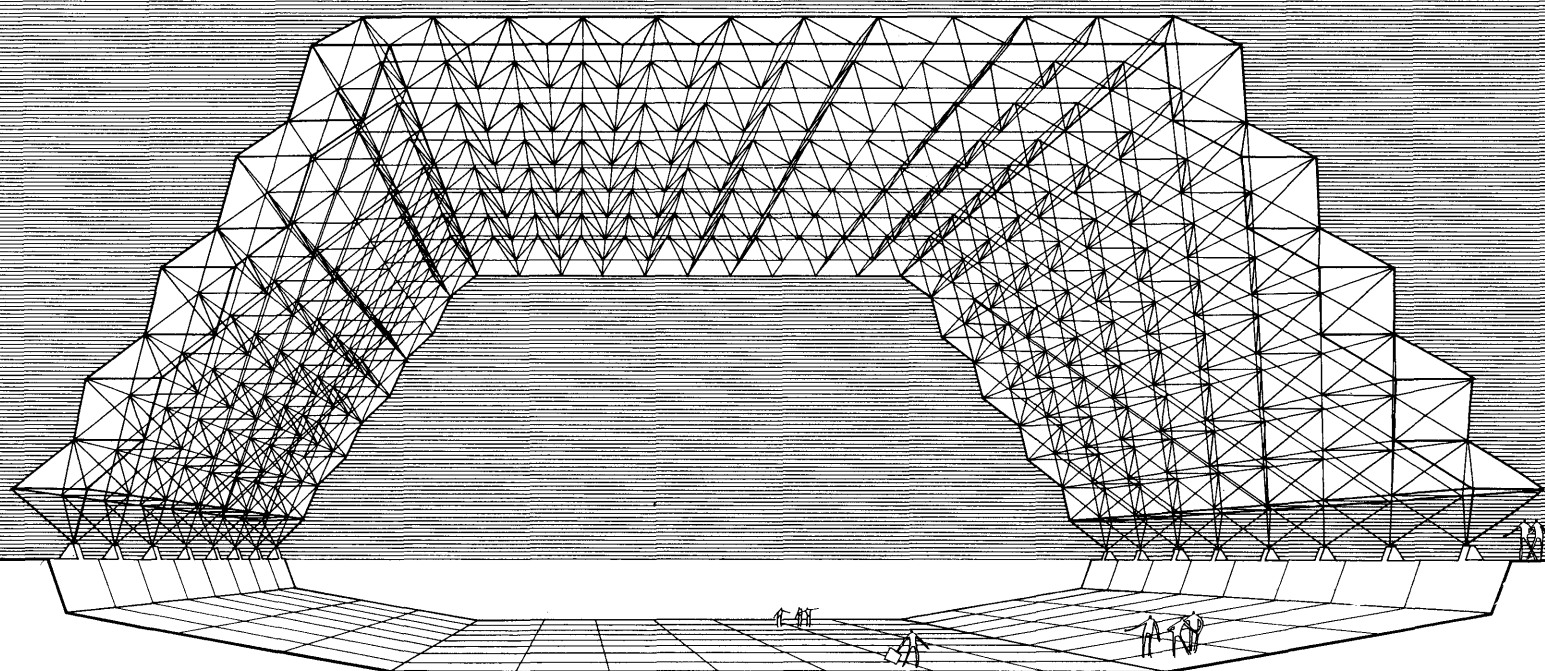
Malla espacial en un plano para cubierta de gran luz

Treliça espacial plana para cobertura de grandes vãos



Malla espacial lineal triarticulada con voladizo

Treliça espacial linear triarticulada para pórtico com balanços

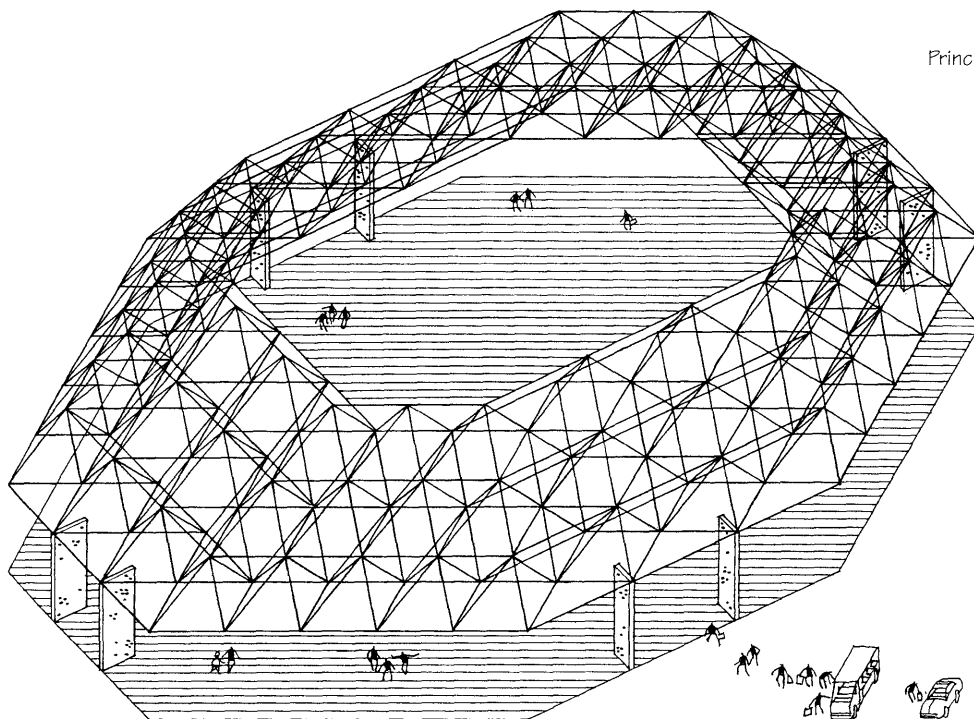


Malla espacial en un plano para cerramiento superior y lateral

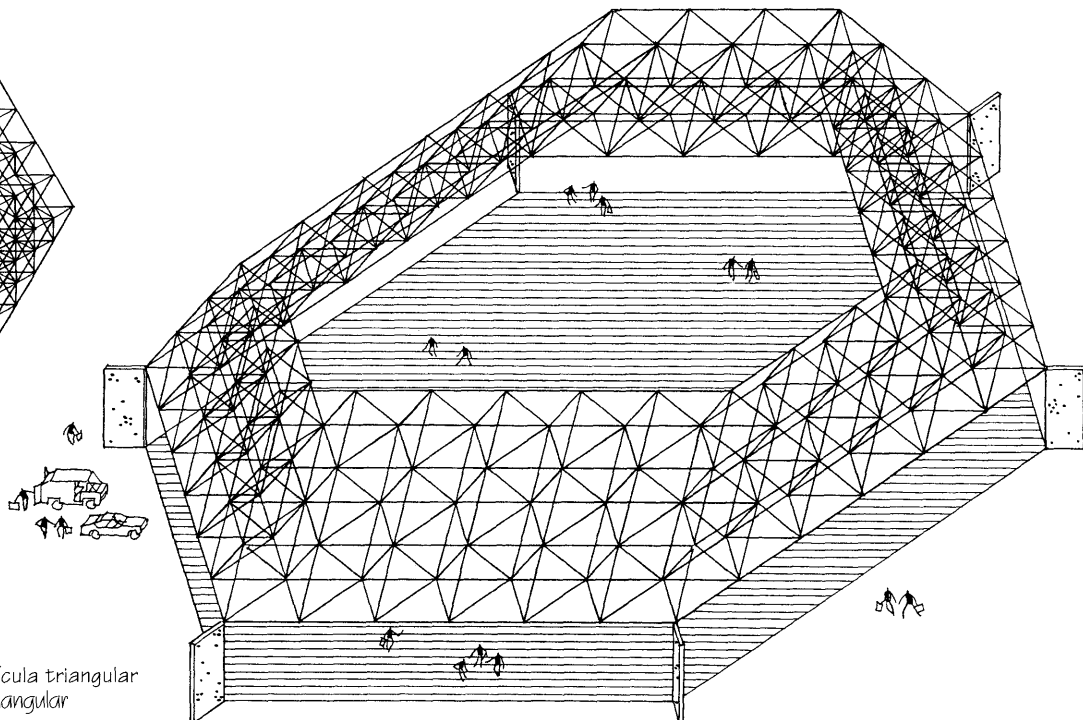
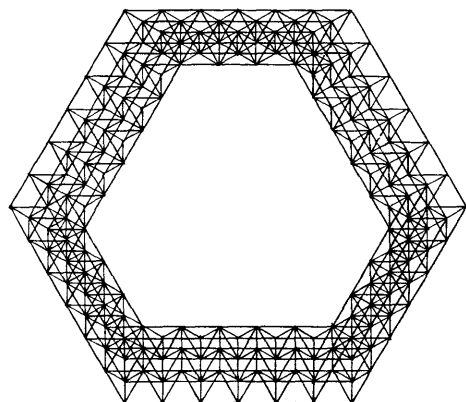
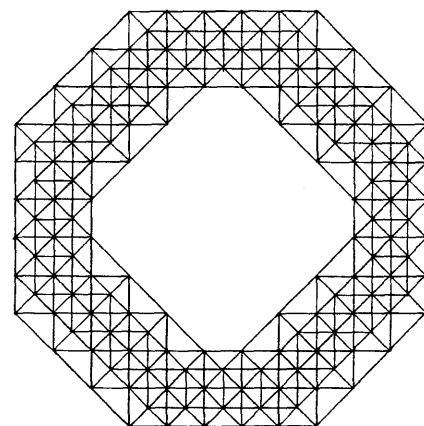
Treliça espacial plana para estrutura de cobertura/parede inteiriça

Planteamientos de diseño con sistemas de mallas espaciales / retícula espacial de 5 capas en disposición anular

Aproximações de potencial de desenho nos sistemas de treliças espaciais / retícula de 5 capas em disposição anular



Principio de sistema: semioctaedro sobre retícula cuadrada  
Principio do sistema: semi-octaedro sobre malha quadrada



Principio del sistema: tetraedro sobre retícula triangular  
Principio do sistema: tetraedro sobre malha triangular



Sistemas de estructuras de sección activa  
Sistemas estruturais de seção-ativa

3

Os elementos lineares, retos e fixos em seu comprimento, constituem meios geométricos para definir planos e estabelecer relações tridimensionais por sua posição no espaço.

Os elementos lineares retos podem determinar eixos e dimensões: comprimento, altura e largura. Por essa propriedade, os elementos lineares são requisito prévio para a definição geométrica do espaço tridimensional.

Os elementos lineares retos, se formados por material resistente, podem realizar funções estruturais. Com resistência a compressão, podem ser usados como barras de compressão, e com resistência a tração, como barras de tração. Se, além disso, dispuserem de rigidez a flexão, podem ser usados como vigas.

As vigas são elementos estruturais retos, resistentes a flexão, e que não só são capazes de resistir às forças que atuam na direção de seu eixo, mas também por meio de esforços seccionais, suportar forças perpendiculares a seu eixo e transmiti-las lateralmente ao longo do mesmo até seus extremos. As vigas são elementos básicos dos sistemas estruturais de seção-ativa.

O protótipo de sistemas estruturais de seção-ativa é a viga simplesmente apoiada em suas extremidades. Com a massa de sua seção, a viga muda a direção das forças em 90°, fazendo-as deslocar-se ao longo de seu eixo até as extremidades de apoio.

A viga de apoio é um símbolo do conflito básico de direções, que tem que ser resolvido através do projeto estrutural: a dinâmica vertical da carga contra a dinâmica horizontal do espaço útil. A viga domina esse conflito entre a natureza e a vontade humana de modo bastante simples e através de sua massa.

Por causa de sua capacidade de transferir as cargas lateralmente e ainda manter-se no espaço horizontal, o que é muito conveniente para o fechamento tridimensional do espaço, a viga é o elemento estrutural mais usado na construção de edifícios.

Por meio de conexões rígidas, vigas e colunas separadas podem ser combinadas para formar um sistema coesivo de múltiplos componentes,

no qual cada componente, por meio de deflexão de seu eixo, participa do mecanismo resistente à deformação: sistemas estruturais de seção-ativa.

A curva do eixo central, isto é, a flexão, é a característica da ação portante da seção-ativa. Sua causa é a rotação parcial do elemento linear, em virtude das forças externas que não atuam em uma mesma linha de ação.

O mecanismo portante dos sistemas estruturais de seção-ativa consiste na ação combinada de esforços de compressão e tração no interior da viga, em conjunção com os esforços de cisalhamento: resistência à flexão. Por causa da deformação pela flexão, um momento interno de rotação é ativado, que equilibra o momento de rotação externo.

A seção da viga, isto é, a distribuição de sua massa com relação ao eixo neutro, é decisiva para o mecanismo resistente de sistemas estruturais de seção-ativa. Quanto mais distante do eixo neutro estiver a massa, maior será a resistência à flexão.

Em virtude da distribuição desigual dos esforços de flexão ao longo da viga, e por causa também da desigualdade das exigências resultantes para o dimensionamento da seção cruzada, os sistemas estruturais de seção-ativa podem exprimir a variação dos esforços de flexão internos por meio de mudanças de altura em sua seção.

Os sistemas estruturais de seção-ativa podem, portanto, constituir uma expressão viva da luta pelo equilíbrio entre os momentos de rotação externos e internos.

Através de conexão rígida com apoios, não somente a curva vertical é reduzida, como também é estabelecido um mecanismo para resistir às forças horizontais. A rigidez continua em duas ou três dimensões é a segunda característica dos sistemas estruturais de seção-ativa.

Como viga contínua, pórtico articulado, pórtico rígido, pórtico de vãos múltiplos e pórtico de vários pavimentos, as estruturas de seção-ativa trouxeram à expressão máxima os mecanismos da continuidade. Por meio desses sistemas, é possível conseguir grandes vãos e obter espaço livre sem auxílio de suportes, e sem abandonar as vantagens da geometria retangular.

Os elementos lineares da seção-ativa, dispostos em forma de retícula biaxial e rigidamente conectados entre si ativam os mecanismos de resistência adicionais, permitindo a redução tanto da altura da construção quanto da massa material: vigas reticulares.

A densificação da disposição biaxial de vigas conduz à laje estrutural. A laje estrutural é um elemento plano de seção-ativa que integra os mais diversos mecanismos de flexão, e, por consequência, apresenta grande eficácia para um certo limite de vão.

Os sistemas estruturais de seção-ativa possuem, predominantemente, uma forma retangular em plano e seção. A simplicidade da geometria retangular para resolver problemas estruturais e estéticos é uma vantagem dos sistemas estruturais de seção-ativa e a razão de sua aplicação universal na edificação.

Em virtude da superioridade da geometria retangular na construção, os mecanismos de estrutura de seção-ativa definem também superestruturas para desempenho com unidades extraídas de outros sistemas estruturais. Os sistemas de estrutura de seção-ativa são, portanto, a superestrutura na qual todos os outros mecanismos estruturais podem ser postos em ação.

O futuro desenvolvimento dos sistemas estruturais de seção-ativa refutará os inconvenientes da relação peso/vão, não apenas pelo progressivo emprego das técnicas de protensão, como também pela substituição da seção de viga maciça por formas ativas, vetores-ativos ou superfícies-ativas.

O conhecimento dos mecanismos de seção-ativa, das múltiplas ações e suas consequências, presentes na flexão de elementos lineares, deve, portanto, ser considerado básico para o arquiteto, não apenas no planejamento do esqueleto estrutural, mas também no projeto da geometria retangular como um todo.



## Definición / Definição

## 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

SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SEÇÃO-ATIVA são sistemas de estrutura de elementos lineares retos, sólidos e rígidos –incluindo suas formas compactas como laje– na qual a redistribuição de forças é efetuada através da MOBILIZAÇÃO DAS FORÇAS SECCIONAIS

## Fuerzas / Forças

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

Os membros do sistema são principalmente submetidos à flexão isto é, à compressão linear, tensão e cisalhamento: SISTEMAS DE FLEXÃO

## Características

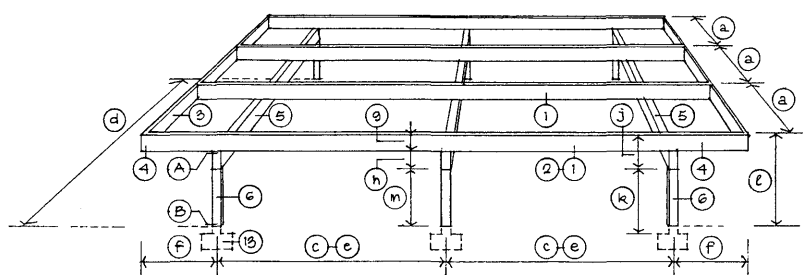
Las características estructurales más típicas son: PERFIL DE LA SECCION y CONTINUIDAD DE LA MASA

As características típicas destas estruturas são: PERFIL SECCIONAL e CONTINUIDADE DE MASSA

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

## 3.1 Estructuras de vigas

## Sistemas de vigas



## Componentes del sistema

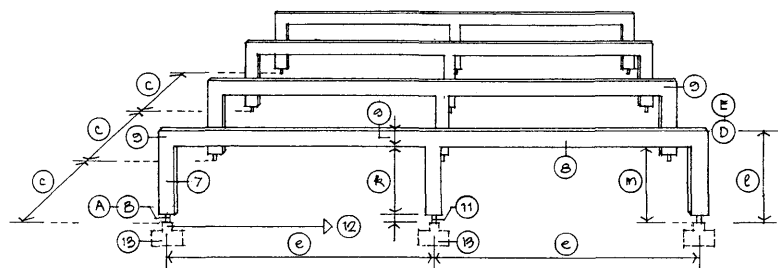
- ① Viga (viga continua)
- ② Viga de borde
- ③ Viga de testero
- ④ Voladizo
- ⑤ Jácena
- ⑥ Pilar
- ⑦ Pilar de pórtico
- ⑧ Jácena del pórtico
- ⑨ Esquina del pórtico
- ⑩ Retícula de vigas
- ⑪ Apoyo articulado
- ⑫ Anclaje a tracción
- ⑬ Cimienta
- ⑭ Apoyo
- ⑮ Perímetro de la losa

## Componentes do sistema

- Viga, vigueta (viga continua)  
Viga de borda, viga de amarração  
Viga de vão  
Balanço  
Viga  
Coluna, pilar  
Pilar de pórtico  
Viga de pórtico  
Pórtico articulado, canto de pórtico  
Reticula de vigas  
Base articulada  
Ancoragem  
Fundação, base  
Suporte, apoio  
Laje de borda

## 3.2 Estructuras de pórticos

## Sistemas de pórticos



## Puntos topográficos del sistema

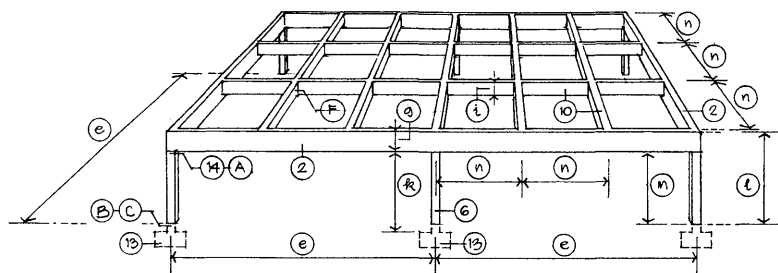
- A Punto de suspensión
- B Punto de base
- C Punto de anclaje
- D Punto de la esquina del pórtico
- E Punto alero
- F Punto de intersección

## Sistema topográfico de pontos

- Ponto de suporte, ponto de apoio  
Ponto de base  
Ponto de ancoragem  
Ponto do canto do pórtico  
Ponto de beirral  
Ponto de interseção

## 3.3 Estructuras de retículas de vigas

## Sistemas de malha de vigas



## Dimensiones del sistema

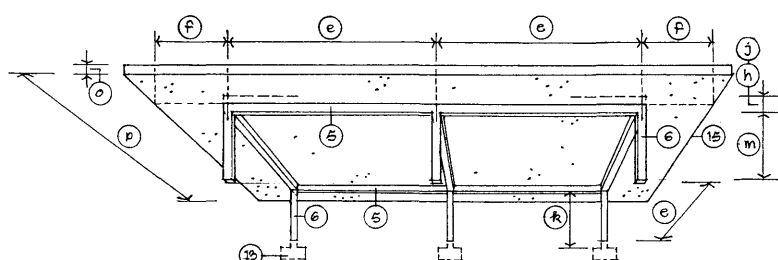
- a Separación entre vigas
- b Luz de la viga
- c Separación entre pórticos
- d Luz de la jácena
- e Separación entre pilares
- f Longitud del voladizo
- g Canto de la viga
- h Canto de la jácena
- i Canto de la retícula de vigas
- j Canto total
- k Altura del pilar
- l Altura del alero
- m Altura libre
- n Módulo de la retícula
- o Espesor de la losa
- p Anchura losa (longitud losa)

## Dimensões do sistema

- Espaçamento entre vigas  
Vão da viga, dimensão do vão  
Espaçamento entre pórticos  
Vãos da viga  
Distância entre colunas  
Comprimento do balanço  
Altura da viga  
Altura da viga  
Altura da retícula  
Altura total  
Altura de coluna, comprimento  
Altura de beirais  
Altura livre, vão livre  
Dimensão da reticula, módulo  
Profundidade de laje, altura  
Largura de laje, (comprimento de laje)

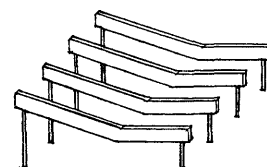
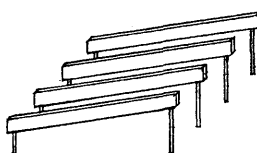
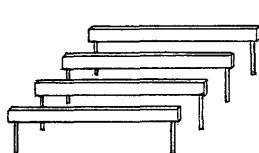
## 3.4 Estructuras de losas

## Sistemas de lajes

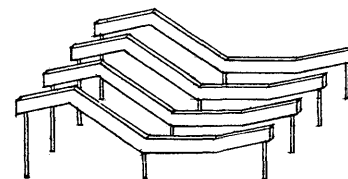
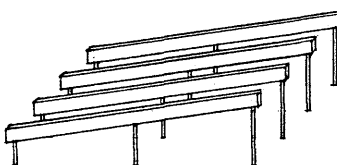
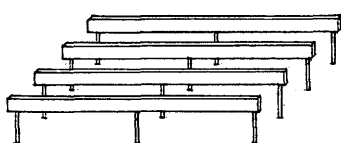


## 3.1 Estruturas de vigas / Sistemas de vigas

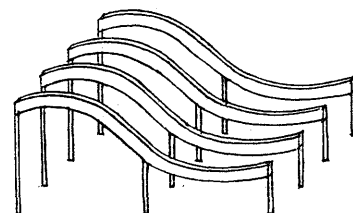
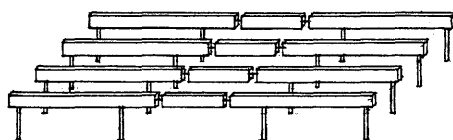
Vigas de um vano  
Vigas de vão único



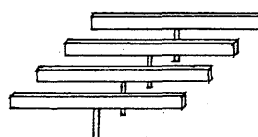
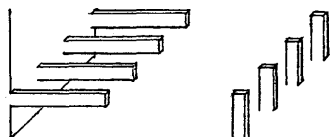
Vigas contínuas  
Vigas contínuas



Vigas articuladas  
Vigas articuladas

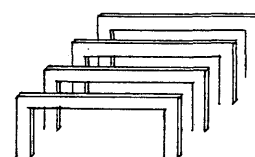
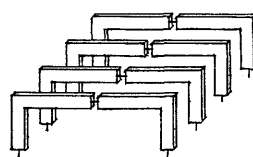
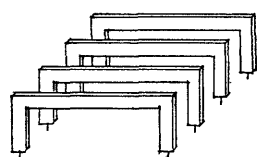


Vigas em voladizo  
Vigas em balanço

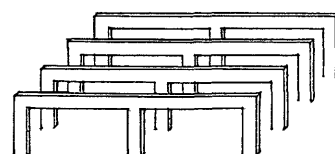
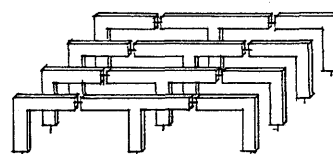
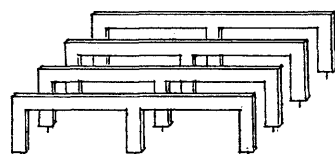


## 3.2 Estruturas de pórticos / Sistemas de pórticos

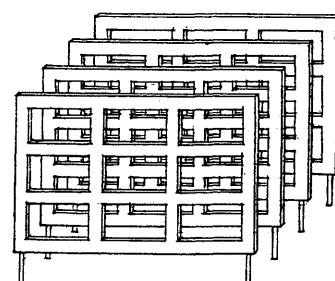
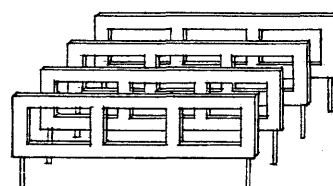
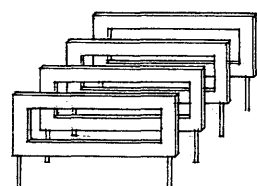
Pórticos de um vano  
Pórticos de vão único



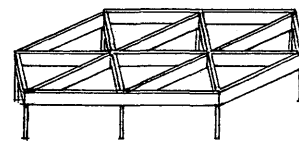
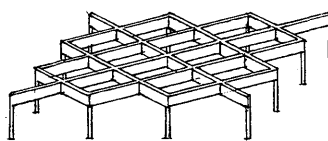
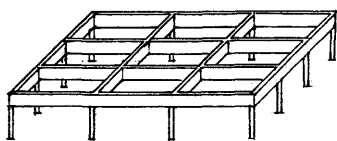
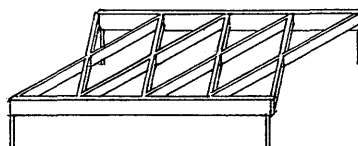
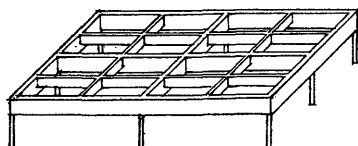
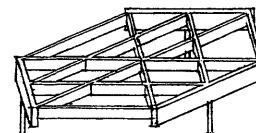
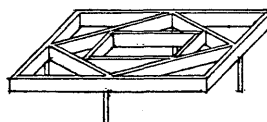
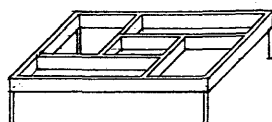
Pórticos de varios vanos  
Pórticos de vários vãos



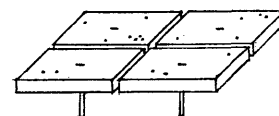
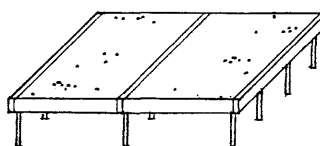
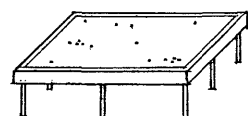
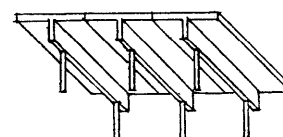
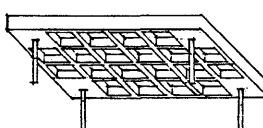
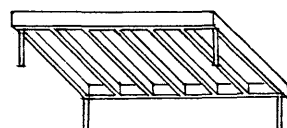
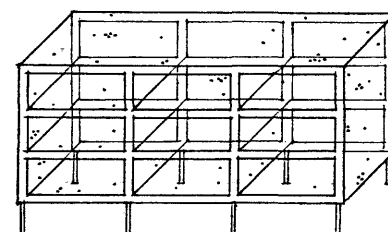
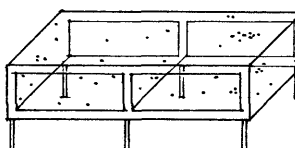
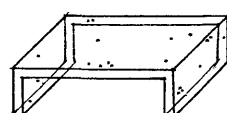
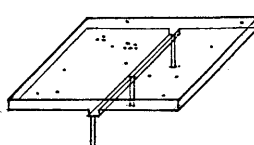
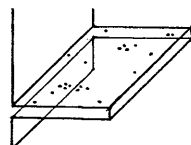
Pórticos de una planta  
Pórticos de pavimento



## 3.3 Estructuras de retícula de vigas / Sistemas de malha de vigas

Retículas homogéneas  
Malhas homogêneasRetículas escalonadas  
Malhas graduadasRetículas concéntricas  
Malhas concêntricas

## 3.4 Estructuras de losas / Estruturas de lajes

Losas uniformes  
Lajes uniformesLosas nervadas  
Lajes com nervurasPórticos de losas  
Pórticos em caixaLosas en voladizo  
Lajes em balanço

Aplicaciones: sistema estructural - material - luces

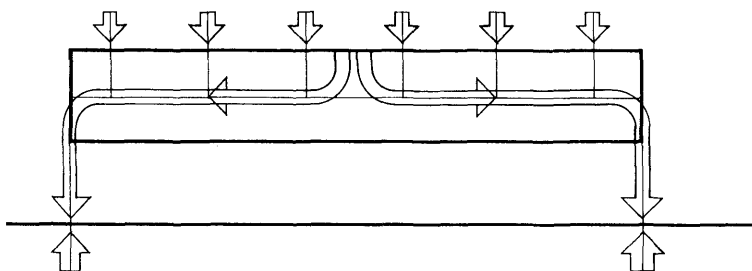
Aplicações: sistema de estrutura - material - vão

| Sistema estructural / Sistema de estruturas |  | Material básico            | Matéria prima       | Luz en metros / Vãos em metros |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|---------------------------------------------|--|----------------------------|---------------------|--------------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
|                                             |  |                            |                     | 0                              | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |  |
| Estructuras de VIGAS                        |  | madera                     | madeira             |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Sistemas de VIGAS                           |  | madera laminada            | madeira laminada    |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado pretensado | concreto protendido |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Estructuras de PÓRTICOS                     |  | madera                     | madeira             |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Sistemas de PÓRTICOS                        |  | madera laminada            | madeira laminada    |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Estructuras de RETÍCULA DE VIGAS            |  | madera                     | madeira             |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Sistemas de MALHA DE VIGAS                  |  | madera laminada            | madeira laminada    |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | metal (acero)              | metal (aço)         |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Estructuras de LOSAS                        |  | madera (tablones)          | pranchas de madeira |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
| Sistemas de LAJES                           |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |
|                                             |  | hormigón armado            | concreto armado     |                                |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |  |

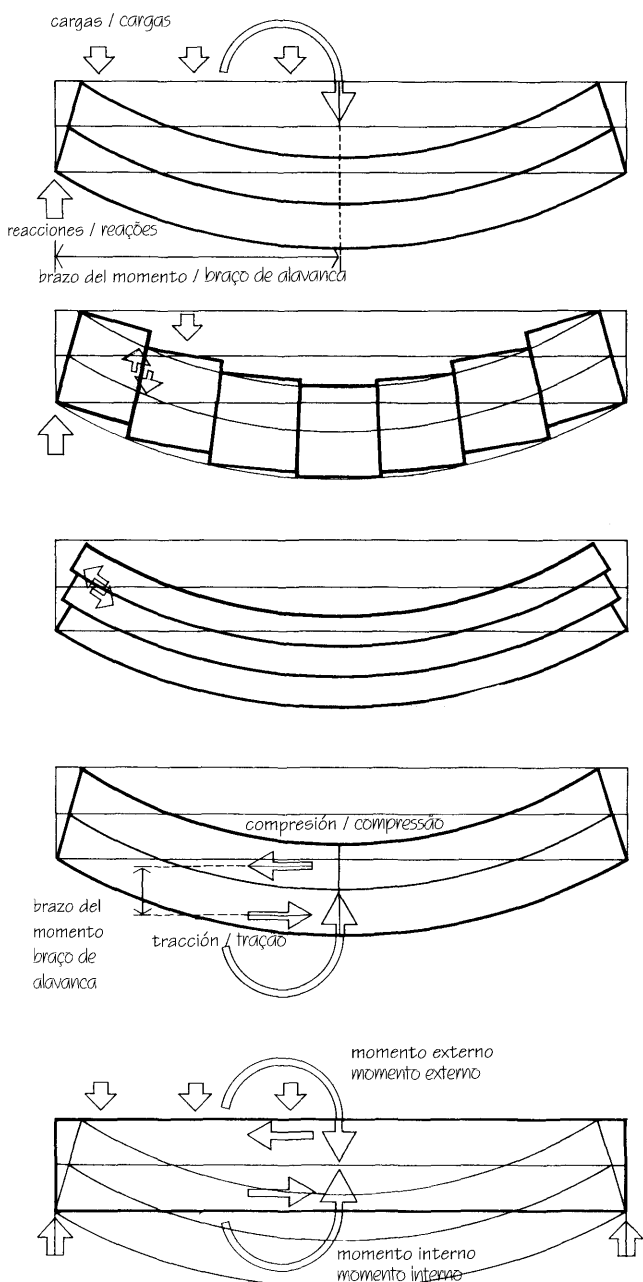
A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse.

Para cada tipo de estrutura há uma condição inerente de tensão específica de seus componentes. Essa característica essencial submete o projeto das estruturas à associações racionais na escolha do tecido da estrutura principal, e na atribuição da capacidade de vão.

## Definición de las estructuras de sección activa



## Mecanismo de flexión y de resistencia a la flexión



## Definição dos sistemas estruturais de seção-ativa

## Sistema de transmisión de las fuerzas

## Sistema de transmissão de forças

Las fuerzas externas se transmiten a través del material de la sección (fuerzas seccionales)  
Os esforços externos são transmitidos por meio da massa da seção (forças seccionais)

## Mecanismo de flexão e resistência à flexão

## Momento exterior de giro (flexión)

## Momento de rotação externo (flexão)

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.  
A soma das forças externas (cargas e reações) gera uma rotação das extremidades livres (pontos de apoio), que causa a curvatura do eixo longitudinal: flexão.

## Fuerzas verticales (cortantes)

## Esforço cortante vertical

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.  
Uma vez que as direções de carga e reação não se encontram, as forças externas fazem as fibras verticais tenderem ao deslizamento, produzindo uma força cortante vertical.

## Fuerzas cortantes horizontales

## Esforço cortante horizontal

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.

A deformação por flexão origina uma contração das camadas superiores e uma expansão das camadas inferiores. As fibras horizontais tendem ao deslizamento, introduzindo um esforço cortante horizontal.

## Momento interno de giro (reacción)

## Momento de rotação interno (reação)

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.  
Por causa da deformação de flexão, originam-se esforços de tração e compressão na seção por meio de esforços cortantes, que produzem um momento de rotação interno.

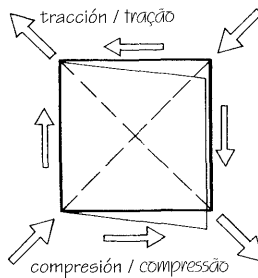
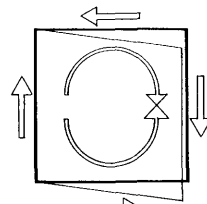
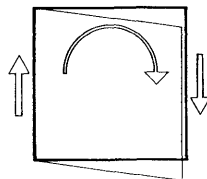
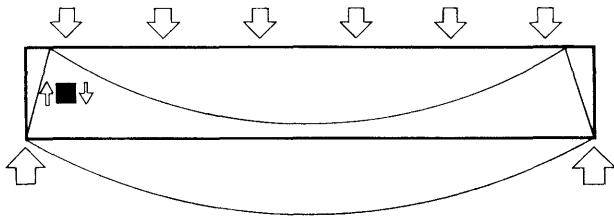
## Flexión y resistencia a la flexión

## Flexão e resistência à flexão

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.

O momento de rotação das forças externas produz uma deformação por flexão, até que seja atingido um ponto em que o momento reativo interno se torne suficientemente grande para compensar o momento externo.

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



Relação entre cisalhamento, tração e compressão na flexão

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

Em virtude das forças externas, originam-se esforços cortantes verticais, que tendem a fazer girar os elementos (retangulares) de uma viga e provocam a deformação por flexão.

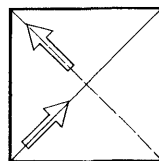
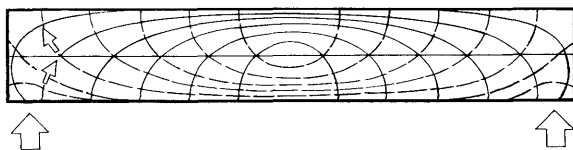
Debido a la deformación por flexión se originan tensiones cortantes horizontales que intentan girar cada diferencial en sentido contrario y con ello establecen un equilibrio por rotación.

Em virtude da deformação por flexão, originam-se esforços cortantes horizontais, que tendem a fazer girar os elementos (retangulares) em direção oposta e a estabelecer o equilíbrio em rotação.

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.

Os esforços cortantes verticais e horizontais combinam-se para formar esforços tanto de tração quanto de compressão, que dão aos elementos uma forma romboide. Esta deformação é suportada pela resistência do material.

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

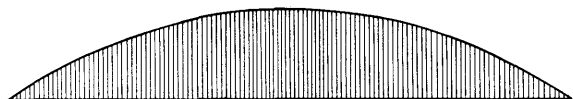
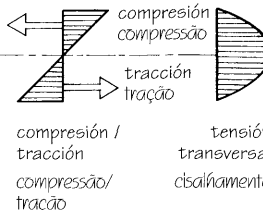
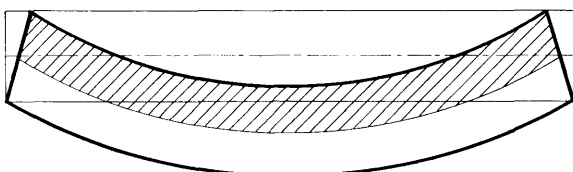


Linhas das direções principais de esforços: isostáticas

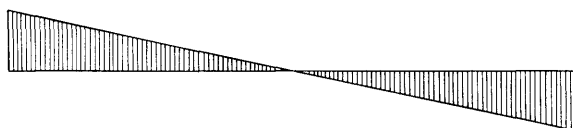
Las direcciones de las tensiones en una viga forman dos grupos que siempre se cruzan en ángulo recto: la dirección de las tensiones de compresión tiene forma de arco funicular mientras que la dirección de las tensiones de tracción tiene forma de catenaria.

A forma de esforço em viga indica dois grupos de direções de esforços que se interceptam sempre em ângulos retos: direções de esforços de compressão assumem forma de arco, e as direções de esforços de tração assumem forma de catenária.

Distribución de tensiones en una viga de sección rectangular



flexión flexão



cortante cisalhamento vertical

Distribuição de esforços através da viga de seção rectangular

Distribución de las tensiones en la sección de una viga. Distribuição de esforços pela seção da 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.

Os esforços de flexão para carga continua são distribuídos parabolicamente ao longo da viga. Os esforços máximos ocorrem no meio do vão.

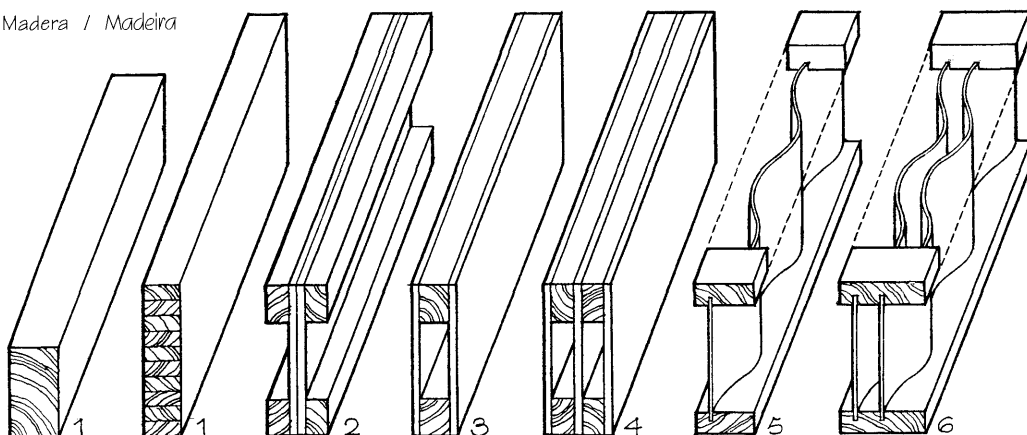
En cambio, los esfuerzos cortantes alcanzan su máximo valor junto a los apoyos y decrecen hacia el centro. En el centro de la viga son nulos.

Os esforços cortantes verticais são máximos nos apoios e decrescem em direção ao centro, sendo nulos no meio do vão.

## Tipos de sección de las vigas lineales

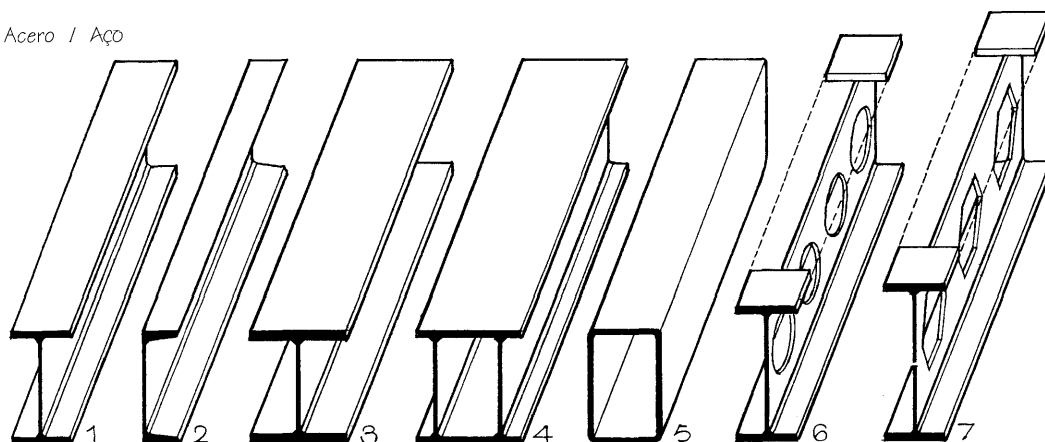
El mecanismo de actuación de las estructuras de sección activa descansa en la movilización de esfuerzos seccionales. Es decir, la función portante de estos sistemas se realiza mediante acciones en su sección. Como consecuencia, en este caso –a diferencia de los demás tipos de estructuras–, al proyectar la estructura es importantísimo la forma de la SECCIÓN de la viga en función del material empleado.

## Madera / Madeira



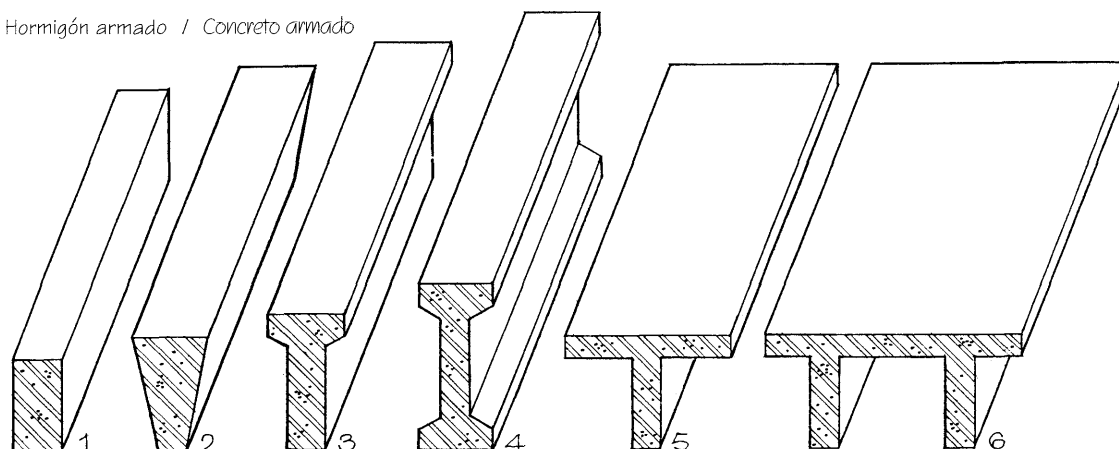
- 1 Viga rectangular
- 2 Viga I
- 3 Viga de caja
- 4 Viga de doble caja
- 5 Viga con alma ondulada
- 6 Viga con doble alma ondulada

## Acero / Aço



- 1 Viga I
- 2 Viga U
- 3 Viga H
- 4 Viga de caja
- 5 Viga de perfil hueco
- 6 Viga perforada
- 7 Viga alveolada

## Hormigón armado / Concreto armado



- 1 Viga rectangular
- 2 Viga trapezoidal
- 3 Viga T
- 4 Viga I
- 5 Losa con nervio
- 6 Losa con doble nervio

Además de las secciones estándar de una viga, determinadas en gran parte por las propiedades del material empleado, la combinación de varios materiales de construcción para aprovechar al máximo sus características, conduce a secciones de forma especialmente eficaz: VIGAS COMPUESTAS

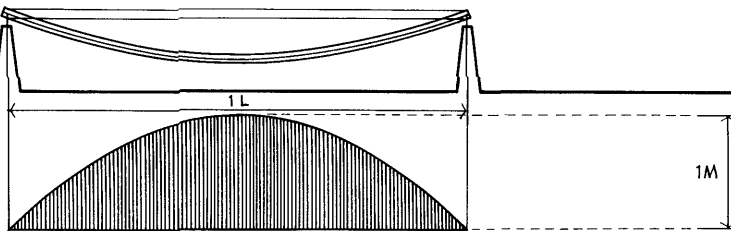
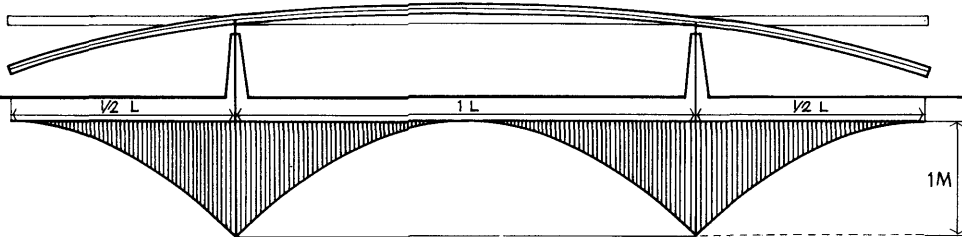
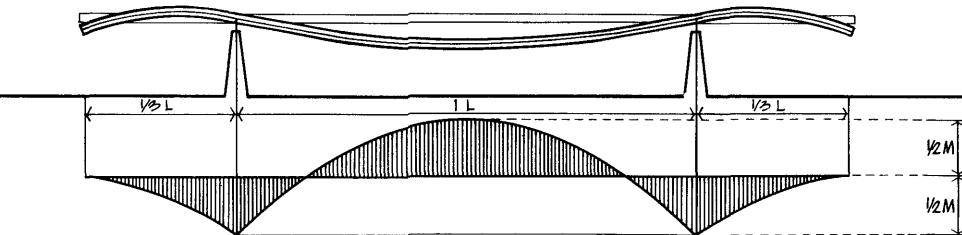
## Perfis de vigas

Os mecanismos dos sistemas de estruturas de seção-ativa repousam sobre a mobilização de forças de seção. Isto quer dizer que a função estrutural desses sistemas é executada por ações na seção. Consequentemente o desenho do PERFIL da viga, de acordo com o material específico, é –diferente de outras famílias de estruturas– a preocupação principal no desenvolvimento de estruturas.

Além das formas padrão dos perfis de viga determinados pelas propriedades de um único material estrutural, a combinação de materiais, e a união dos seus respectivos méritos estruturais, permite novas criações, eficientes seções cruzadas: VIGAS COMPOSTAS

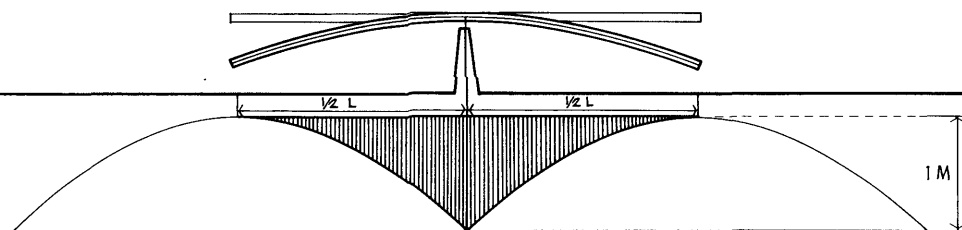
Influencia del voladizo en la eficacia de una viga

Influência da ação de um balanço na eficiência de uma viga

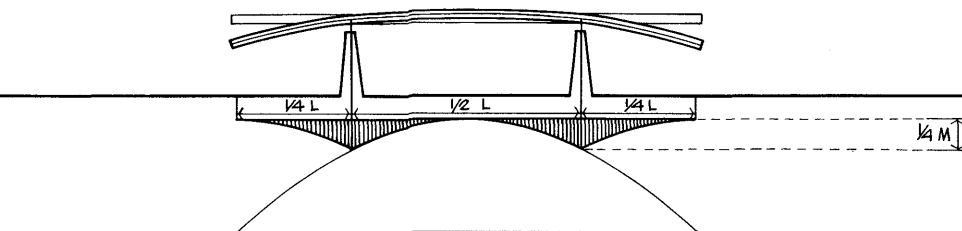
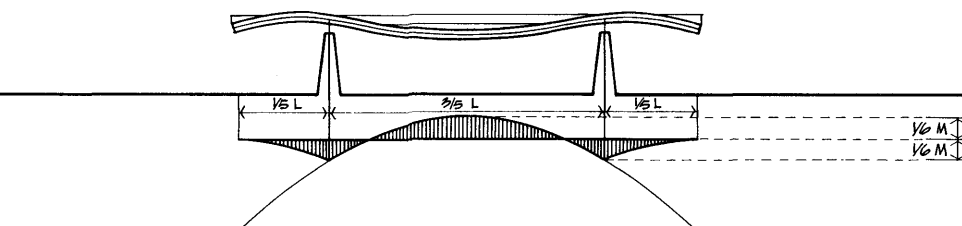
deformación por flexión  
deformação por deflexãomomentos flectores  
momentos fletoresViga biapoyada  
Viga simplesmente apoiadasin voladizo  
sem balançosViga con voladizo en ambos extremos igual  
a  $1/2$  de la luzViga com ambas as extremidades em balanço  
de  $1/2$  do vãoViga con voladizo en ambos extremos igual  
a  $1/3$  de la luzViga com ambas as extremidades em balanço  
de  $1/3$  do vão

Influencia del tipo de apoyo en la eficacia de una viga

Influência das condições de apoio na eficiência da viga

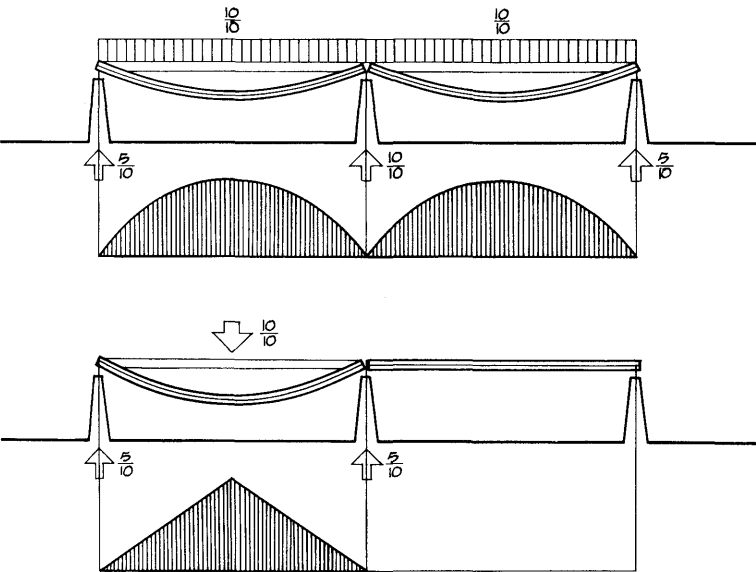


Viga con un solo apoyo en el centro

Viga com apoio simples no ponto médio de seu  
comprimentoViga biapoyada a  $1/4$  de los extremosViga apoiada a  $1/4$  dos extremosViga biapoyada a  $1/5$  de los extremosViga apoiada a  $1/5$  dos extremos



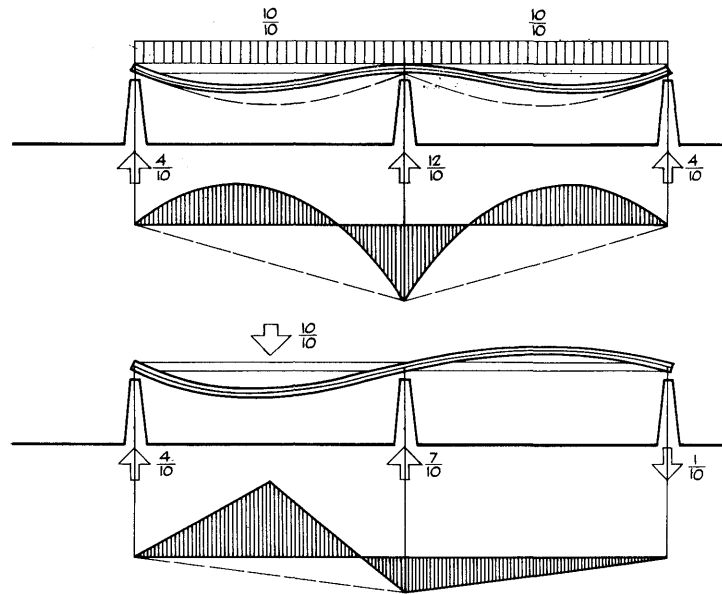
## Comparación entre vigas continuas y discontinuas



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

Viga descontinua: a deformação por flexão em um vão não se transmitirá ao outro. As cargas atuarão sobre cada vão independentemente

## Comparação entre vigas continuas e descontinuas



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

Viga continua: a deformação por flexão em um vão transmitir-se-á ao outro. As cargas sobre um vão serão resistidas pelo comprimento total da viga

## Influencia de la continuidad en el mecanismo portante

Carga uniforme a lo largo de toda la viga

Carga continua em todo o comprimento

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

Em virtude da continuidade, a rotação da viga nos apoios fica restrita. A flexão máxima ocorre nos vãos extremos, onde a rotação de uma extremidade não é obstruída

Carga puntual en el último vano

Carga pontual em um vão extremo

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

A deformação por deflexão em um vão carregado fica restrita pela obstrução unilateral da rotação da viga. Os vãos sem carga também participam da carga resistente

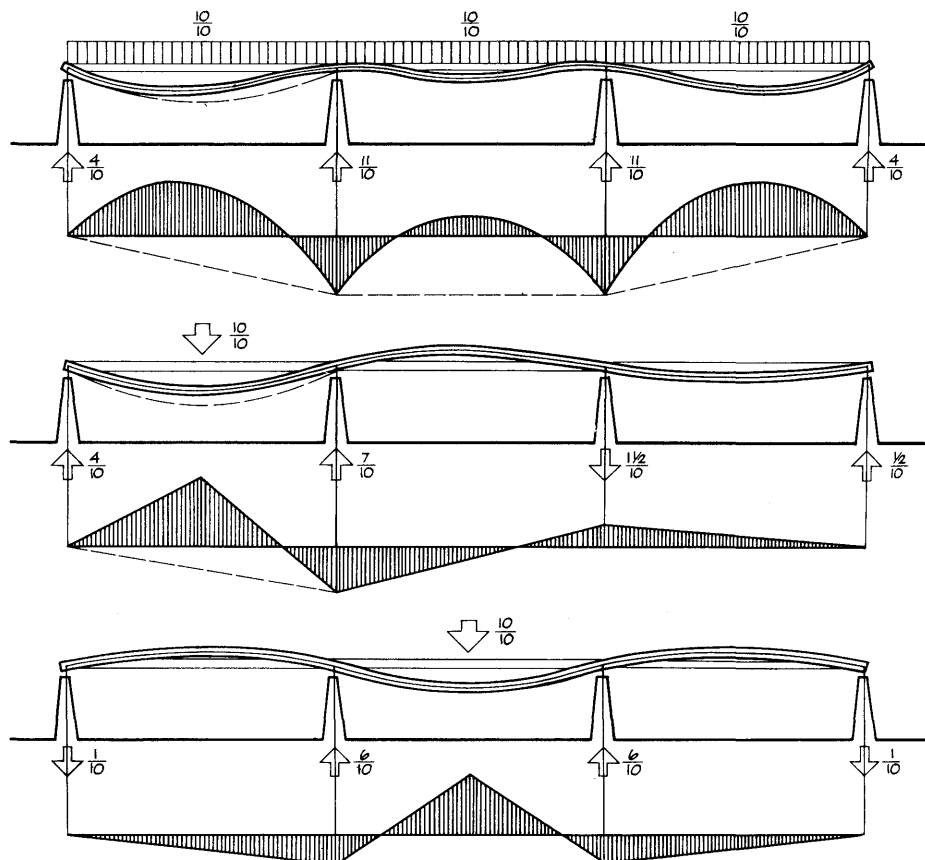
Carga puntual en el vano central

Carga pontual no vão central

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

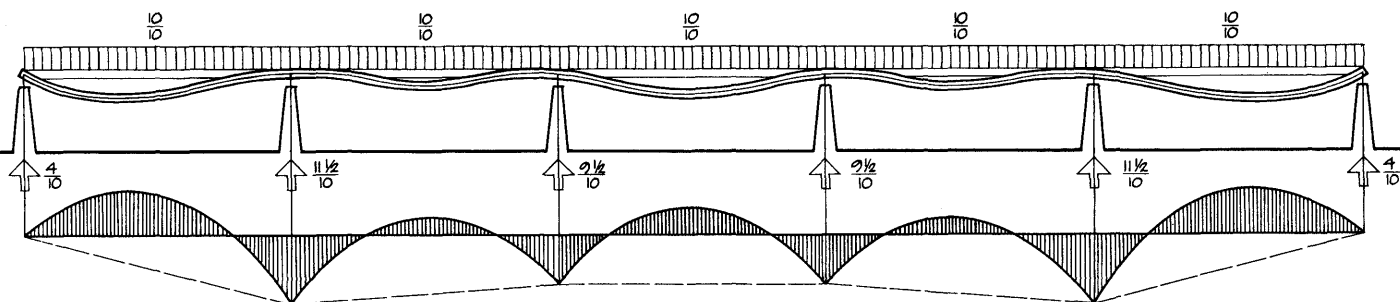
Em virtude da continuidade, a rotação da viga sobre os apoios do vão carregado fica obstruída. Toda a viga é incluída no mecanismo portante

## Influência da continuidade no mecanismo portante



## Mecanismo de flexión en una viga continua de 5 vanos

## Mecanismo de flexão na viga contínua de 5 vãos

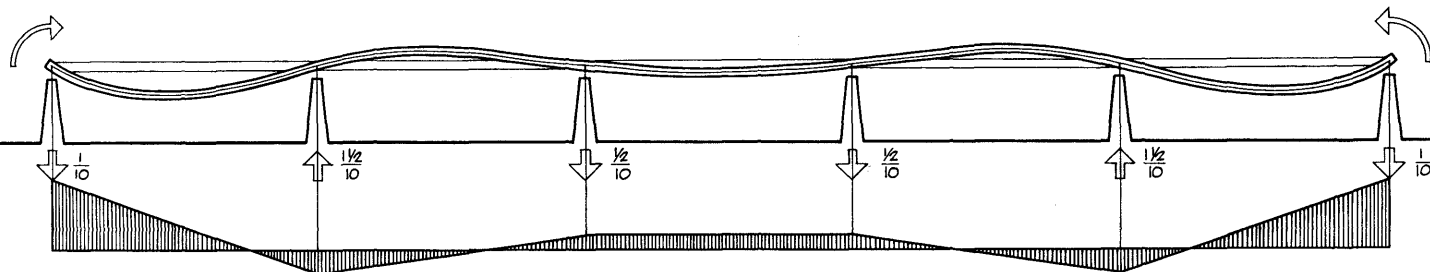


### Magnitud de la flexión bajo una carga uniforme

La flexión alcanza su valor máximo en los vanos de los extremos, donde el giro no se compensa en los apoyos finales. La flexión es mínima en los vanos contiguos a los vanos de los extremos.

### Variação da flexão baixo carga contínua

A flexão máxima ocorre no vão extremo, onde a rotação no apoio externo não é impedida. A flexão mínima ocorre nos vãos contíguos aos vãos extremos.



### Influencia del momento mayor en los vanos de los extremos

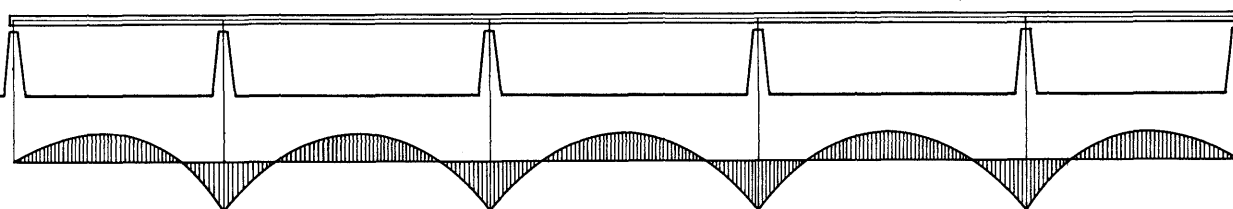
La falta de obstaculización del giro en los apoyos de los extremos influye en la flexión de los demás vanos como si fuera un momento adicional.

### Influência do momento máximo no vão extremo

A falta de restrição de rotação nos apoios extremos influencia as deflexões dos outros vãos como se houvesse aplicado um momento adicional de rotação.

## Posibilidades de una distribución uniforme de la flexión en una viga continua

## Possibilidades de distribuição uniforme de flexão na viga contínua

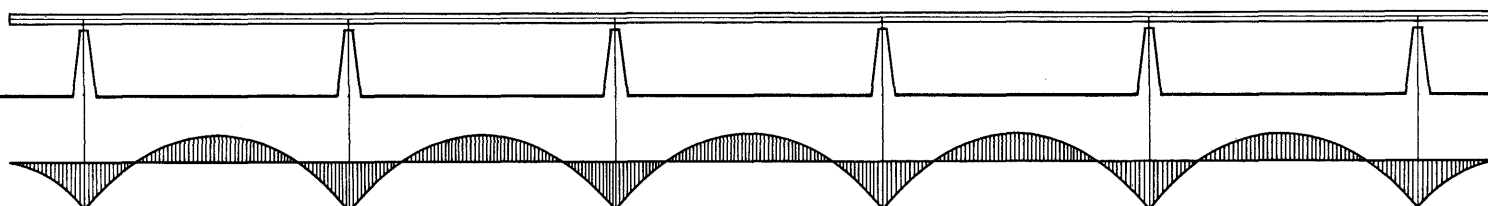


### Reducción de los vanos de los extremos

Al reducir los vanos de los extremos se puede llegar a igualar la flexión en dichos vanos con la flexión en los vanos centrales.

### Redução do vão extremo

Por meio da diminuição do comprimento do vão extremo, a flexão nesse vão pode igualar-se à dos outros vãos.

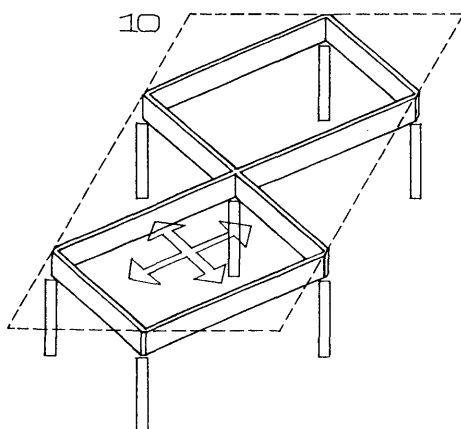
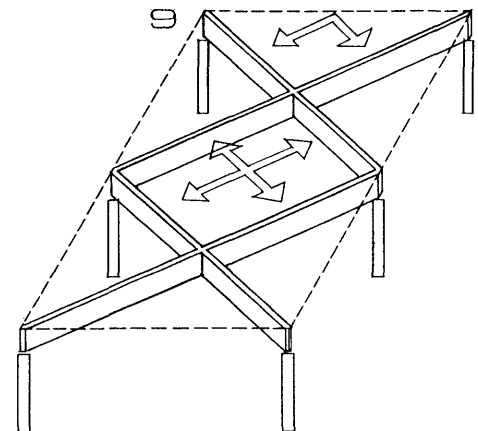
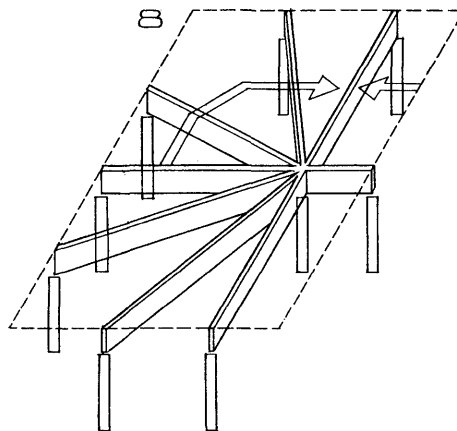
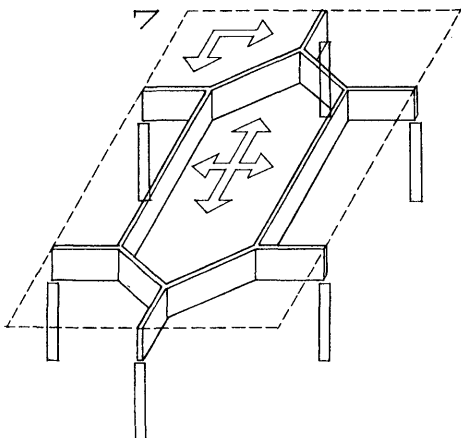
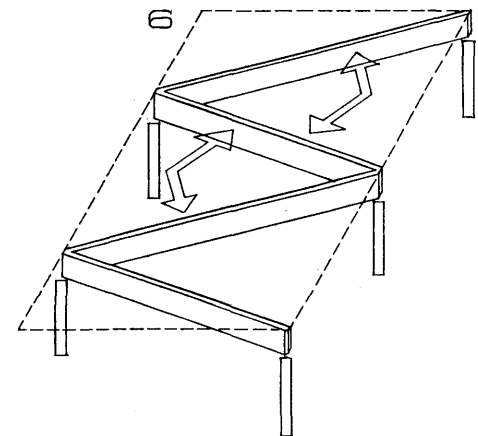
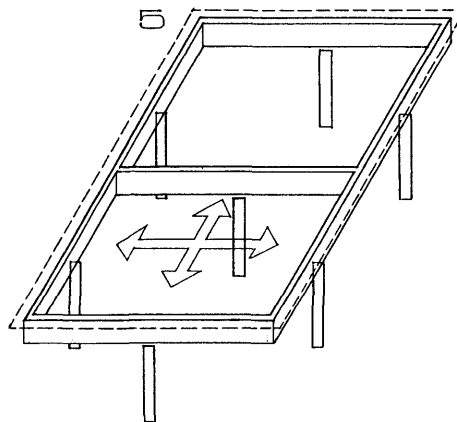
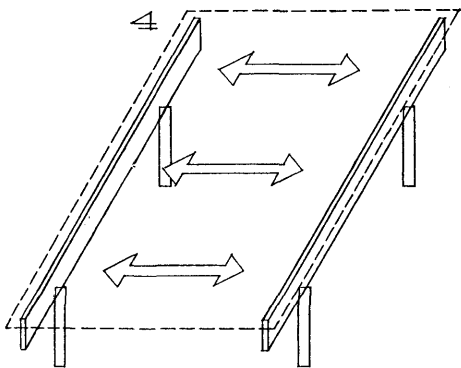
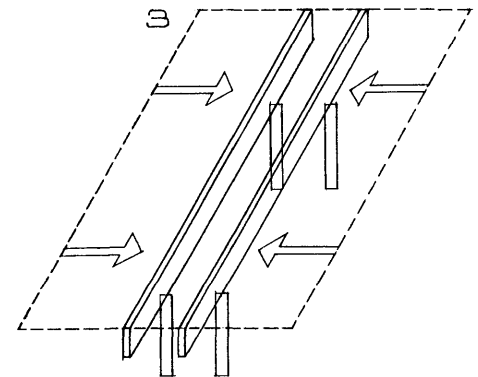
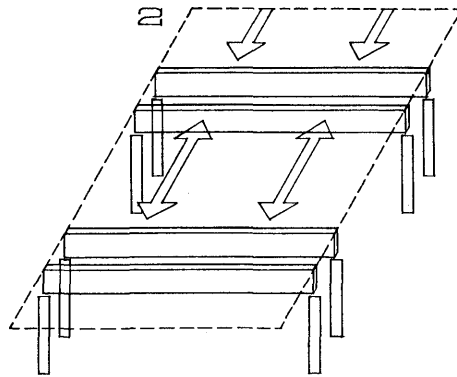
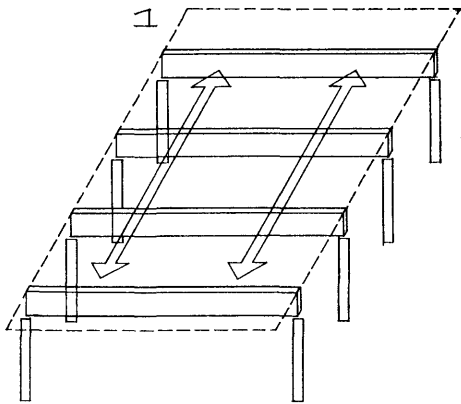


### Voladizo en los vanos de los extremos

El giro de sentido contrario en los voladizos reduce la flexión en los vanos de los extremos hasta igualarla con la flexión en los demás vanos.

### Balanços nos extremos

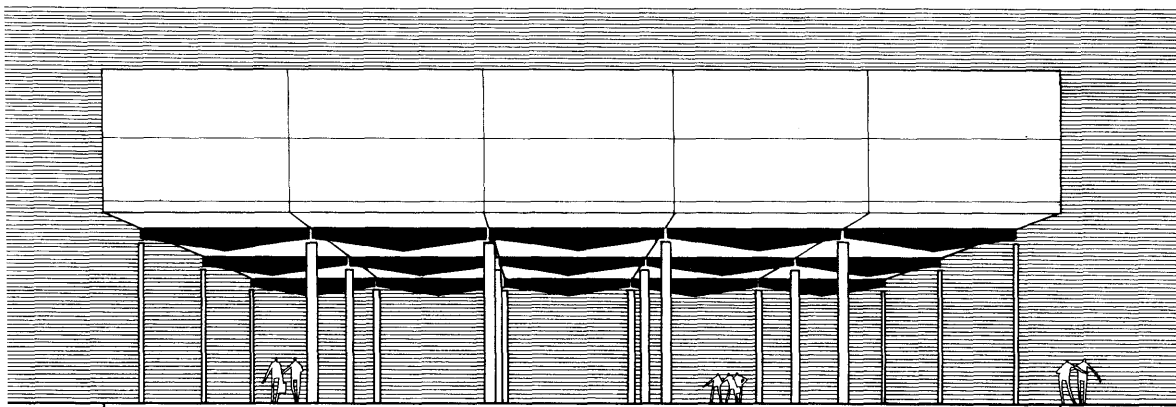
Em virtude da rotação inversa dos balanços, a flexão no vão extremo pode igualar-se à dos outros vãos.



Colocación de las vigas para transmitir la carga  
Posicionamento de vigas para transmissão de carga

- |    |                           |    |                               |
|----|---------------------------|----|-------------------------------|
| 1  | Alineación transversal    | 1  | Alinhamento transversal       |
| 2  | Acoplamiento transversal  | 2  | Acoplamento transversal       |
| 3  | Acoplamiento longitudinal | 3  | Acoplamento longitudinal      |
| 4  | En el borde longitudinal  | 4  | Posição de borda longitudinal |
| 5  | Retícula cuadrada         | 5  | Reticula quadrada             |
| 6  | En zigzag                 | 6  | Modelo oblíquo em zigzag      |
| 7  | Ramificación              | 7  | Ramificação                   |
| 8  | Esquema radial            | 8  | Modelo radial                 |
| 9  | Cruce en diagonal         | 9  | Cruzamento diagonal           |
| 10 | Retícula diagonal         | 10 | Reticula diagonal             |

## Estructuras y posibilidades formales para vigas de cinco vanos

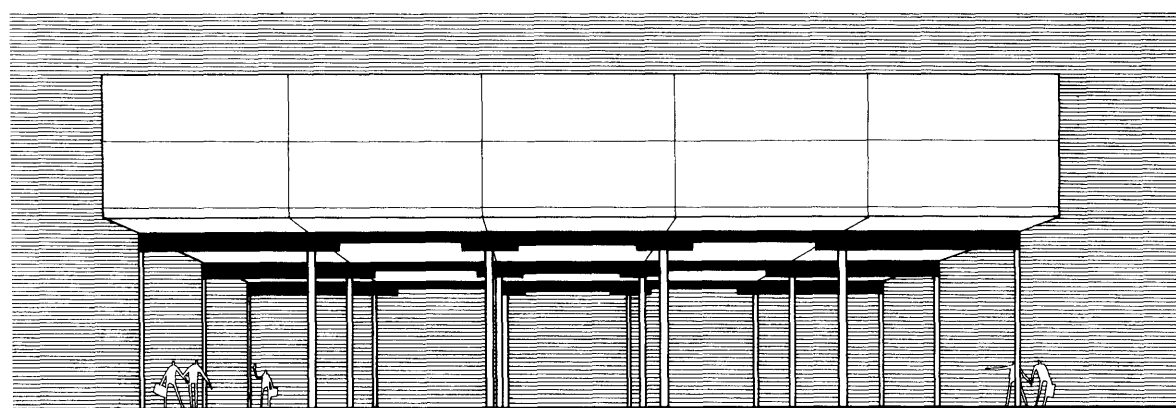
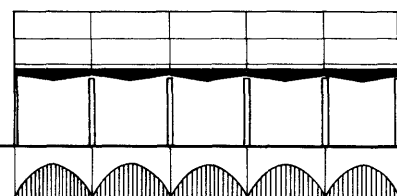


incremento lineal del canto de las vigas hacia el centro del vano

aumento linear da altura da viga em direção ao centro do vão

Vigas simples (discontinuas) para cada vano: distribución de tensiones idéntica en cada vano

Viga descontinua, uma para cada vão: distribuição dos esforços igual para cada vão

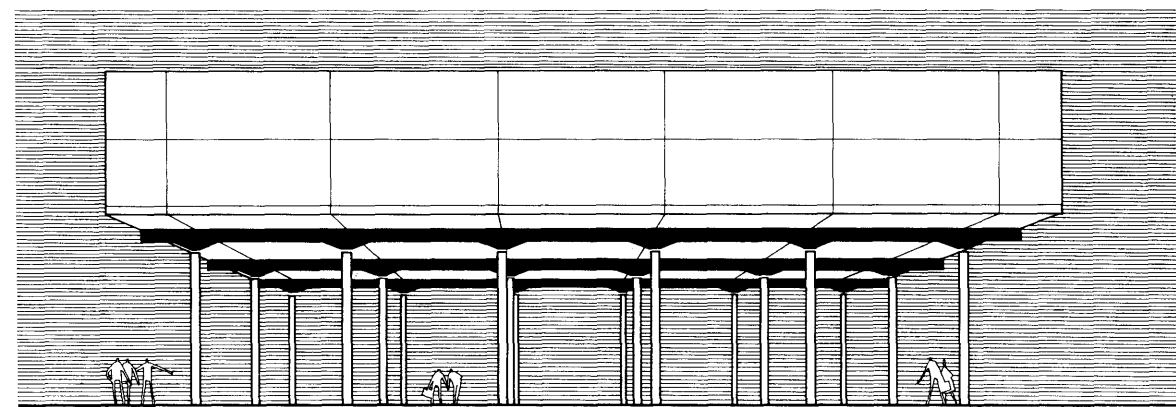
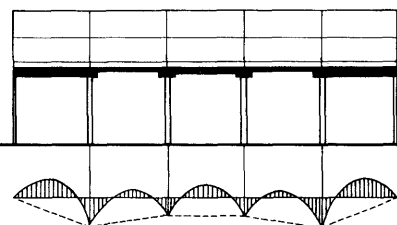


igualación escalonada del canto de la viga

ajuste em degrau da altura da viga

Viga continua sobre cinco vanos iguales: distribución de tensiones diferente en cada vano

Viga continua sobre cinco vãos iguais: distribuição dos esforços diferente para cada vão

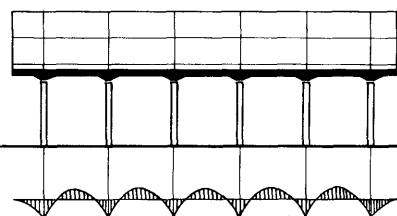


incremento del canto de la viga sobre los apoyos

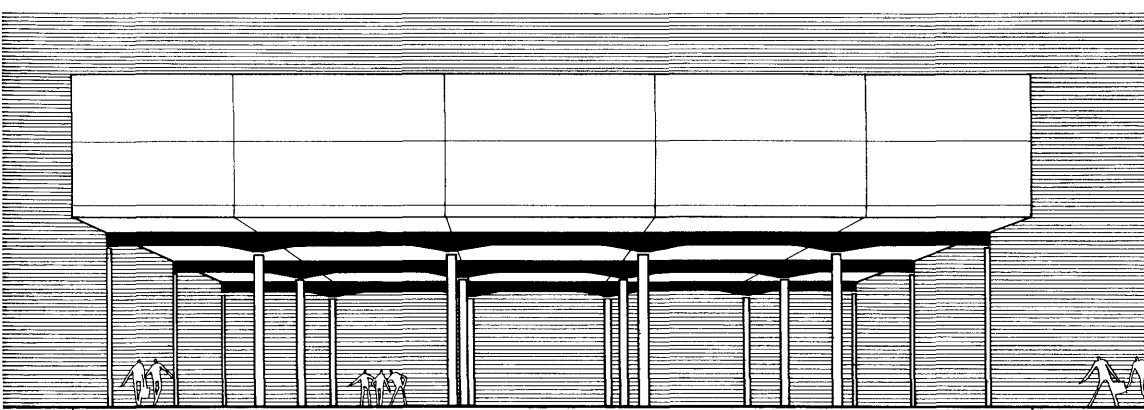
aumento da altura da viga sobre os suportes

Viga continua con voladizos en los extremos: distribución de tensiones idéntica en cada vano

Viga continua com balanços nos extremos: a distribuição dos esforços é igual para cada vão



## Sistemas estruturais e possibilidades de projeto para viga com cinco vãos

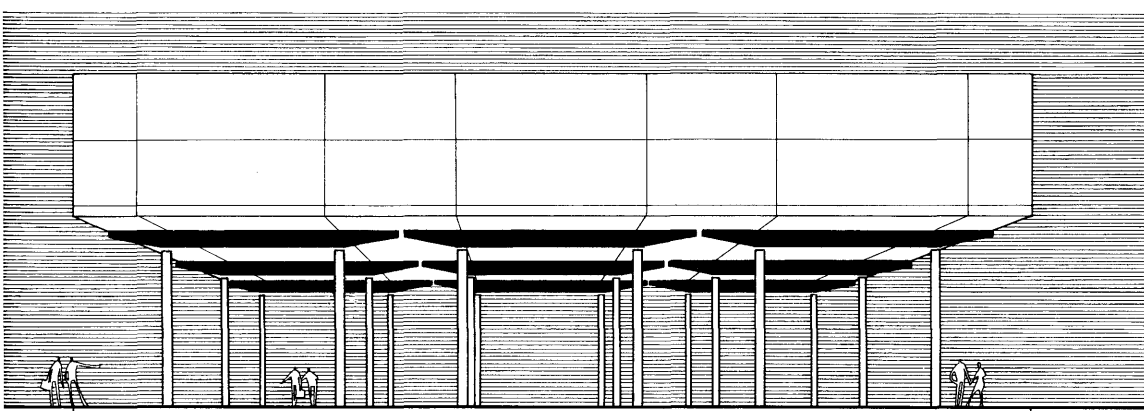
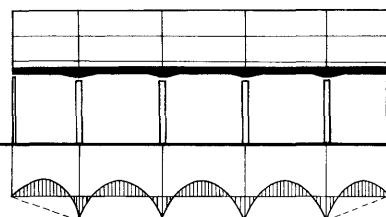


incremento del canto de la viga sobre los apoyos

aumento da altura da viga sobre suportes

Viga continua con reducción de la luz en los vanos de los extremos: Igualación de las tensiones máximas en todos los vanos

Viga continua com redução dos vãos extremos. Esforços máximos uniformemente distribuídos em todos os vãos

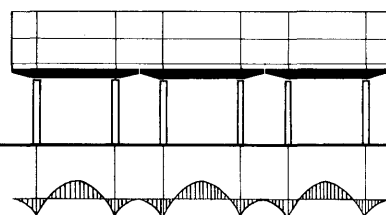


reducción del canto de las vigas en los extremos

redução da altura da viga em direção às extremidades

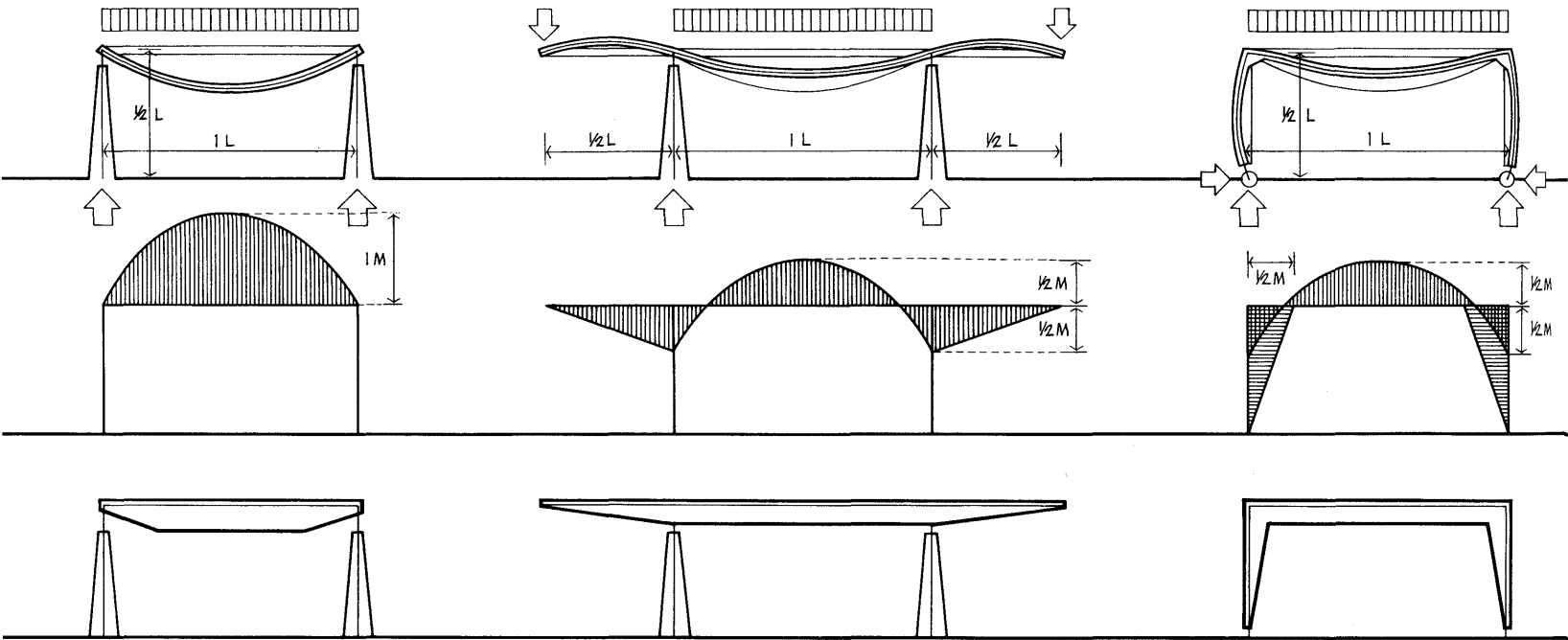
Tres vigas discontinuas con voladizos en los extremos: Distribución de tensiones idéntica en cada vano

Três vigas descontinuas com extremos em balanço. Distribuição uniforme dos esforços para cada vão



Mecanismo de pórtico y su relación con la viga con voladizos

Mecanismo de pórtico e sua relação com a viga com balanços

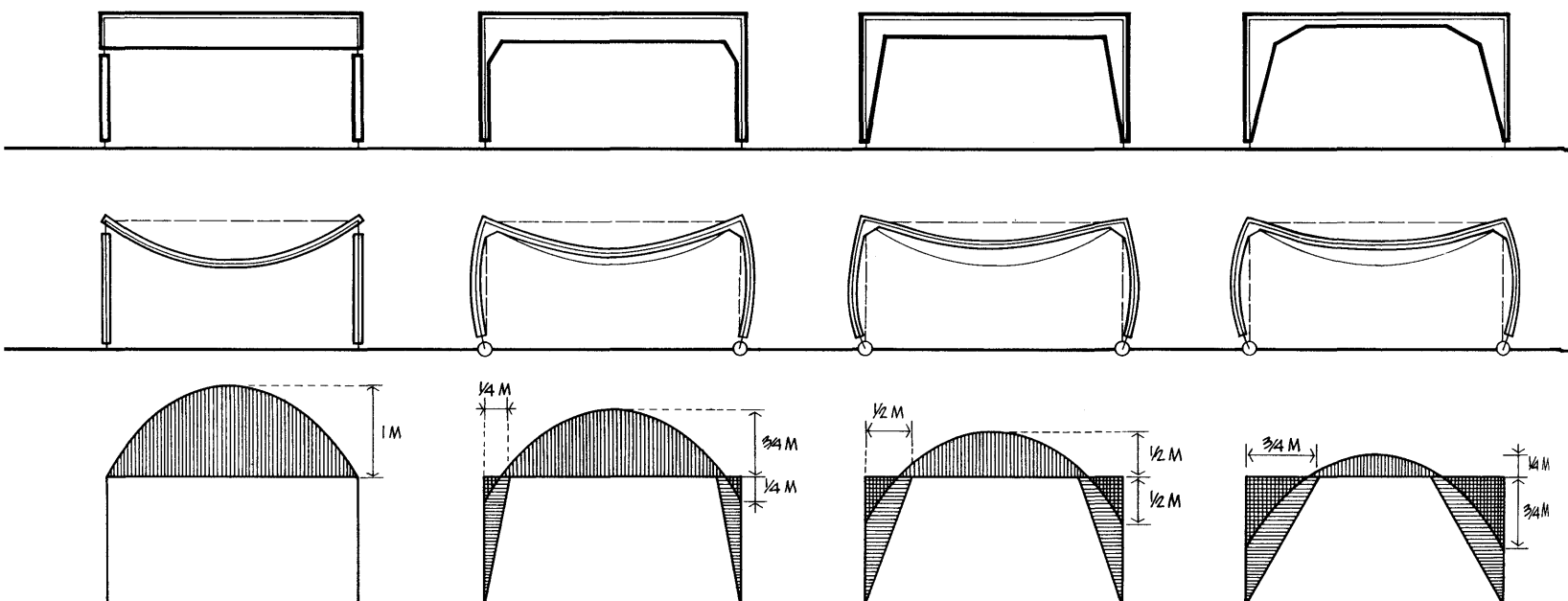


Las reacciones horizontales en los puntos de apoyo del pórtico limitan el giro en las esquinas y reducen la deformación por flexión de la viga del pórtico de la misma manera que lo hace una carga puntual en los extremos de una viga con voladizos.

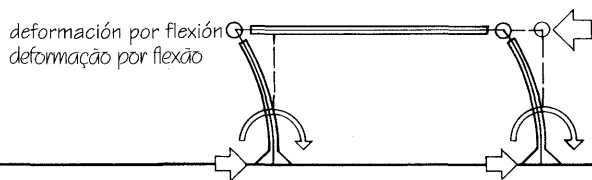
As reações horizontais nas bases do pórtico obstruem a rotação dos cantos deste e reduzem a deflexão da viga, do mesmo modo que ocorre com cargas pontuais nas extremidades de uma viga com balanços.

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

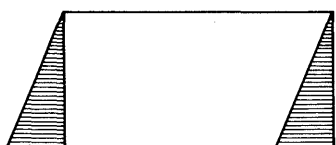
Relación entre viga, pórtico biarticulado y pórtico triarticulado



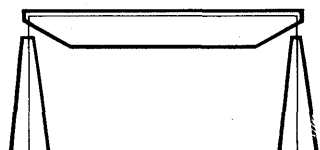
## Mecanismo resistente frente a cargas laterales



tensiones de flexión  
esforços de flexão

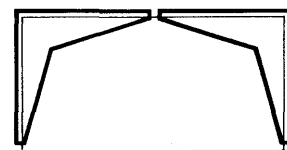
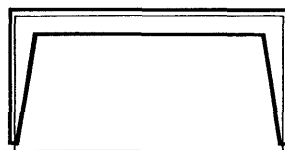
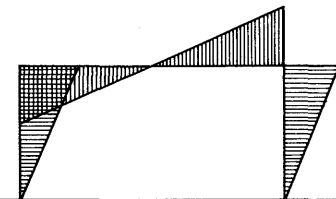
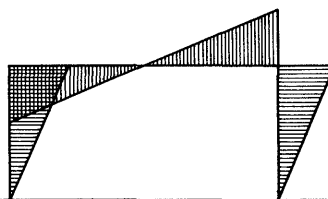
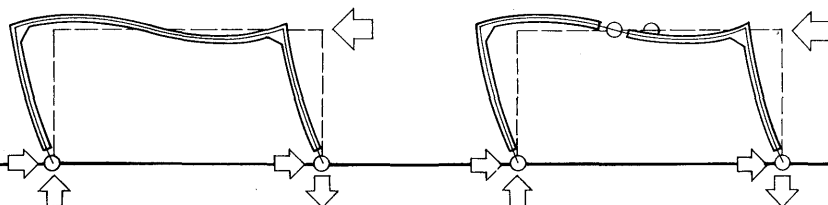


forma de la estructura  
forma estrutural



Al contrario que en el caso de una viga simple, que necesita una rigidización adicional de los soportes para absorber el momento de giro, en el pórtico articulado la propia deformación origina reacciones verticales en los apoyos que provocan un giro de sentido opuesto.

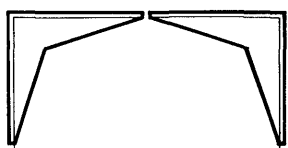
## Mecanismo de resistência às forças laterais



Ao contrário da viga simples, que requer enrijecimento adicional dos suportes para receber o momento de rotação, no pórtico rígido, por causa de sua própria deflexão, originam-se reações verticais que produzem uma rotação inversa.

## Influência da rigidez do pórtico na distribuição dos esforços e na forma da estrutura

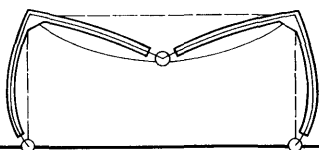
Relações entre viga, pórtico biarticulado e pórtico triarticulado



rigidez del pórtico

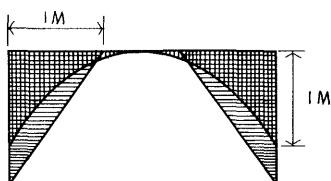
rigidez do pórtico

Debido a la continuidad de las esquinas del pórtico, la deformación de la viga puede reducirse mediante el grado de rigidez de los pilares. Esto revierte sobre el control del grado de deformación y, en consecuencia, sobre la forma de la estructura.



deformación por flexión

deformação por flexão



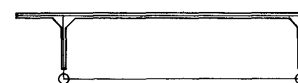
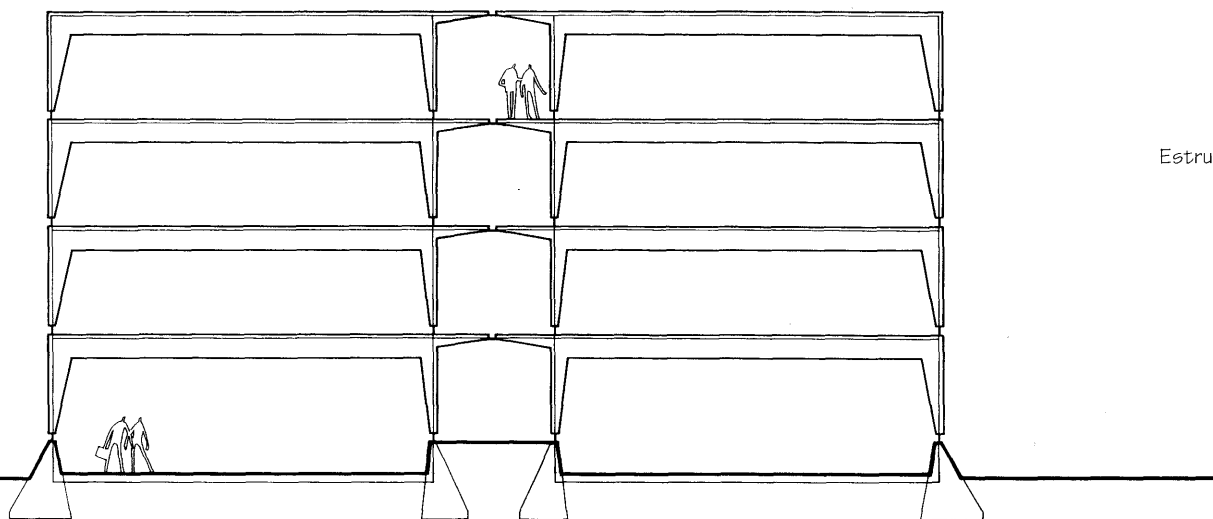
tensiones de flexión

esforços de flexão

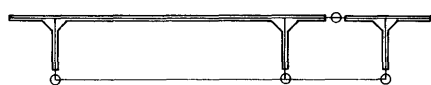
Por causa da continuidade nos cantos do pórtico, a deflexão da viga pode ser reduzida de acordo com o grau de rigidez da coluna. Isso leva ao controle sobre o grau de deflexão e, conseqüentemente, sobre a forma da estrutura.

Estructuras horizontales y verticales compuestas  
de pórticos articulados

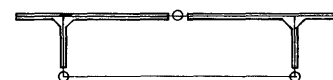
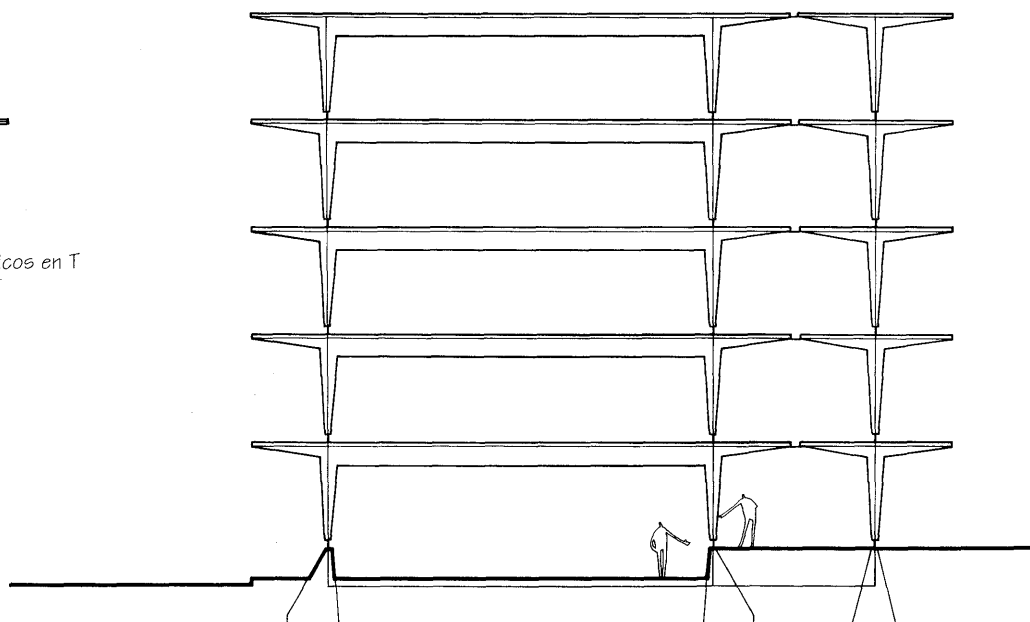
Sistemas estruturais horizontais e verticais compostos  
de pórticos articulados



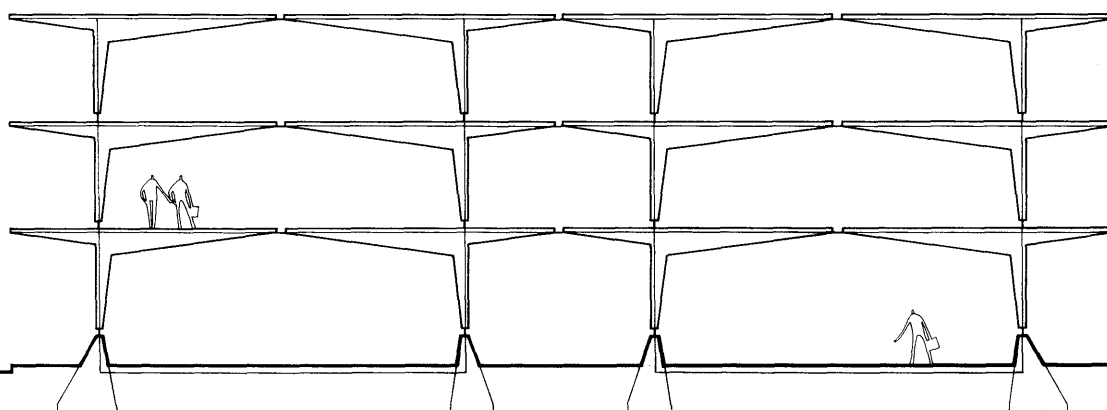
Estructura de pórticos biarticulados  
Sistema de pórticos biarticulados



Estructura de pórticos biarticulados y pórticos en T  
Sistema de pórticos biarticulados e pórticos em T



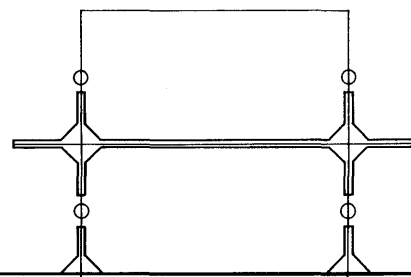
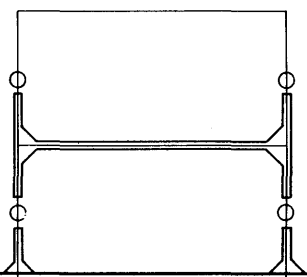
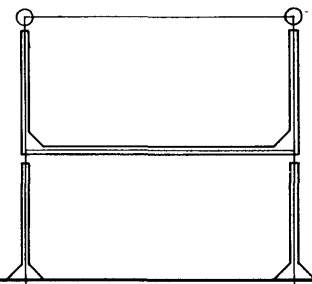
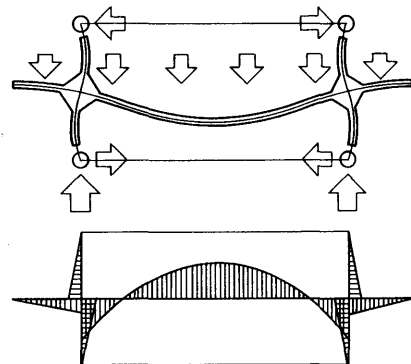
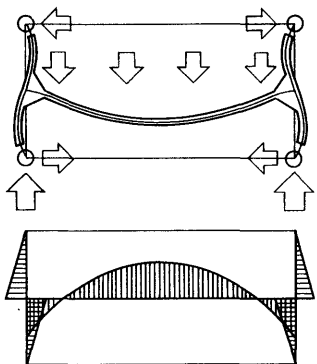
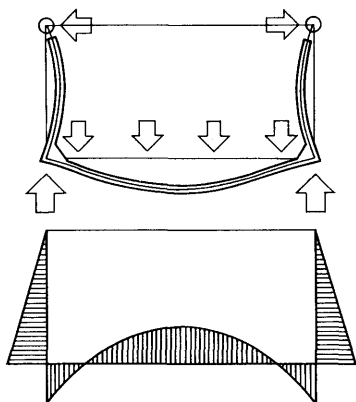
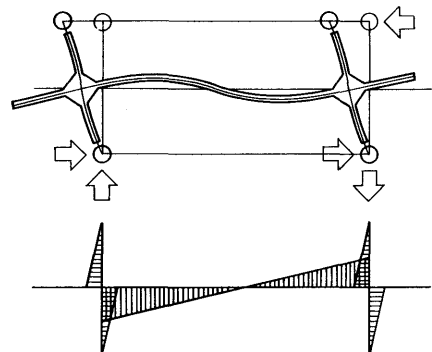
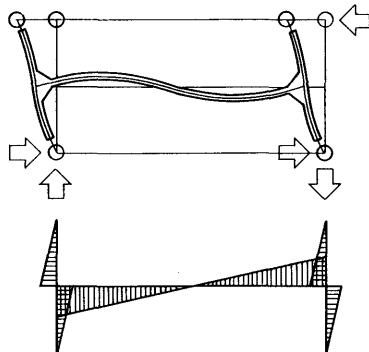
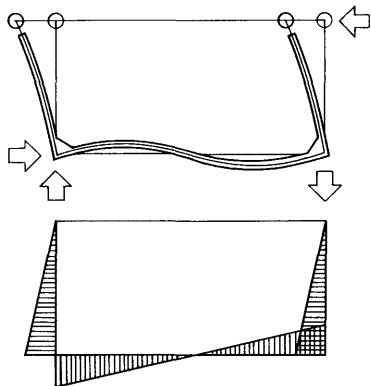
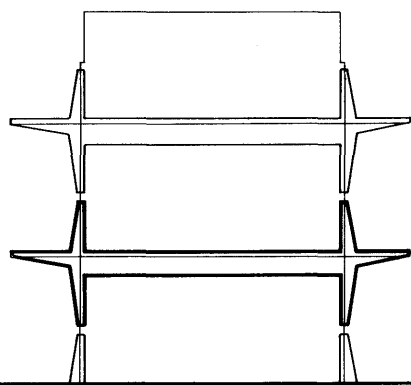
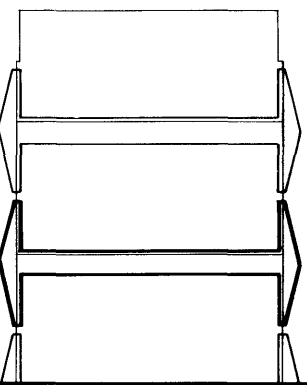
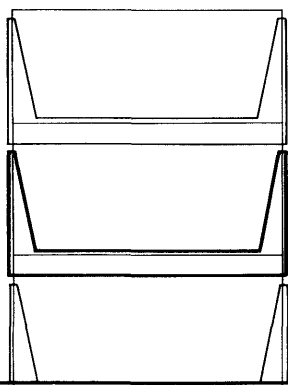
Estructura de pórticos triarticulados  
Sistema de pórticos triarticulados





## Mecanismo de pórtico biarticulado invertido y doblado

## Mecanismo de pórtico biarticulado invertido e dobrado

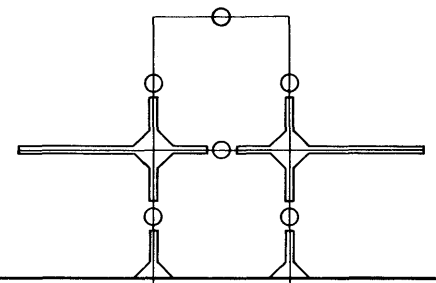
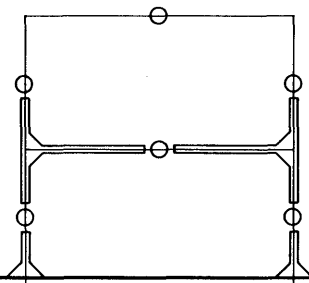
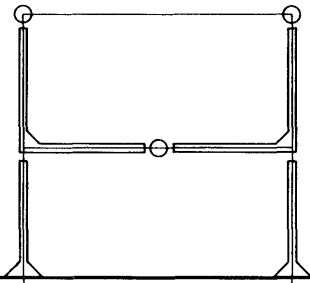
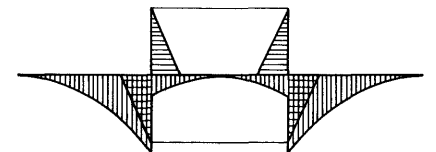
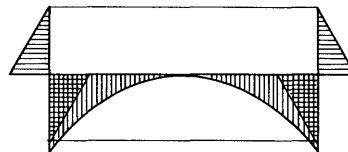
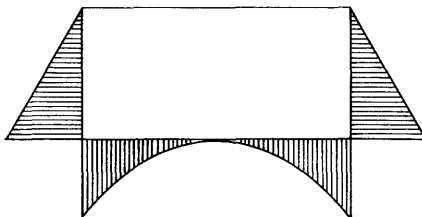
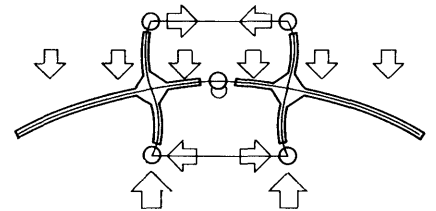
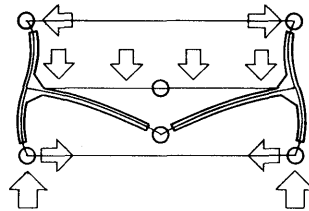
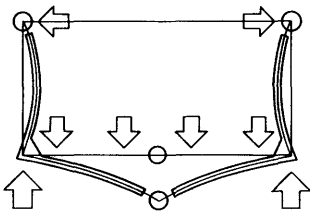
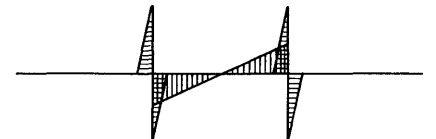
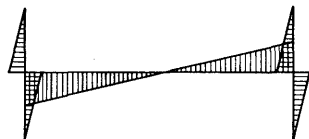
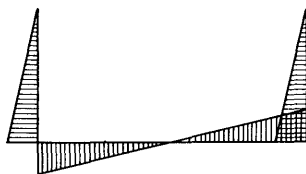
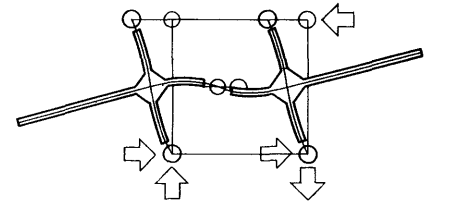
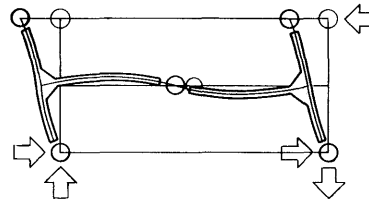
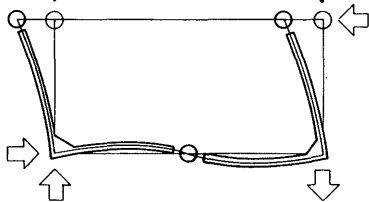
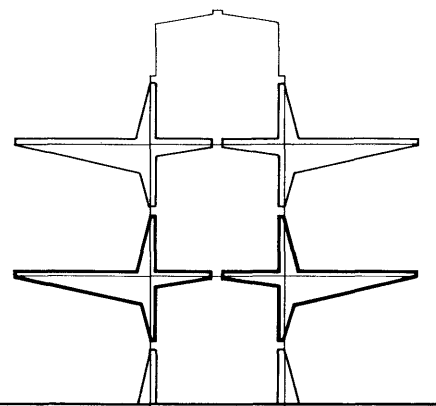
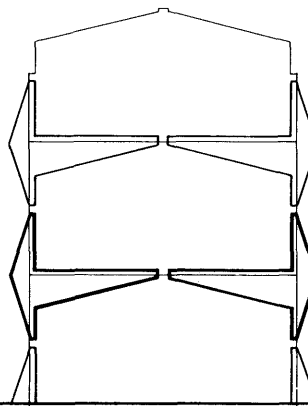
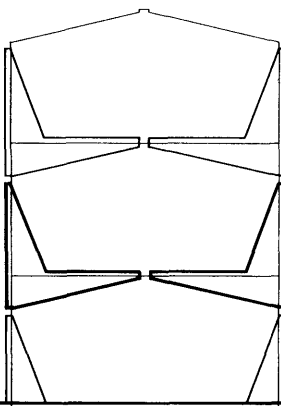
sistema estructural  
sistema estruturalbajo carga vertical  
sob carga verticalbajo carga horizontal  
sob carga horizontalforma típica de la  
estructura  
forma típica de estrutura

El mecanismo típico del pórtico biarticulado sigue siendo igual de eficaz después de invertirlo o doblarlo

O mecanismo portante típico do pórtico biarticulado funciona com eficiência igual, mesmo após a inversão ou duplicação daquele

Mecanismo de pórtico triarticulado invertido y doblado

Mecanismo de pórtico triarticulado invertido e dobrado

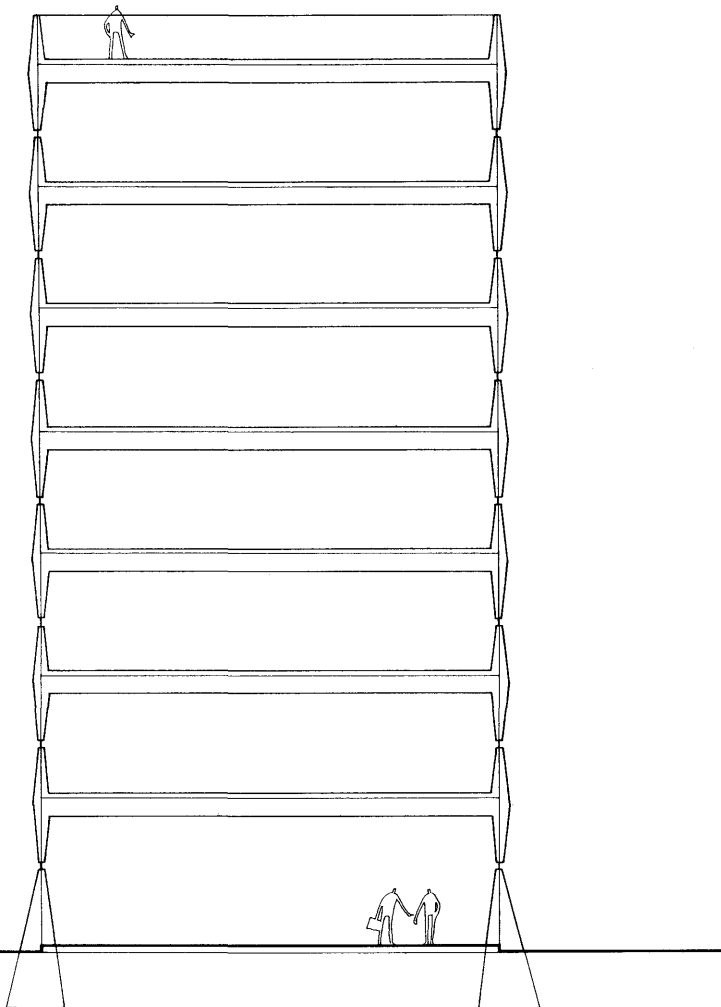
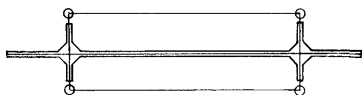
sistema estructural  
sistema estruturalbajo carga vertical  
sob carga verticalbajo carga horizontal  
sob carga horizontalforma típica de la  
estructura  
forma típica de estrutura

El mecanismo típico del pórtico triarticulado sigue siendo igual de eficaz después de invertirlo o doblarlo

O mecanismo portante típico do pórtico triarticulado funciona com eficiência igual, mesmo após a inversão ou duplicação daquele

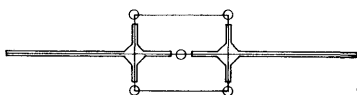
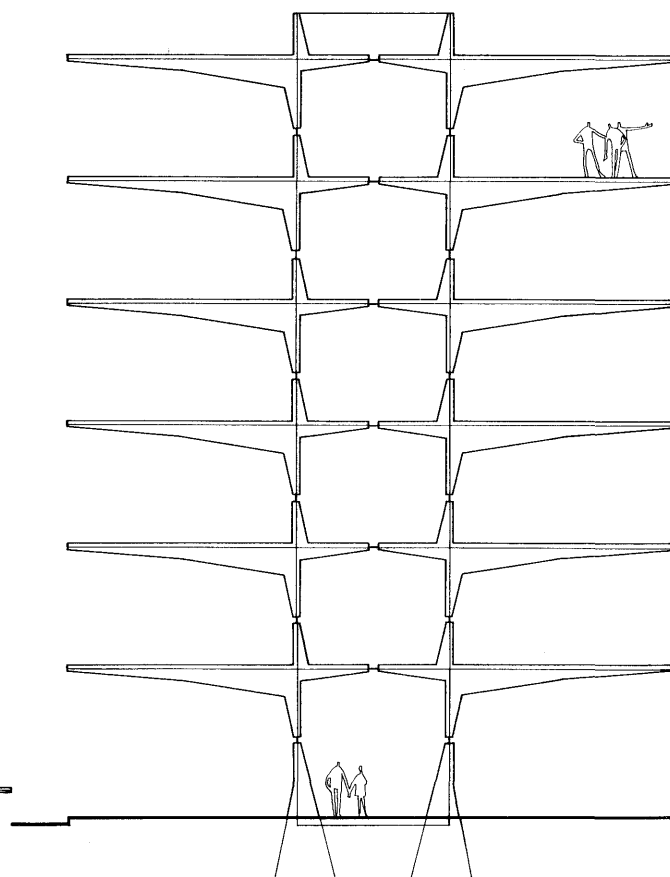
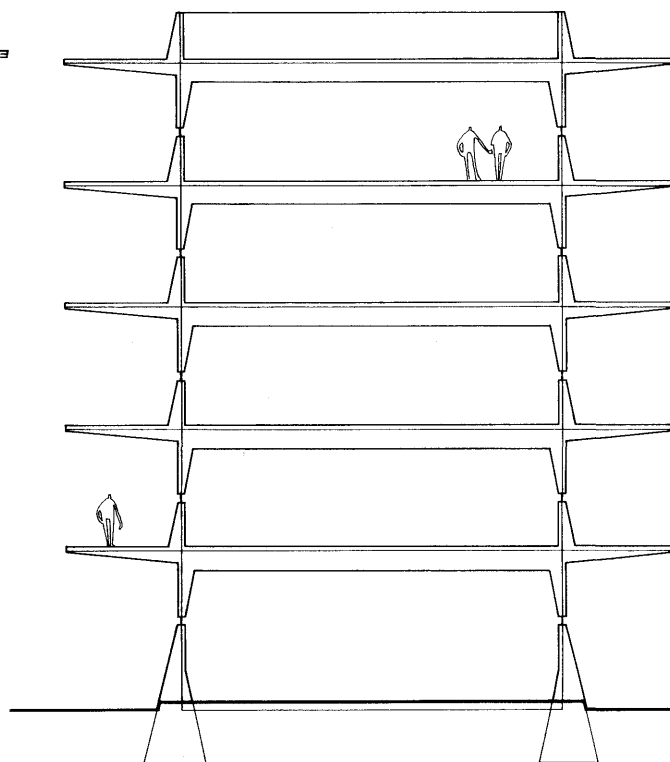
Estructuras verticales de pórticos  
con pilares doblados

Sistema de pórticos biarticulados con voladizos  
Sistema de pórticos biarticulados com balanços

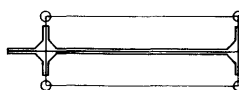
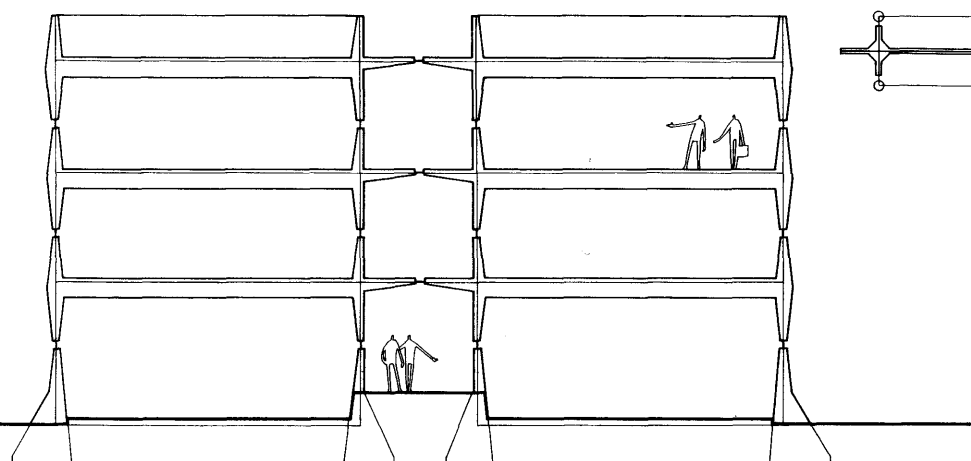


Sistema de pórticos biarticulados  
Sistema de pórticos biarticulados

Sistema de pórticos triarticulados con  
grandes voladizos  
Sistema de pórticos triarticulados com  
balanços

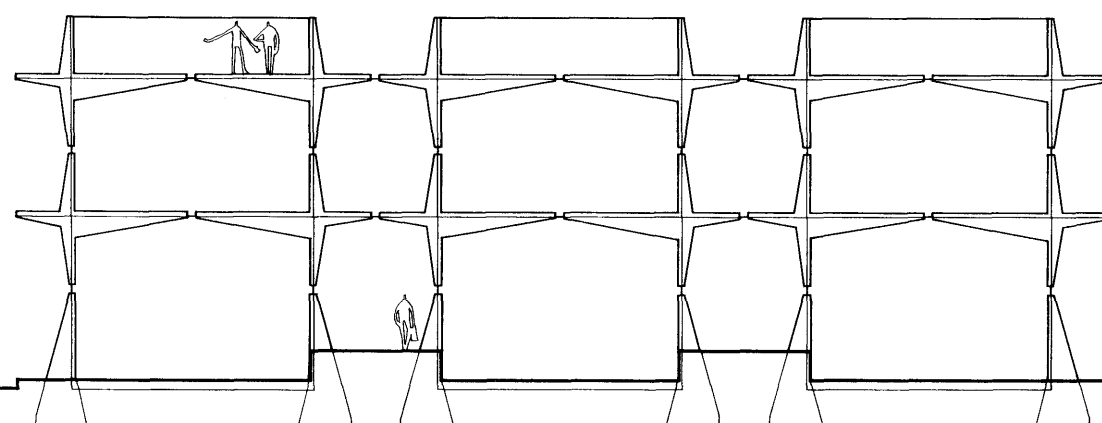
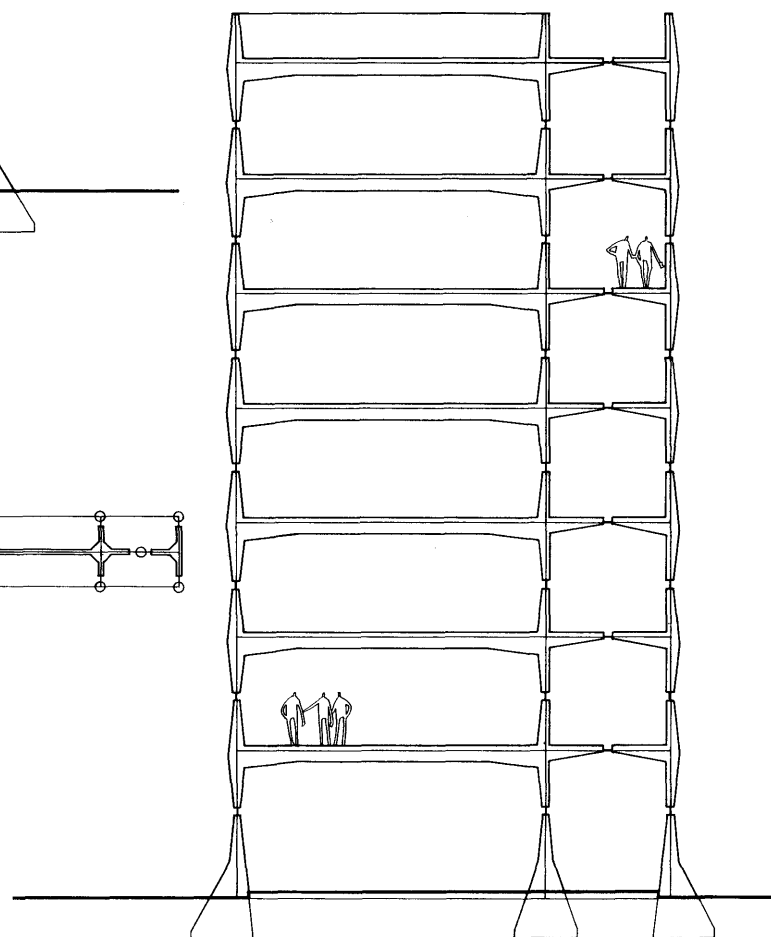
Sistemas estruturais verticais compostos de pórticos  
com colunas duplas

Estructuras de pórticos articulados  
con pilares doblados

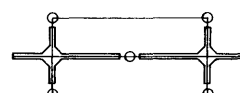


Sistema de pórticos biarticulados  
con un voladizo  
Sistema de pórticos biarticulados  
con un balanço

Sistema de pórticos biarticulados y semipórticos  
Sistema composto de pórticos biarticulados e semipórticos

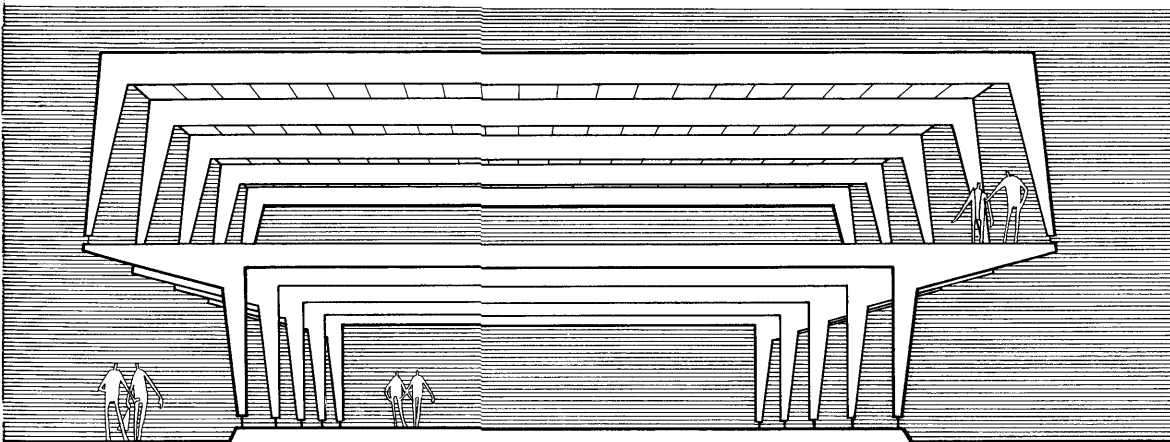


Sistema de pórticos triarticulados con  
voladizos  
Sistema de pórticos triarticulados con balanços

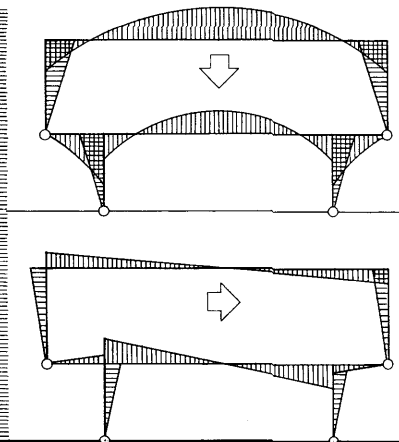


Posibilidades formales de las estructuras  
de pórticos articulados

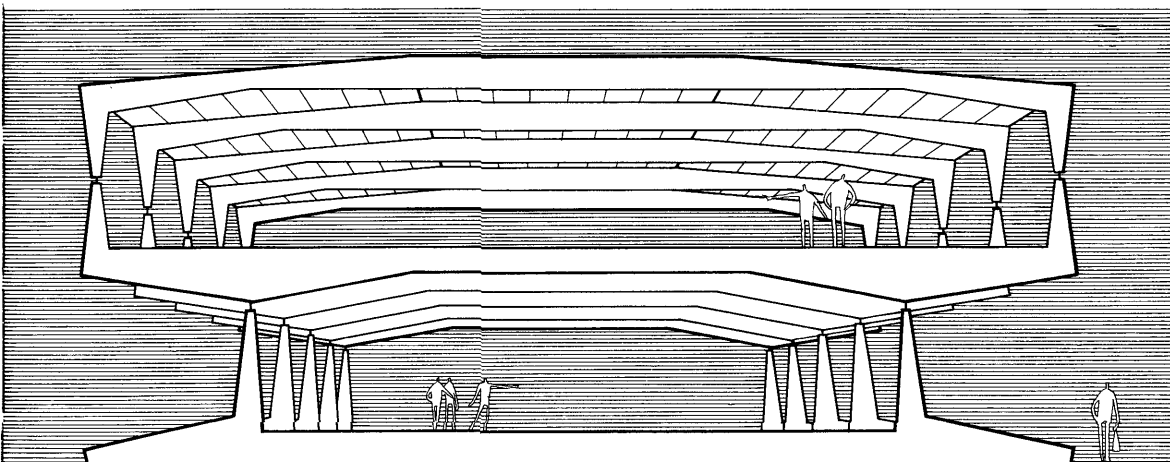
Possibilidades de projeto com sistemas  
de pórtico articulados



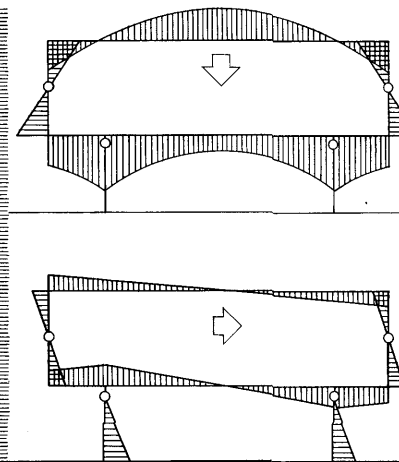
Pórtico biarticulado apoyado sobre los voladizos  
de otro pórtico biarticulado



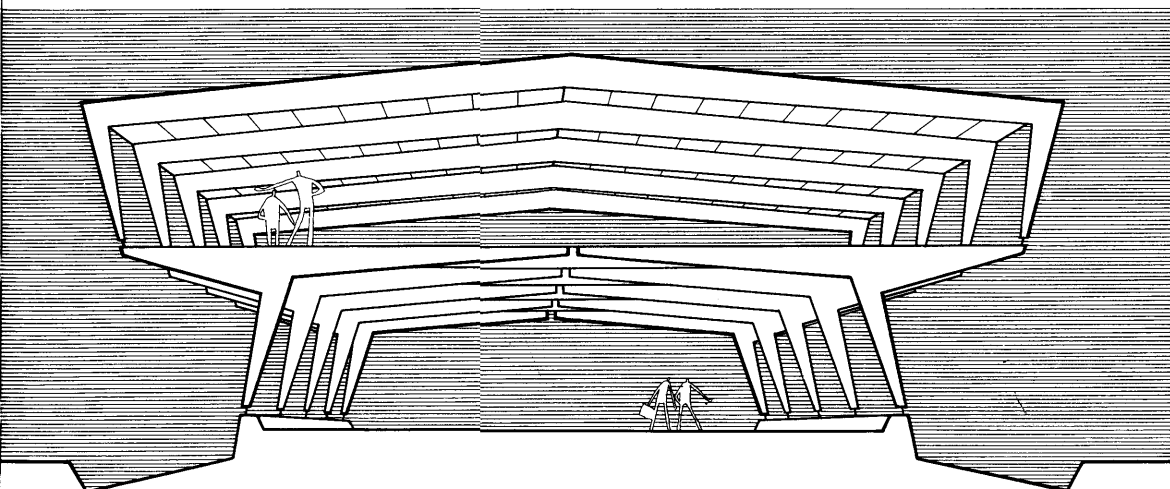
Pórtico biarticulado disposto sobre balanços  
de outro pórtico biarticulado



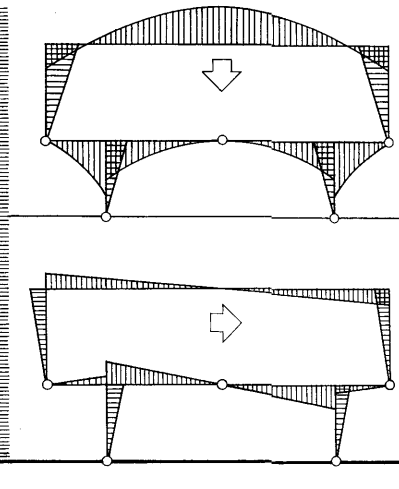
Pórtico biarticulado apoyado sobre un pórtico biarticulado  
invertido sobre pilares



Pórtico biarticulado disposto sobre outro  
pórtico biarticulado invertido sobre os suportes



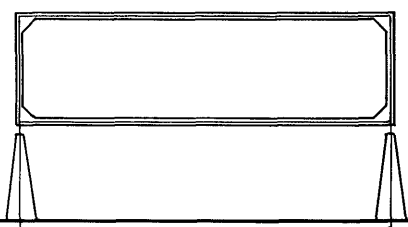
Pórtico biarticulado apoyado sobre los voladizos de un pórtico triarticulado



Pórtico biarticulado disposto sobre balanços um outro pórtico triarticulado

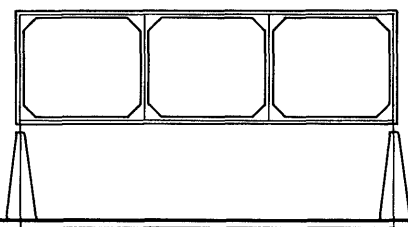
## Mecanismo del pórtico de uno y varios vanos

## Mecanismo de pórtico fechado de um e vários vãos



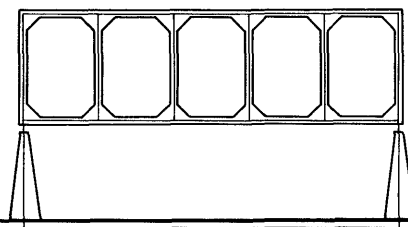
Pórtico de un vano

Pórtico de um vão



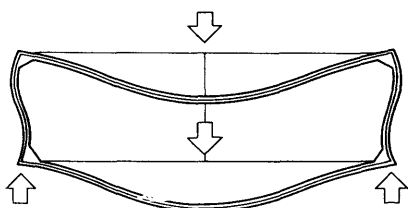
Pórtico de tres vanos

Pórtico de três vãos

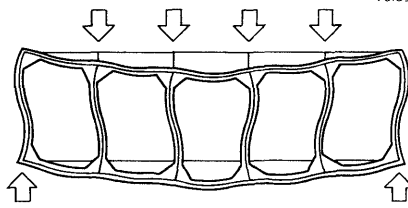
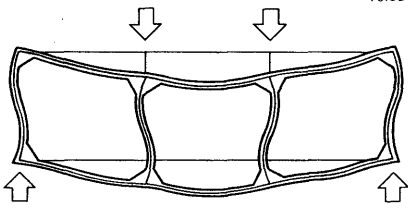


Pórtico de cinco vanos

Pórtico de cinco vãos



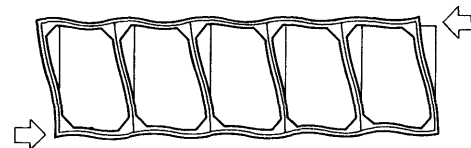
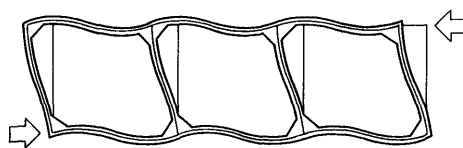
Deformación bajo carga vertical



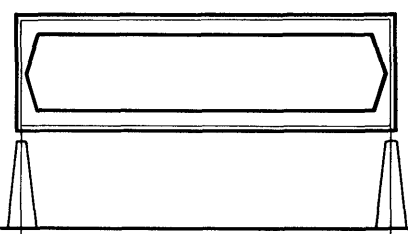
Curva de deflexão baixo carga vertical



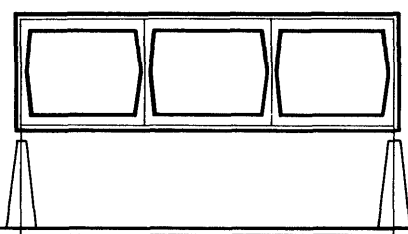
Deformación bajo carga horizontal



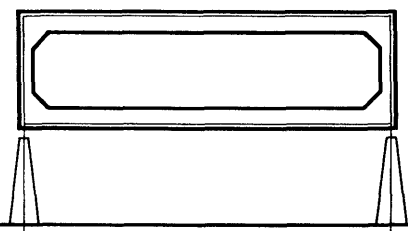
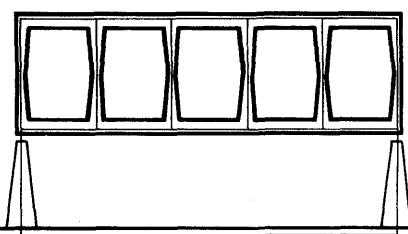
Curva de deflexão baixo carga horizontal



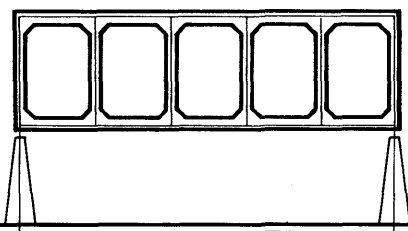
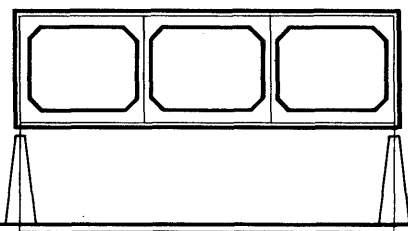
Forma estructural con acentuación del punto de menor flexión



Forma estructural enfatizando o lugar de mínimos esforços de flexão



Forma estructural con acentuación de la rigidización en las esquinas



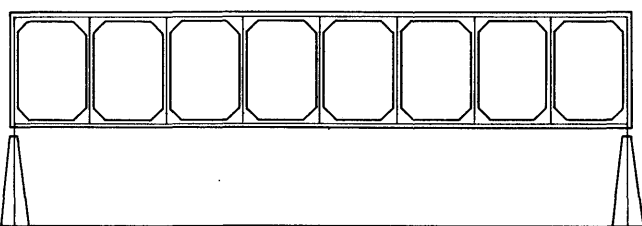
Forma estructural enfatizando o enrijecimento dos cantos

A causa de la deformación de las vigas, los extremos de los pilares giran en sentido contrario hacia arriba y hacia abajo. Con ello, el pilar absorbe el giro y se reduce la deformación por flexión. La eficacia aumenta cuanto mayor sea el número de pilares (vanos).

Em virtude da curvatura por deflexão, as extremidades das colunas girarão a extremidade superior em direção à extremidade inferior. Essa rotação será suportada pelas colunas, impedindo a deflexão. A eficiência aumenta com o número de colunas (vãos).

Relación entre reparto de vanos y el mecanismo del pórtico de varios vanos

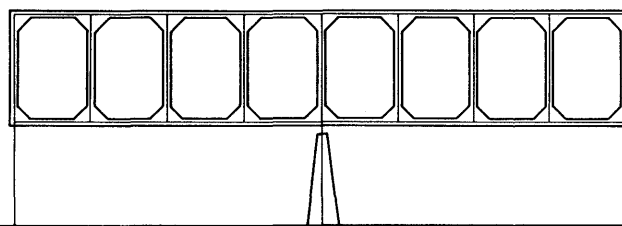
Relação entre o projeto dos vãos e o mecanismo do pórtico de vários vãos



sistema estructural  
sistema estrutural

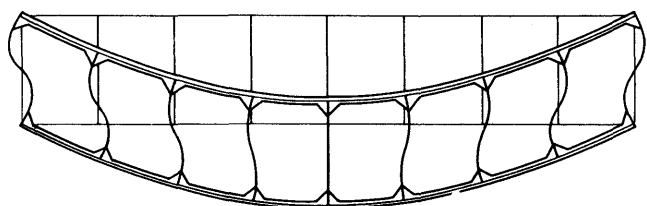
Pórtico de varios vanos  
sobre dos pilares

Pórtico de vários vãos  
apoiado nas extremidades



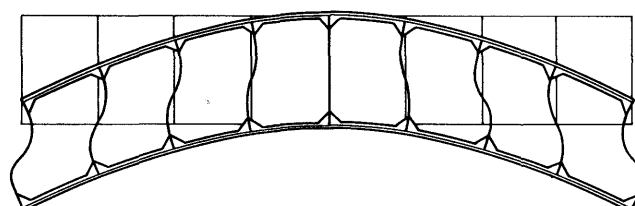
Pórtico de varios vanos  
sobre un pilar

Pórtico de vários vãos  
sobre apoio central

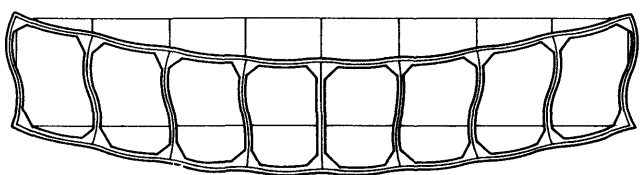


deformación  
deflexão

estructura con pilares sin rigidez a flexión

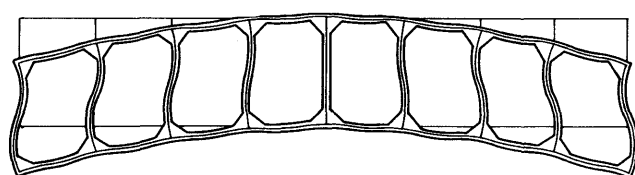


sistema com colunas sem resistência à flexão

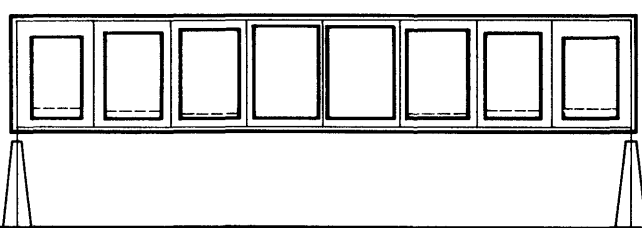


deformación  
deflexão

estructura con pilares resistentes a flexión

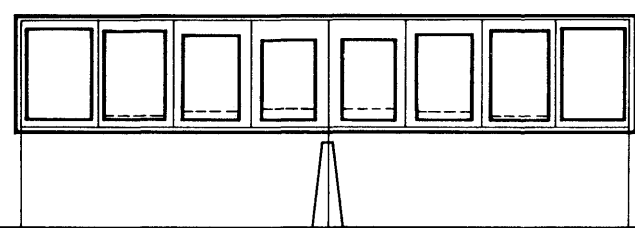


sistema com colunas resistentes à flexão

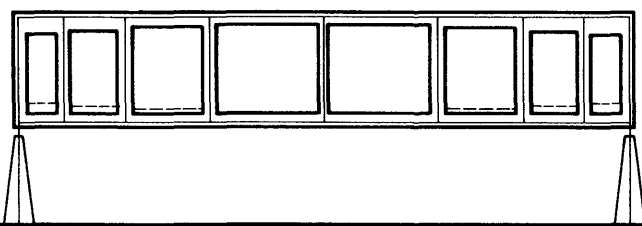


forma típica de la  
estructura  
forma estrutural típica

Ensanchamiento de los montantes hacia los apoyos en un pórtico de vanos de igual luz

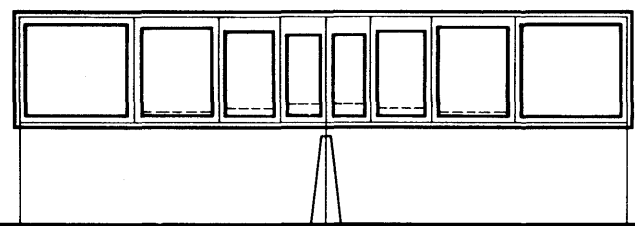


Aumento da seção da coluna em direção aos apoios, com espaçamento regular entre colunas



forma típica de la  
estructura  
forma estrutural típica

Reducción de la luz de los vanos más cercanos a los apoyos, manteniendo los montantes constantes



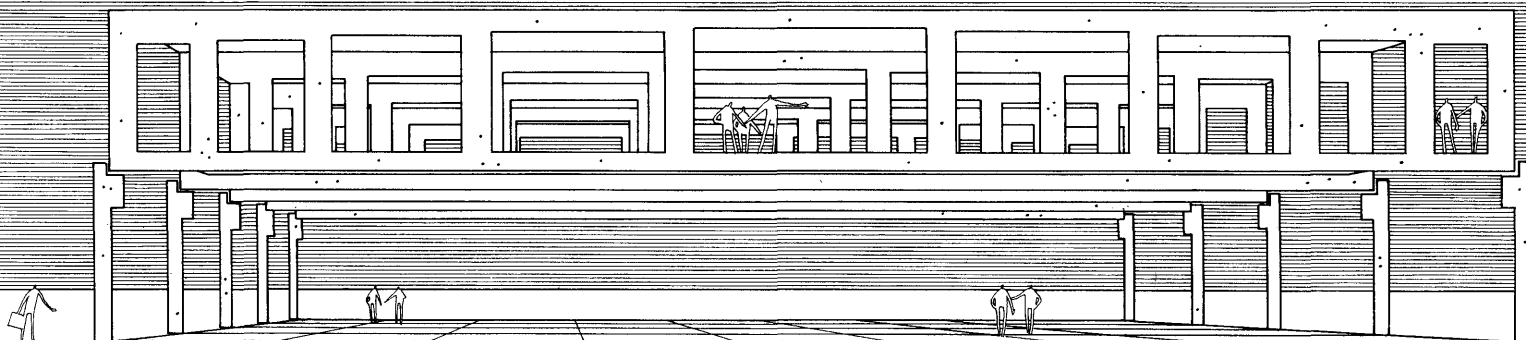
Redução da largura dos vãos mais próximos aos apoios, com colunas de mesma seção

De acuerdo con la distribución de los esfuerzos cortantes en una viga, la sollicitación a flexión en los montantes es muy desigual. La diferencia puede evitarse disminuyendo la luz de los vanos hacia los apoyos o ampliando la anchura de los montantes.

De acordo com a distribuição de esforço cortante em uma viga, as colunas submetem-se a graus de flexão muito variados. Essa variação pode ser suprimida pela redução da largura do vão na direção dos apoios, ou pelo aumento da seção da coluna.

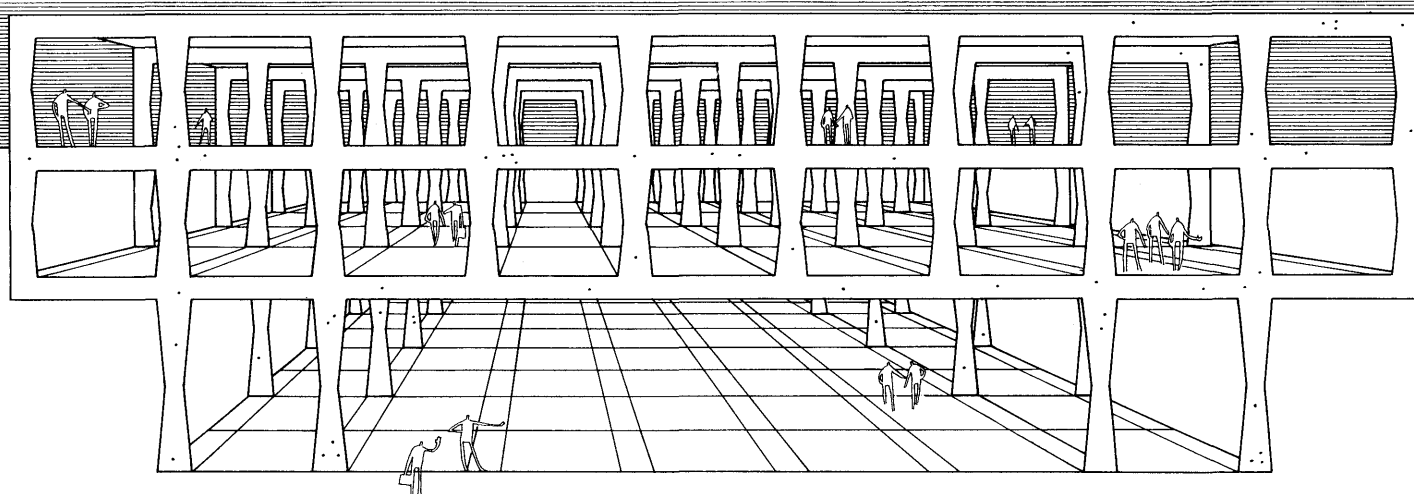
Estructuras de grandes luces con pórticos de varios vanos

Sistemas estruturais de longos vãos compostos de pórticos de vários vãos



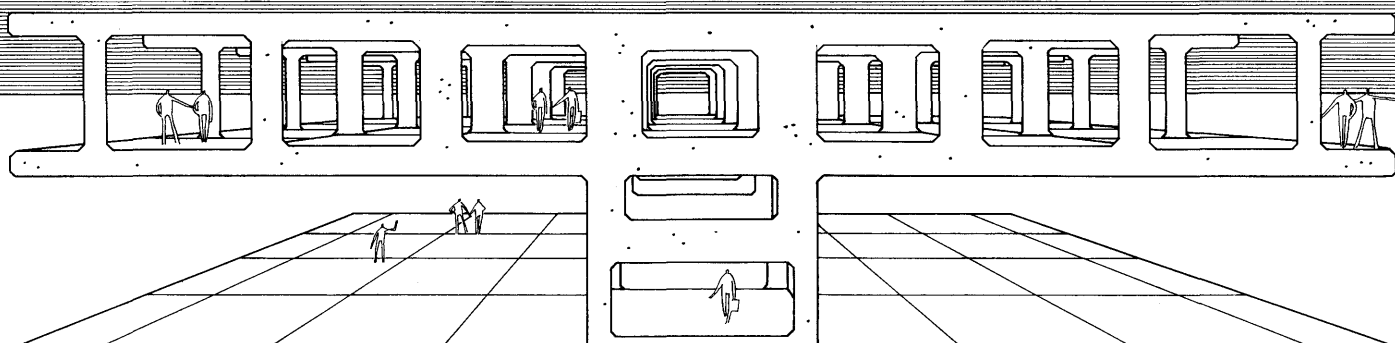
Pórtico de varios vanos de una planta apoyado en los extremos

Pórtico de vários vãos com um só pavimento, apoiada em ambas as extremidades



Pórtico de varios vanos de dos plantas y con voladizos en ambos extremos

Pórtico de vários vãos de dois pavimentos com balanços em ambas as extremidades



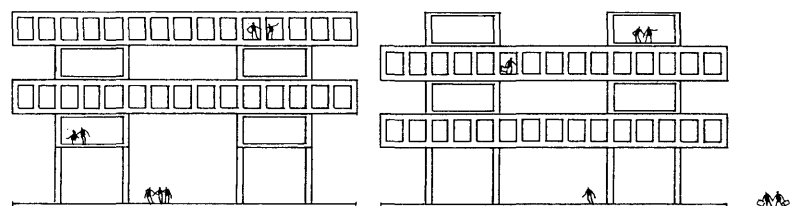
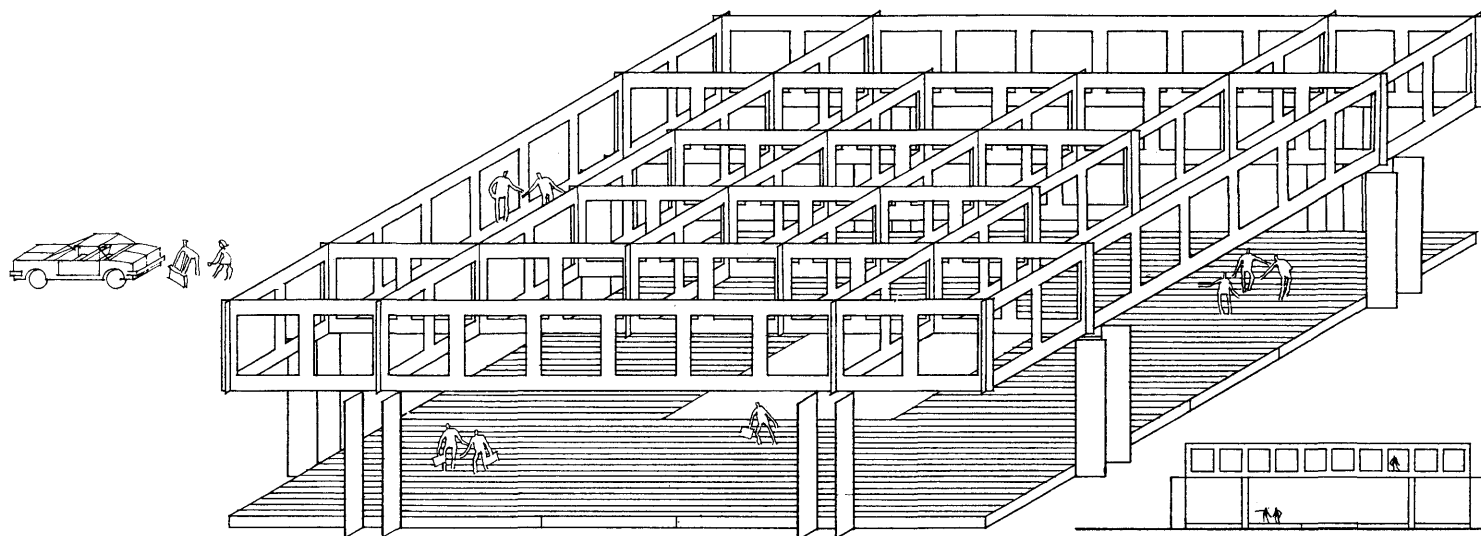
Pórtico de varios vanos de una planta y apoyado sobre pilar central

Pórtico de vários vãos de um só pavimento sobre apoios centrais

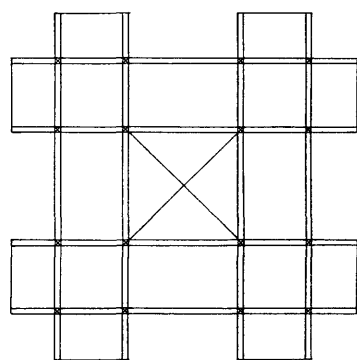
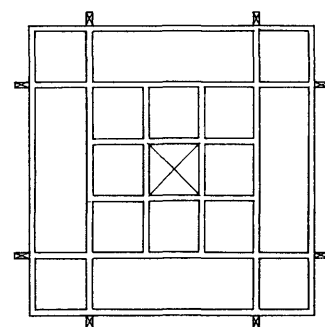


Estructuras biaxiales de pórticos  
de una planta y varios vanos

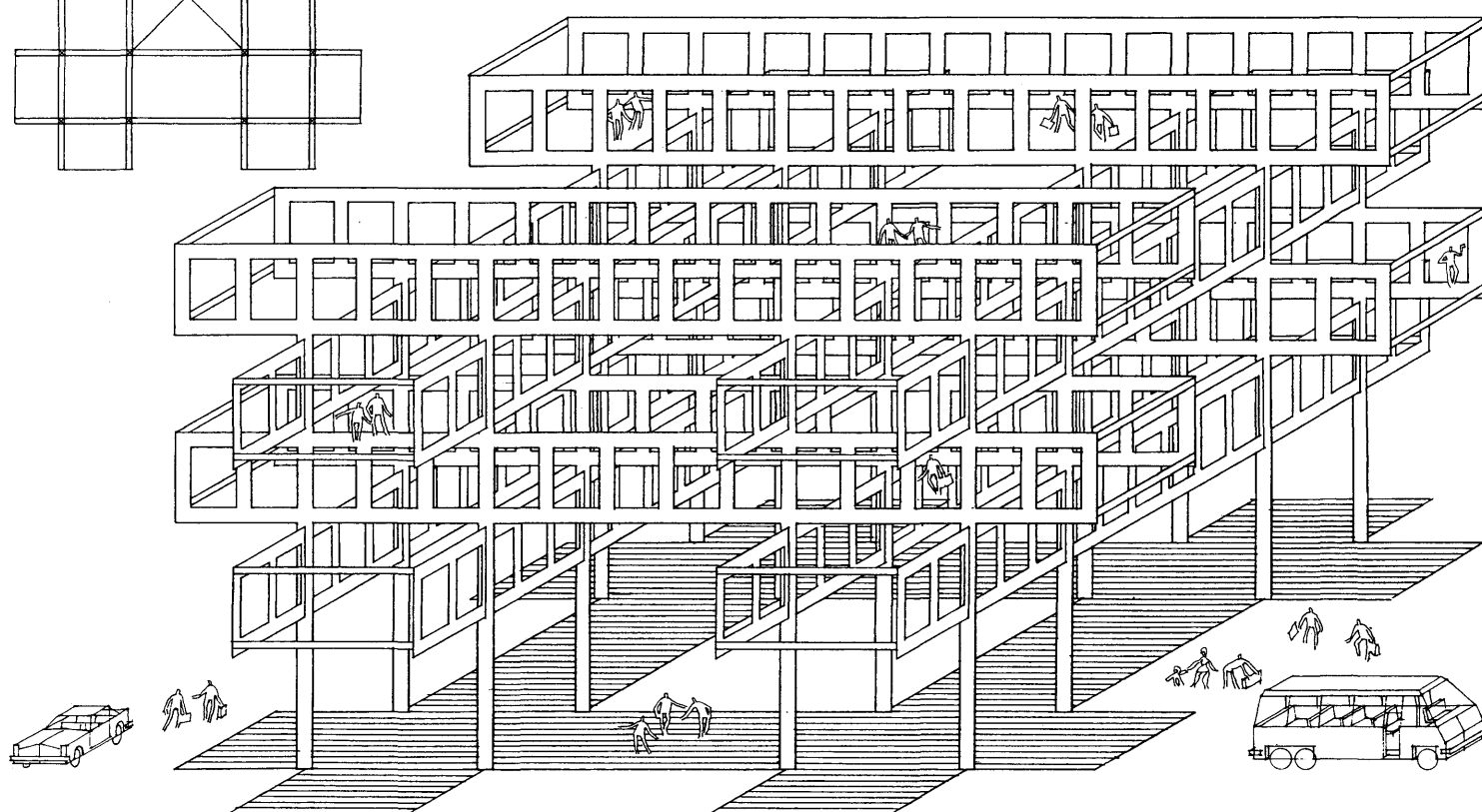
Sistemas biaxiais de pórticos  
de vários vãos



Retícula concêntrica de pórticos  
de varios vanos  
Malha concêntrica de pórticos  
de vários vãos

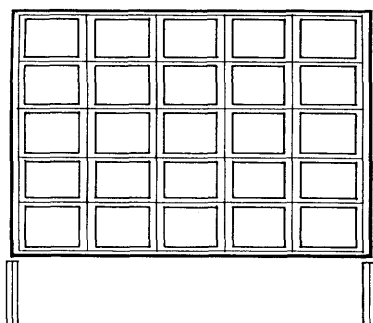


Entramado cruzado de pórticos de varios vanos  
Sobreposição em duas direções de pórticos de vários vãos



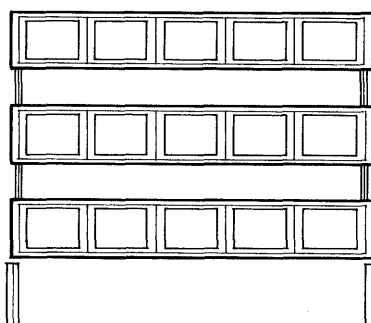
Estructuras de varias plantas con pórticos de varios vanos

Estructuras de vários pavimentos compostos de pórticos fechados de múltiplos vãos



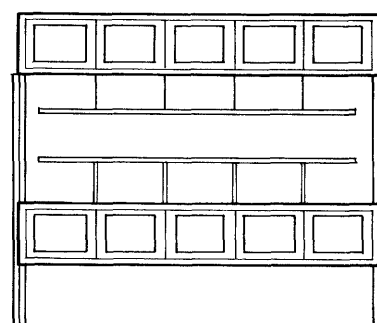
Estructura de varias plantas en todos los pisos

Estrutura de vários pavimentos em todos os níveis



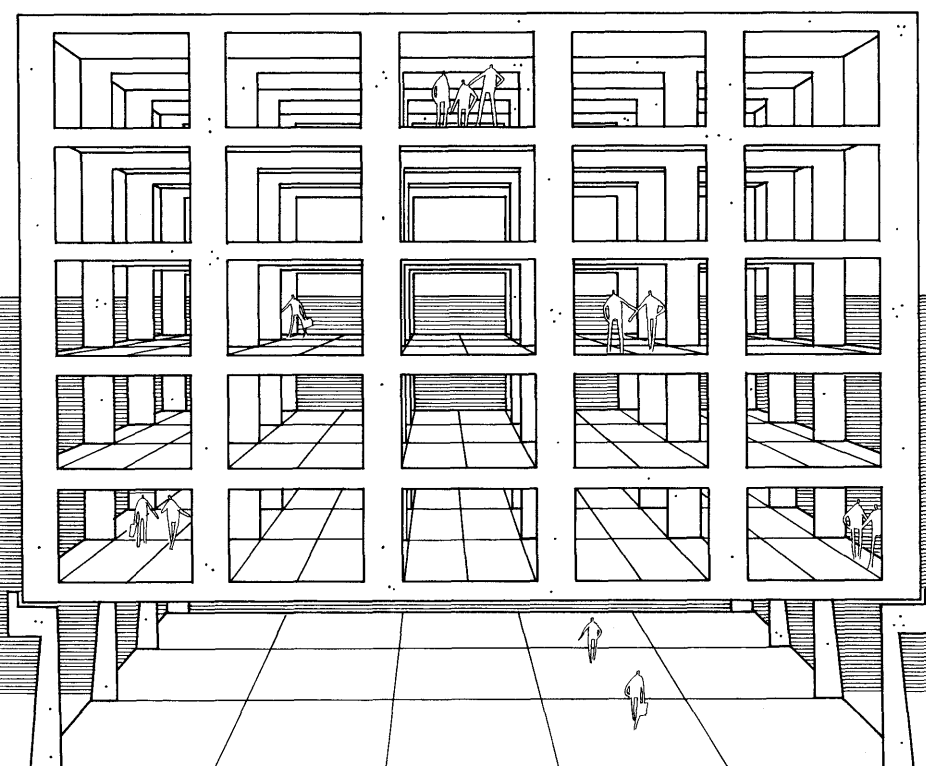
Estructura de una planta para cada dos pisos

Estrutura de um só pavimento suportando dois níveis

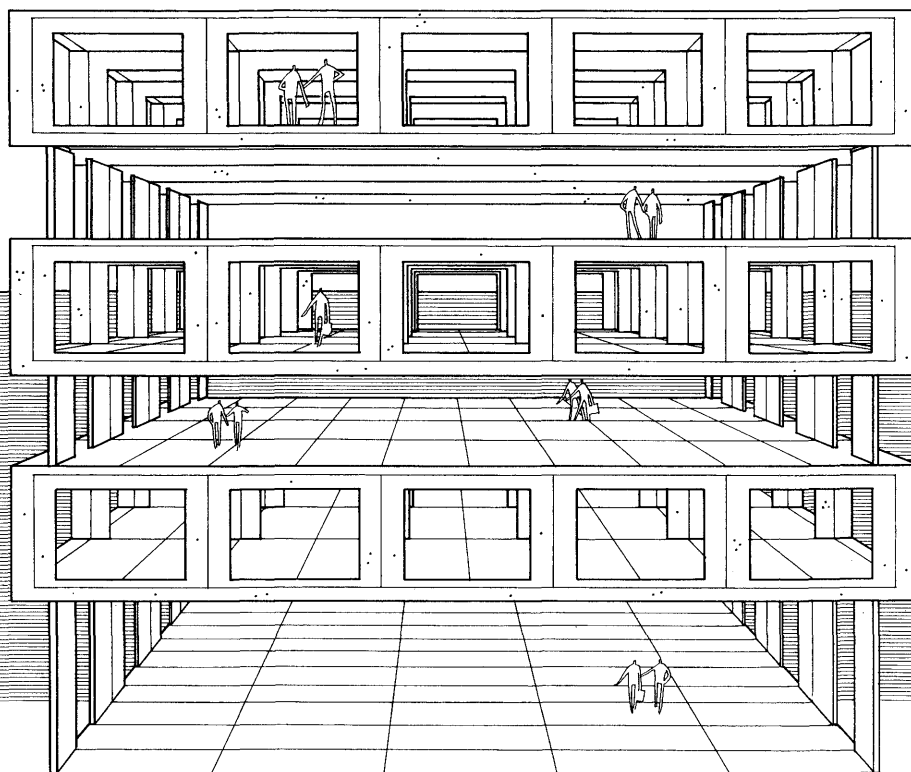


Estructura de una planta para cada tres pisos

Estrutura de um só pavimento suportando três níveis

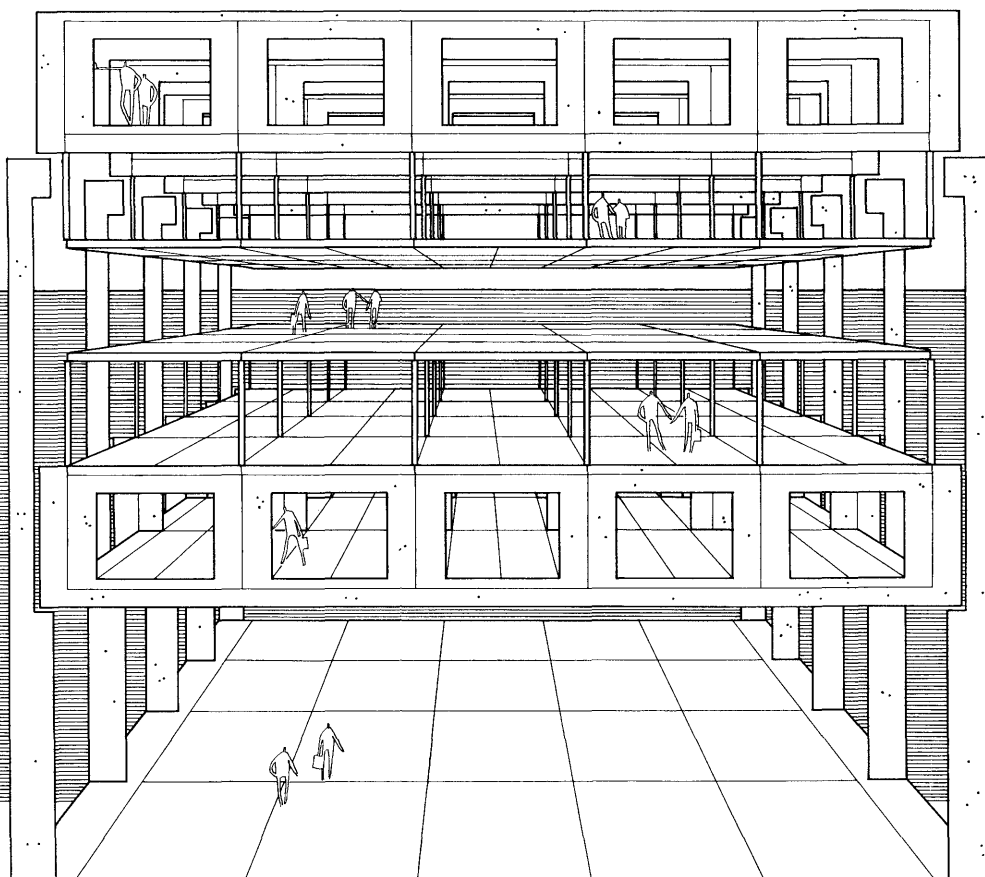


Pórtico de varios vanos continuo en todas las plantas  
Pórtico continuo de múltiplos vãos em todos os níveis



Pórtico de varios vanos y una planta como estructura para cada dos pisos

Pórtico de um só pavimento com múltiplos vãos como suporte para cada dois níveis

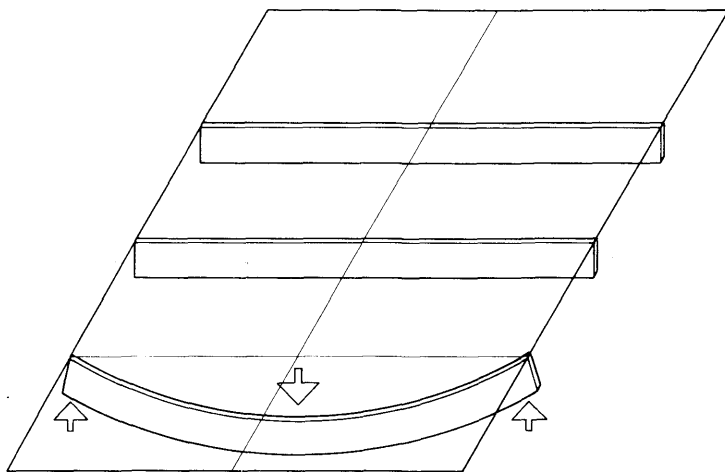


Pórtico de varios vanos y una planta como estructura para cada tres pisos

Pórtico de um só pavimento com múltiplos vãos como suporte para cada três níveis

### Relación entre vigas paralelas aisladas y una retícula de vigas

Transmisión biaxial de cargas

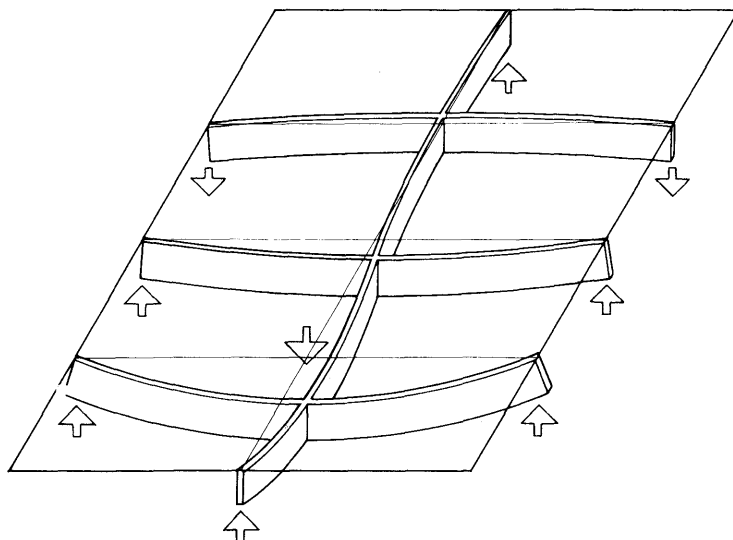


En las estructuras de vigas paralelas sólo se deforma la viga sometida a la carga puntual. Las demás vigas no participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

No sistema de viga paralela, apenas uma viga baixo a carga será defletida. As outras vigas paralelas não participam do mecanismo resistente à carga isolada.

### Relação entre vigas paralelas simples e malha de vigas

Carga dispersa biaxial

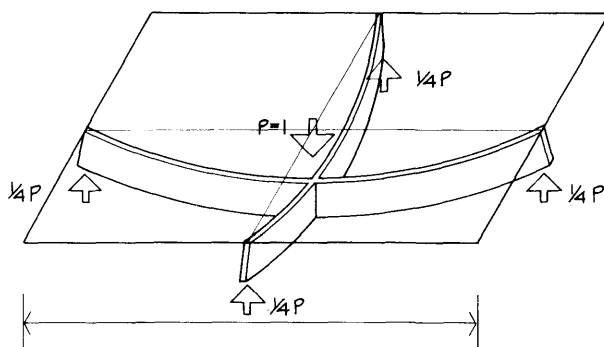


Insertando una viga transversal, perpendicularmente a las vigas paralelas, una parte de la carga se transmite a las demás vigas paralelas. Todos los elementos de la estructura participan en el mecanismo de resistencia frente a la carga puntual.

Através da inserção de uma viga transversal em ângulos retos com as vigas paralelas, uma parte da carga é transmitida às vigas indiretamente carregadas. Assim, todo o sistema participa do mecanismo de resistência à carga isolada.

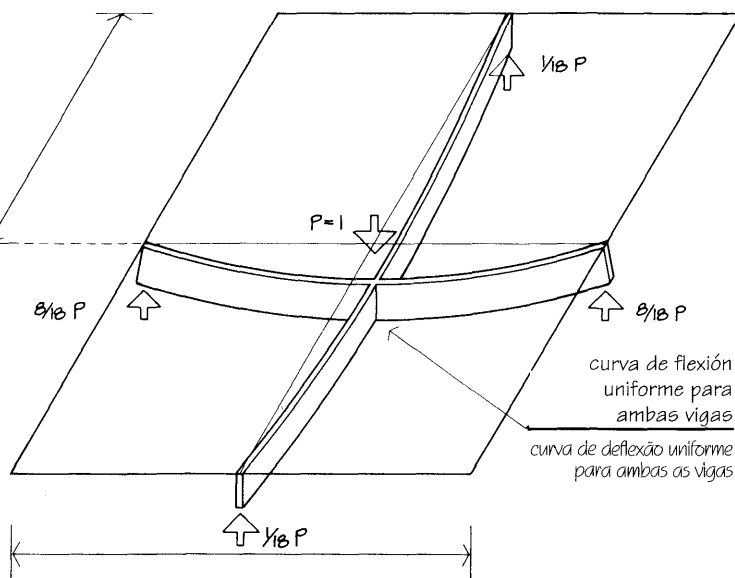
### Influencia de la longitud de las vigas en la transmisión biaxial de las cargas

Influência das dimensões laterais na grandeza da carga dispersa biaxial



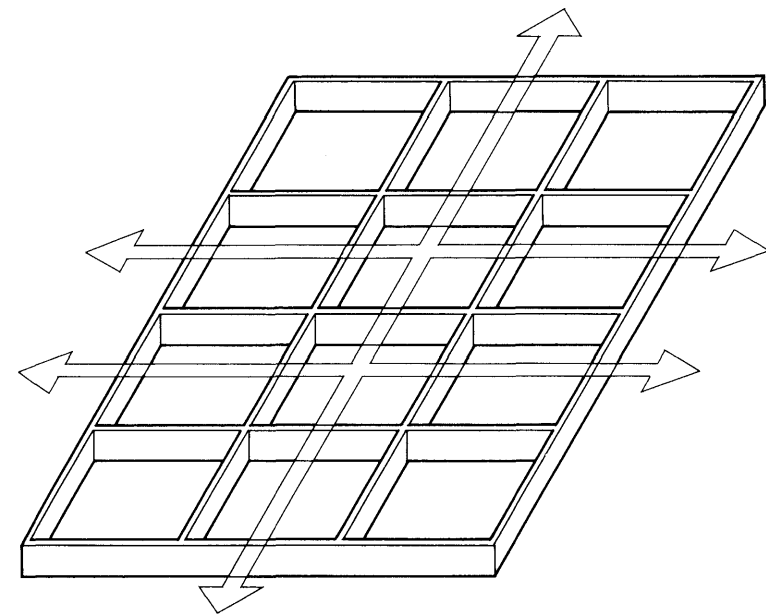
Dos vigas idénticas que se cruzan formando un ángulo recto transmiten cada una de ellas la mitad de la carga. Por lo tanto, la reacción en cada uno de los apoyos es  $1/4$  de la carga total.

Duas vigas idênticas formando ângulos retos entre si recebem, cada uma, metade da carga total. Consequentemente, cada uma suporta reações iguais:  $1/4$  da 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.

Se vigas de igual seção possuem diferentes comprimentos, a menor (por ser a mais forte) absorve a maior parte da carga. Se a relação entre os lados for 1:2, a rigidez das vigas terá a relação de  $1/8$ . Consequentemente, a menor viga receberá  $8/9$  da carga total.

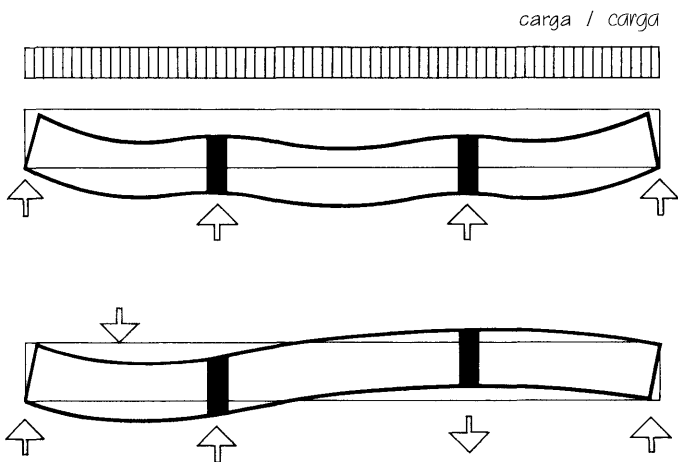


Transmisión biaxial de la carga en una retícula con uniones rígidas

Carga biaxial dispersa da malha de vigas com conexões 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.

Supondo que ambas as séries de vigas possuem aproximadamente a mesma rigidez, a carga é dispersa pelo mecanismo de flexão em dois eixos. No caso da condição de carga pontual, em virtude da mútua interseção, as vigas não sujeitas diretamente ao efeito da carga defletem também. Consequentemente, a resistência à flexão é aumentada.

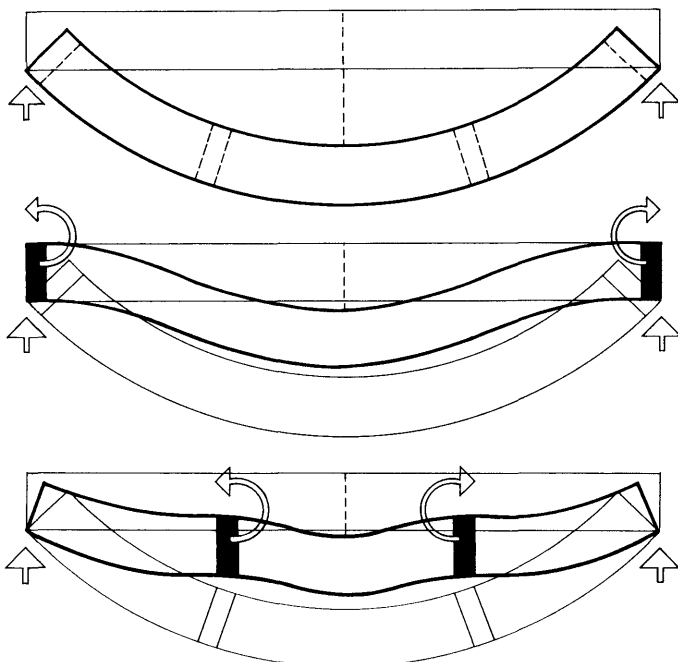


Comportamiento de los elementos como viga continua sobre pilares flexibles

Comportamento de um componente como viga continua sobre suportes flexíveis

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).

A viga isolada na malha atua como uma viga continua, na qual os apoios intermediários são flexíveis. Baixo a ação de uma carga unilateral, pode ocorrer uma flexão de sentido inverso (flexão negativa).



Acción portante adicional debido a la resistencia frente al giro

Ação portante adicional por meio de resistência à torção

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.

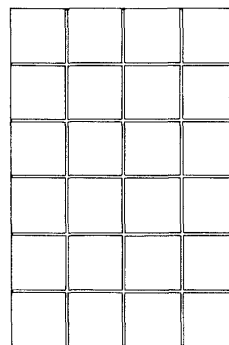
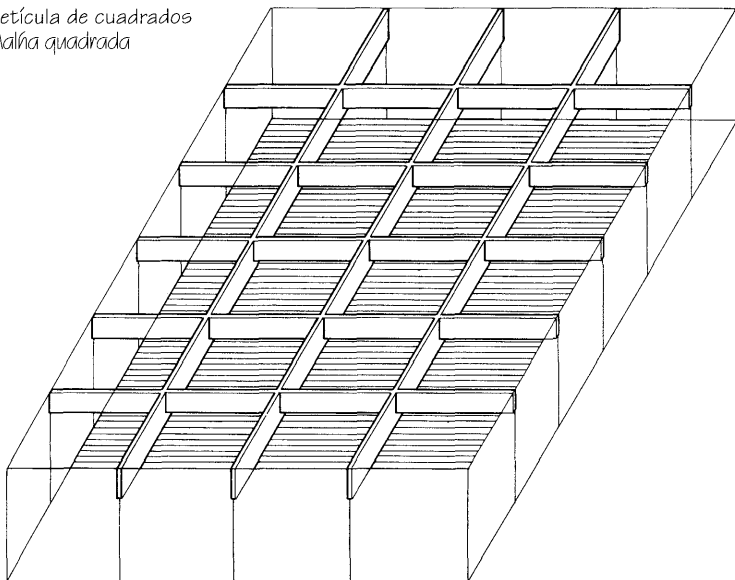
Por causa das interseções rígidas, a viga de borda é torcida pela flexão de rotação das extremidades da viga transversal. A resistência à torção pela viga de borda tem o efeito de uma situação de extremidade fixa; isso reduzindo a flexão da viga transversal.

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.

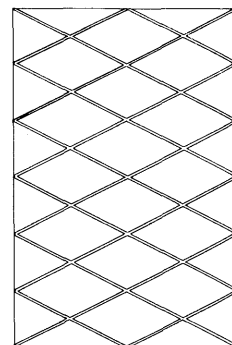
Devido às interseções rígidas, a flexão de uma seção da viga causa a torção da seção da viga correndo no sentido transversal. Por meio desse novo mecanismo de resistência contra a flexão, a curva de deflexão é atuada.

Retícula de vigas para plantas de lados desiguales  
Malha de vigas para plantas planas de lados desiguais

Retícula de cuadrados  
Malha quadrada



Retícula de cuadrados  
(rectangular)  
malha quadrada  
(retangular)

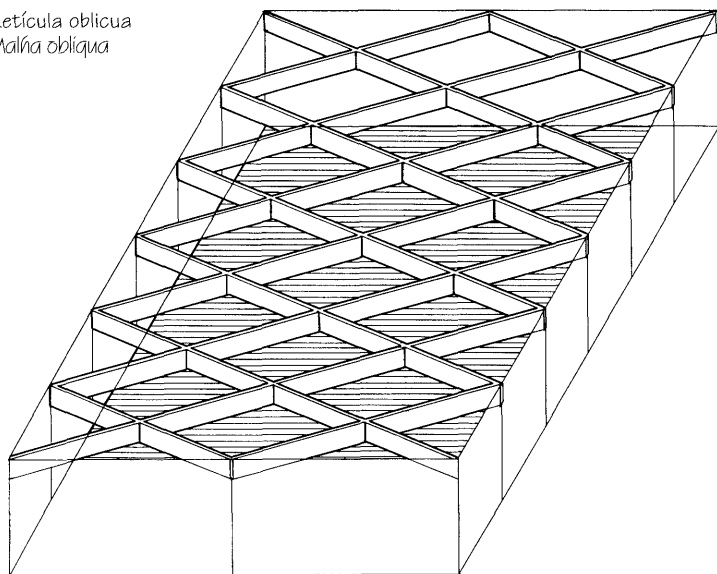


Retícula oblicua  
(diagonal)  
malha obliqua (diagonal)

En el caso de plantas rectangulares con uno de los lados sensiblemente mayor al otro, las vigas longitudinales pierden eficacia debido a la disminución de rigidez. Para garantizar una transmisión uniforme en los dos ejes, se han de rigidizar; por ejemplo, si la proporción entre los lados es de 1:2, las vigas longitudinales han de ser ocho veces más rígidas.

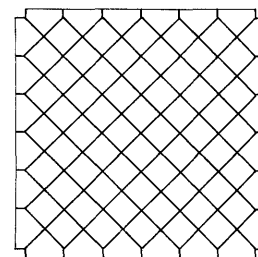
Nas plantas planas retangulares, onde um lado é acentuadamente maior que o outro, as vigas longitudinais, em virtude da rigidez diminuída, apresentam menos eficiência. Com o fim de permitir carga igualmente dispersa em dois eixos, as vigas longas devem ser adequadamente enrijecidas, isto é, se a planta tem relação de 1:2, as vigas longas devem ser oito vezes mais rígidas.

Retícula oblicua  
Malha obliqua

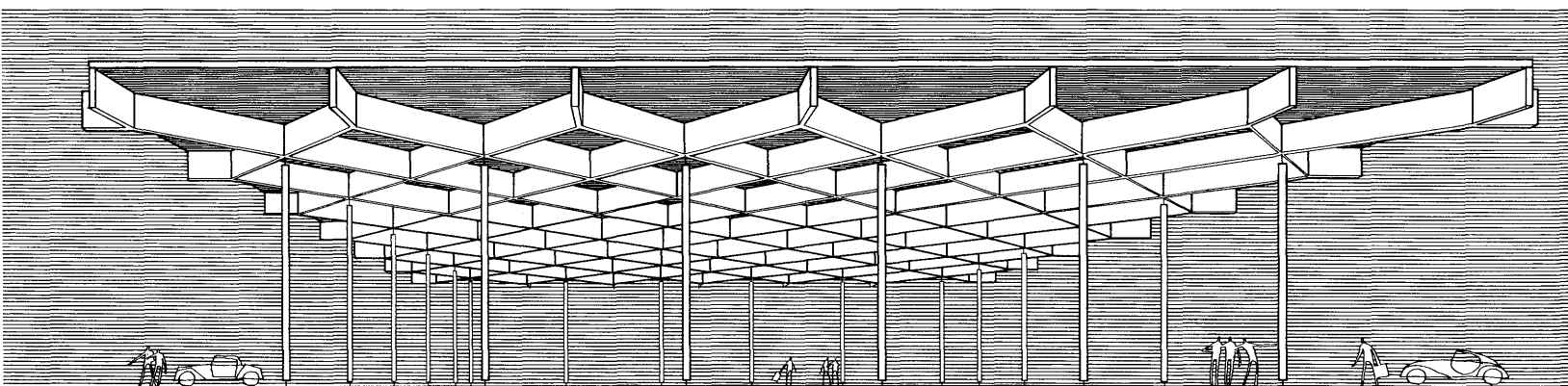


La retícula oblicua reduce el inconveniente de la diferencia de longitud de las vigas en las plantas alargadas. Además, debido a las reducidas luces en las esquinas se alcanza una rigidez adicional, de manera parecida a lo que ocurre en los empotramientos.

A malha obliqua evita o inconveniente dos comprimentos de viga desiguais nas plantas planas alongadas. Além disso, em virtude dos vãos menores nos cantos, consegue-se uma rigidez adicional semelhante à que se obtém em uma condição de apoio fixo.



Retícula oblicua de cuadrados  
Malha quadrada (diagonal)



## Generalidades para el diseño de estructuras mediante retículas de vigas

Aparte de los condicionantes de la forma en planta y la situación de los apoyos, el desarrollo de retículas de vigas depende de tres decisiones formales:

Geometría del entramado de las vigas

Relación entre la retícula y la delimitación lateral del espacio

Estructura del conjunto de la retícula de vigas

Las retículas de vigas se clasifican e identifican según estos parámetros

## Questões gerais no projeto de malhas de vigas

Além do compromisso fundamental com a configuração da planta plana e a disposição de apoios, o projeto de malhas de vigas preocupa-se com três formas de decisão:

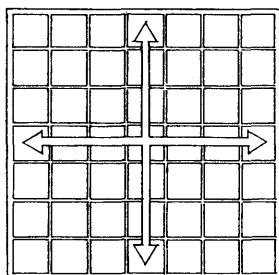
Geometria do modelo de viga

Relação da viga com o espaço lateral interno

Consistência da estrutura da malha de vigas

Desta maneira, as malhas de vigas serão classificadas e identificadas

### 1 Geometías más usuales de las retículas de vigas / Modelos de geometria das malhas de vigas

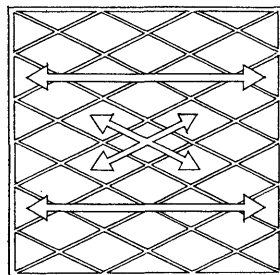


Retícula ortogonal

- transmisión biaxial de la carga
- planta cuadrada o casi cuadrada y con líneas de apoyo en sus cuatro lados

Malha ortogonal

- transmissão de carga biaxial
- planta plana quadrada ou quase quadrada com linhas de apoio nos quatro lados

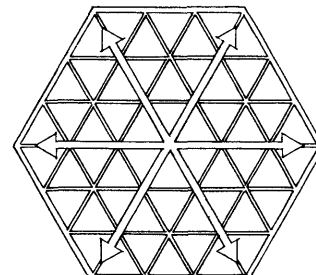


Retícula oblicua

- transmisión uniaxial de la carga
- planta rectangular alargada y con líneas de apoyo en dos lados opuestos

Malha obliqua

- transmissão de carga em uma dimensão
- planta plana retangular com linhas de apoio em dois lados opostos



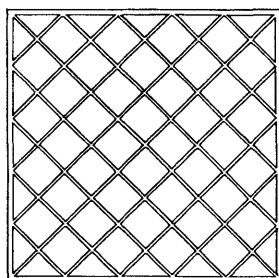
Retícula triangular

- transmisión triaxial de la carga
- planta predominantemente concéntrica y con líneas de apoyo en todos sus lados

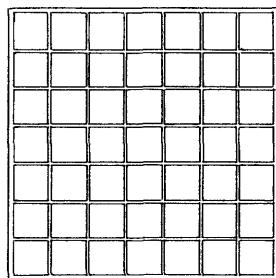
Malha triangular

- transmissão de carga tri-axial
- geralmente planta plana central com linhas de apoio em todos os lados periféricos

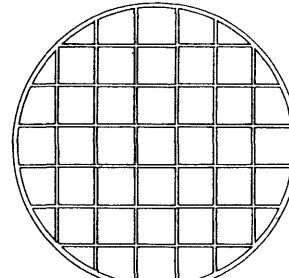
### 2 Relación de la retícula de vigas con la delimitación lateral del espacio / Relação da malha de vigas com o espaço lateral interno



Retícula diagonal / Malha diagonal

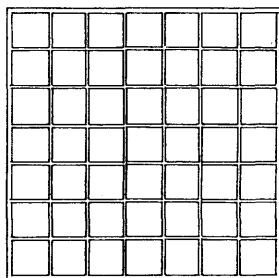


Retícula congruente / Malha congruente

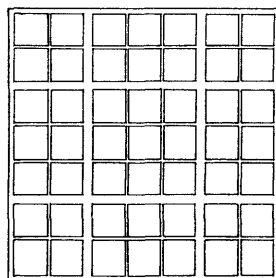


Retícula recortada / Malha seccional

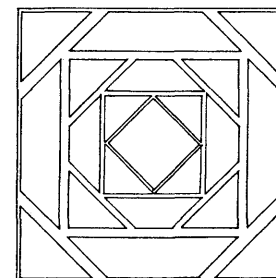
### 3 Estructura de la retícula de vigas / Consistência da estrutura da malha de vigas



Retícula homogénea: estructura no diferenciada  
Malha homogénea: estrutura não diferenciada



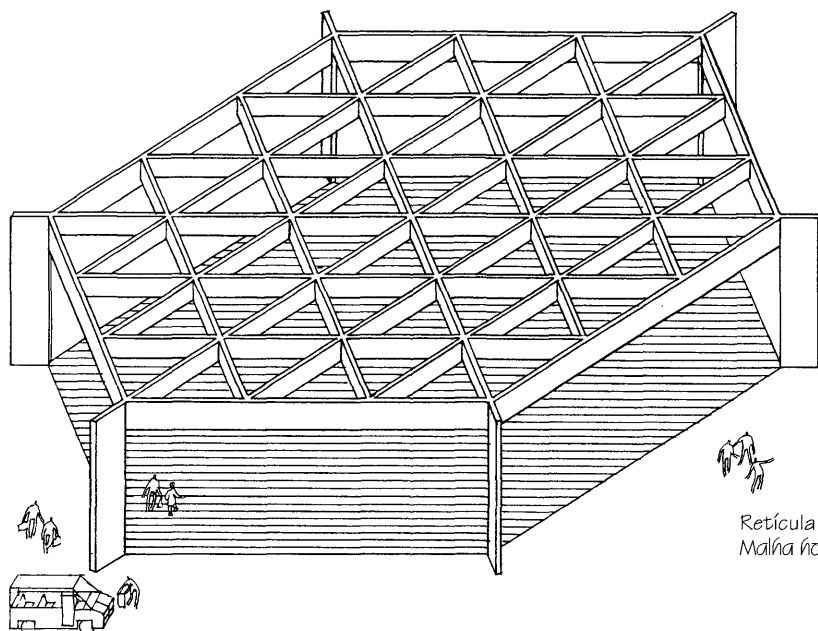
Retícula graduada: retícula principal y secundaria  
Malha graduada: estrutura principal e secundária



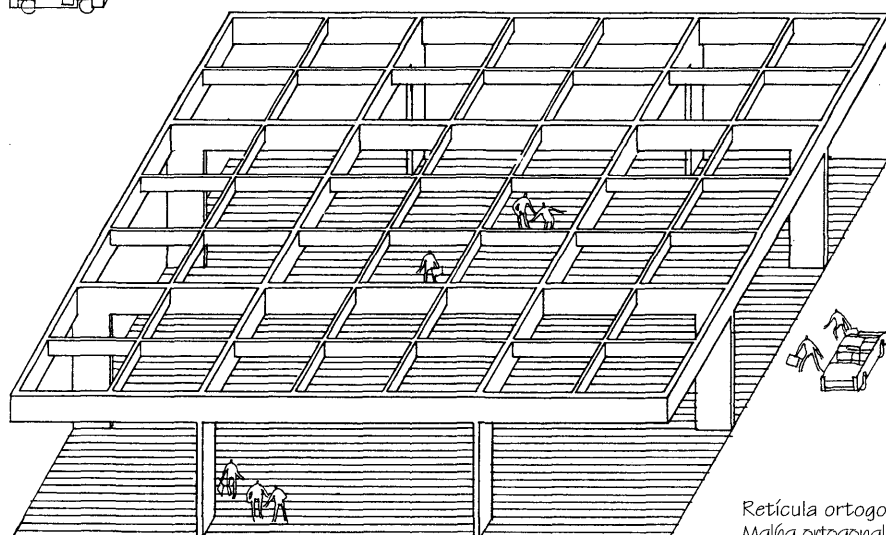
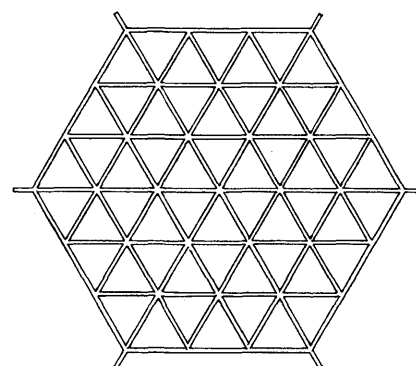
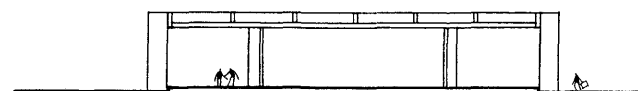
Retícula concéntrica: orden centralizado  
Malha concéntrica: ordem de estrutura centralizada

## Estructuras de retículas de vigas macizas

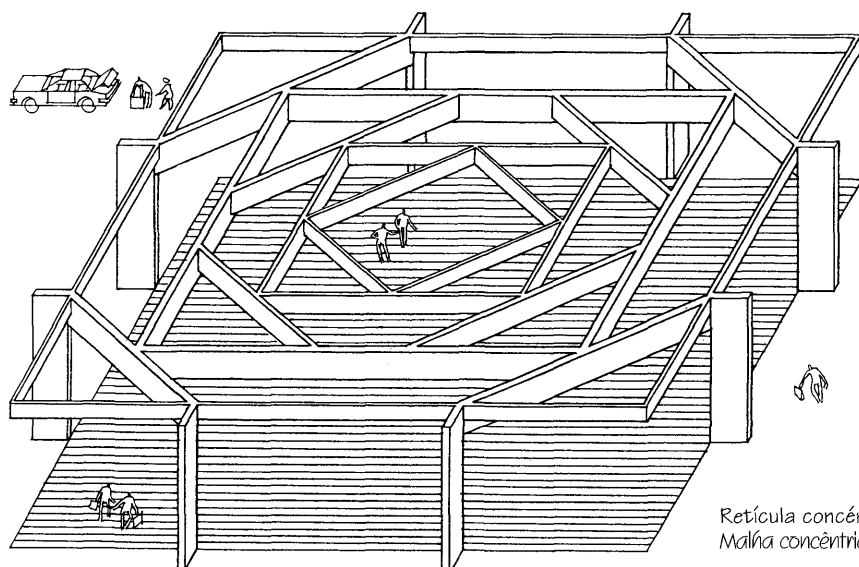
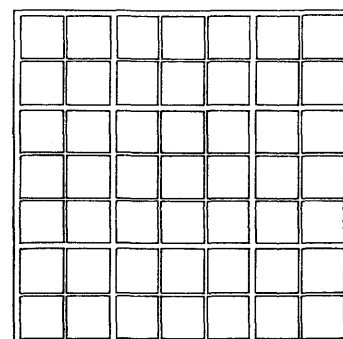
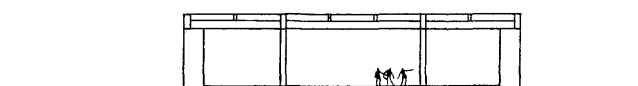
## Sistemas de malhas de vigas maciças



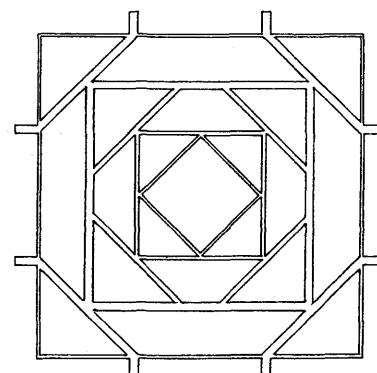
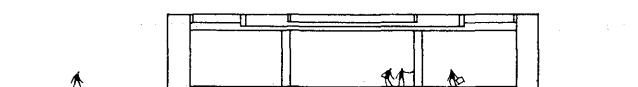
Retícula triangular homogênea  
Malha homogênea triangular



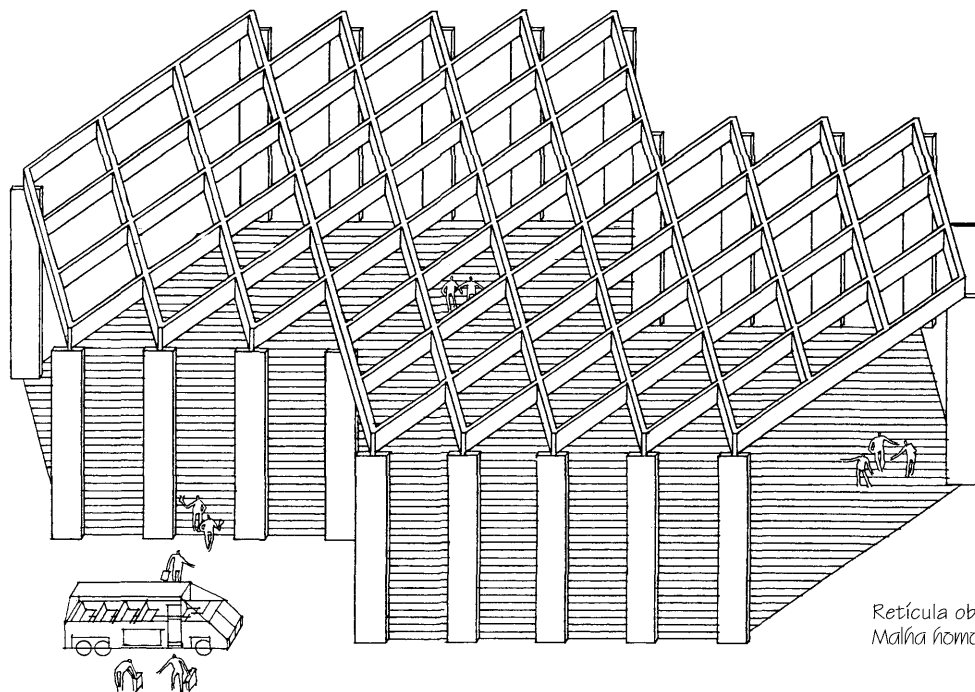
Retícula ortogonal graduada  
Malha ortogonal graduada



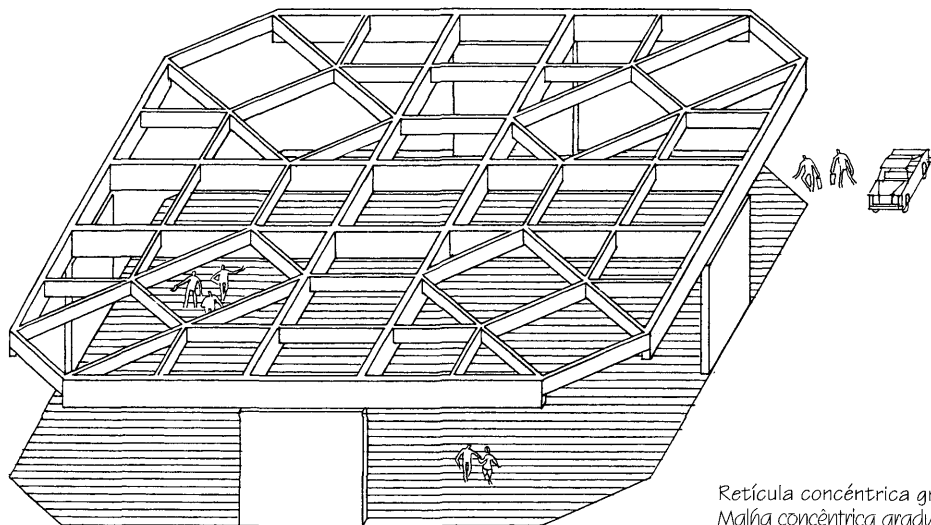
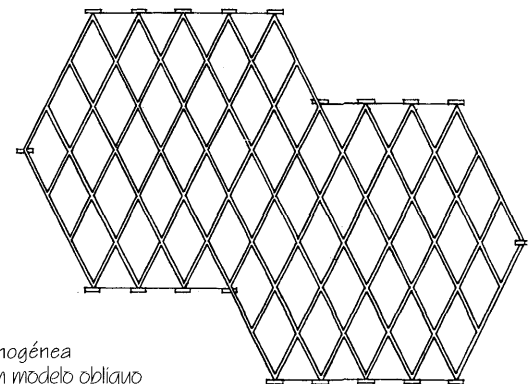
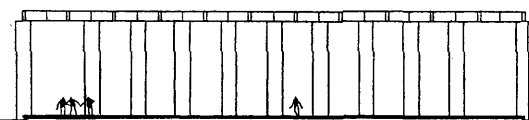
Retícula concêntrica graduada  
Malha concêntrica graduada



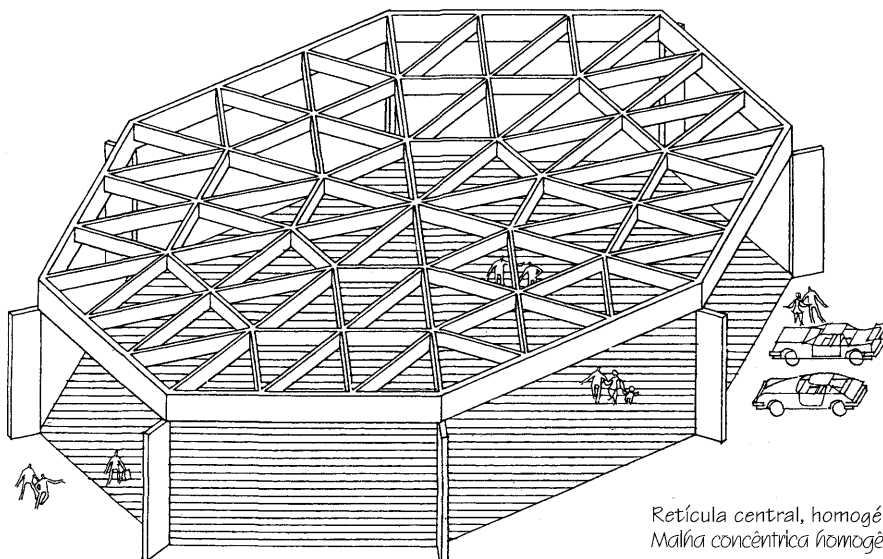
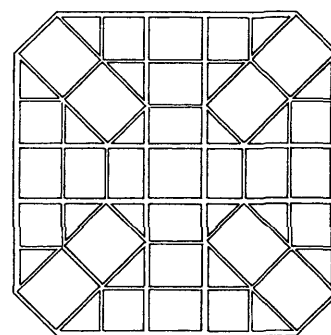
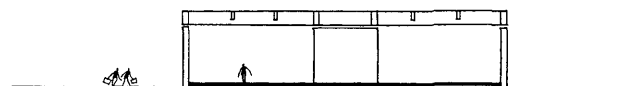




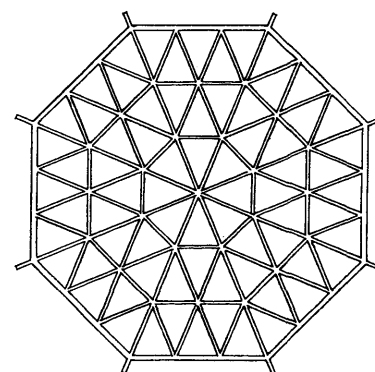
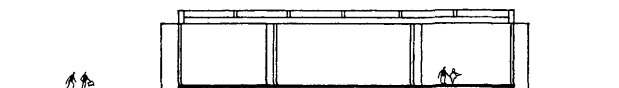
Retícula oblicua homogénea  
Malha homogénea em modelo oblquo



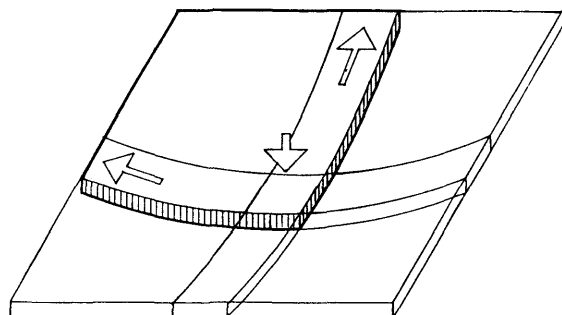
Retícula concéntrica graduada  
Malha concéntrica graduada



Retícula central, homogénea y triangular  
Malha concéntrica homogénea em modelo triangular

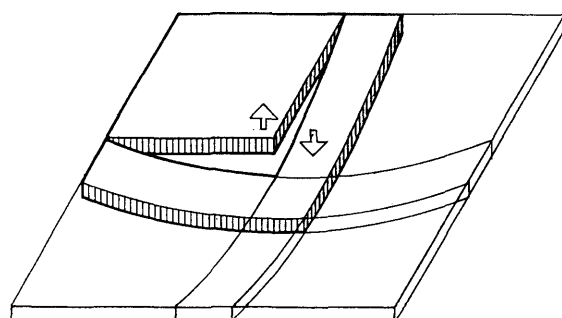


Mecânica portante de una losa plana apoyada por sus cuatro lados



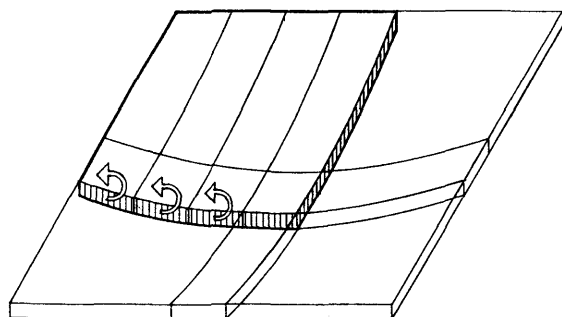
#### Efecto viga

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



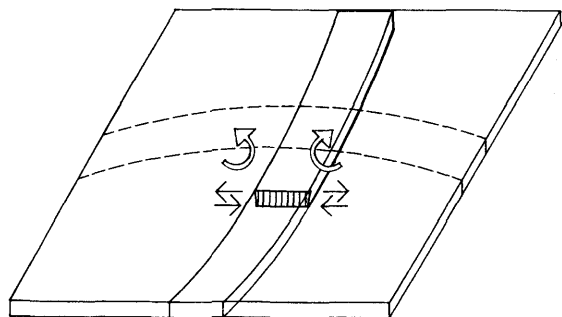
#### Reacción conjunta del sistema

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



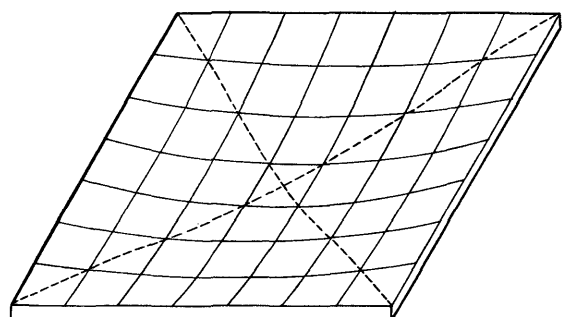
#### Mecánica de las fuerzas de torsión

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

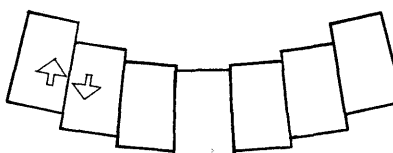
Las zonas de las esquinas, debido a la intersección en ángulo recto de dos apoyos, poseen una elevada rigidez. Con ello, las franjas diagonales de la losa no pueden girar libremente encima de los apoyos. Se comportan como vigas empotradas con una deformación por flexión invertida en los extremos y con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

Mecanismo portante de laje simplemente apoyada



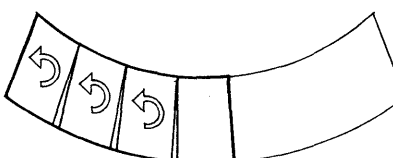
#### Resistencia à flexão

Por meio do mecanismo de flexão (ação combinada de tração, compressão e cisalhamento), a carga é transmitida aos apoios, como em uma viga



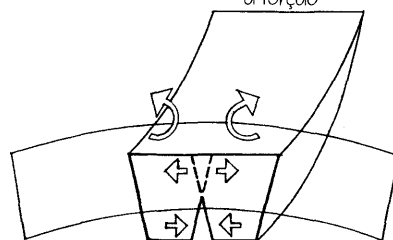
#### Resistencia total do sistema

Através das forças de cisalhamento vertical, a carga é transmitida pela faixa defletida à faixa adjacente. De este modo, a todo o sistema é transmitido o mecanismo de resistência de deflexão, inclusive no caso de uma carga pontual



#### Mecanismo de força de torção

Como resultado da flexão por deflexão, as faixas da laje simples são torcidas transversalmente na direção do outro eixo: momento de torção. A metade da carga pode ser transmitida aos apoios através de enrijecedores contra a torção



#### Flexão negativa cruzada

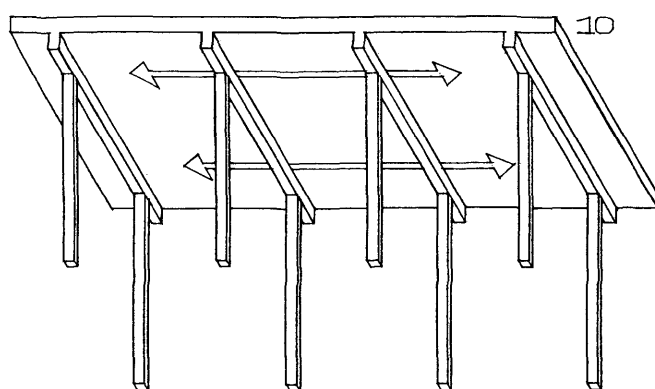
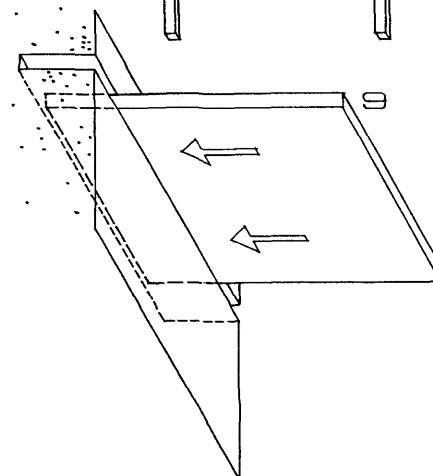
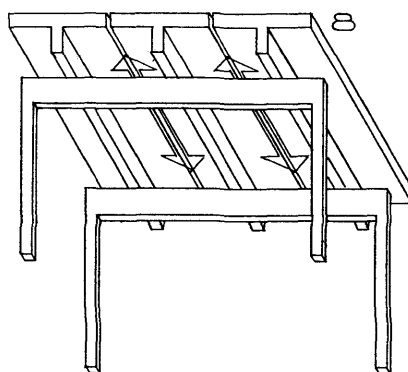
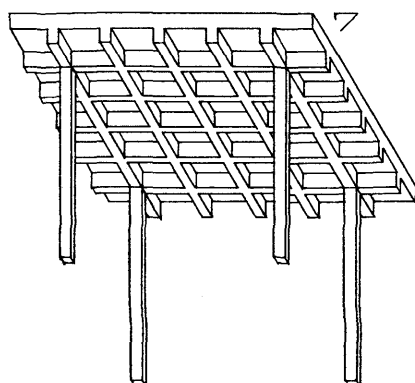
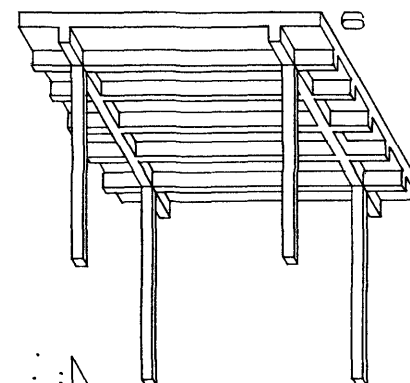
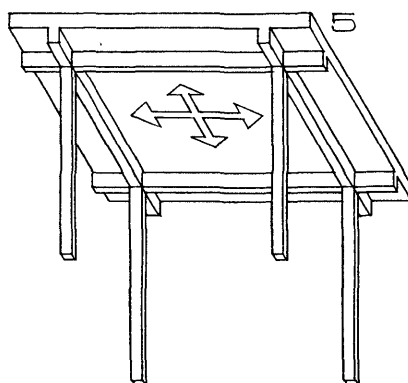
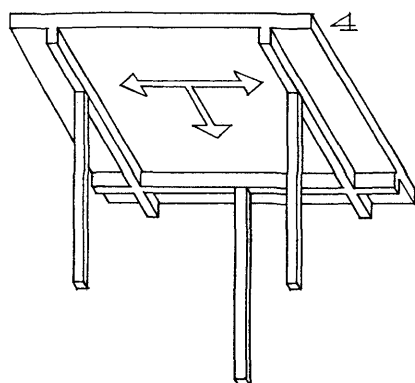
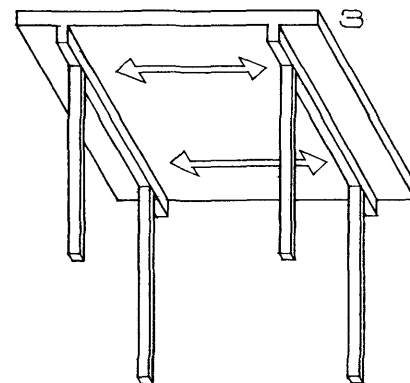
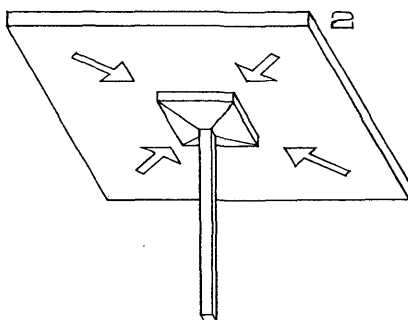
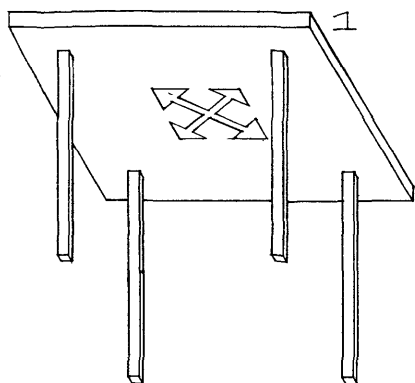
Em virtude da constância em volume do material, a flexão por deflexão da faixa da laje induz o aumento da área de compressão da seção e diminui a área de tensão. Esta ação conduz a um momento rotacional reverso no eixo transversal

#### Ação de vigas fixas nas diagonais

A área do canto da placa acusa um aumento de rigidez, em razão do fato de que nos cantos dois apoios de borda encontram-se em ângulo reto. Em consequência disso, as faixas diagonais da laje não podem girar livremente nos apoios. Agem como vigas fixas em suas extremidades com curvatura reversa e, por isso, aumentam a capacidade de resistência da laje

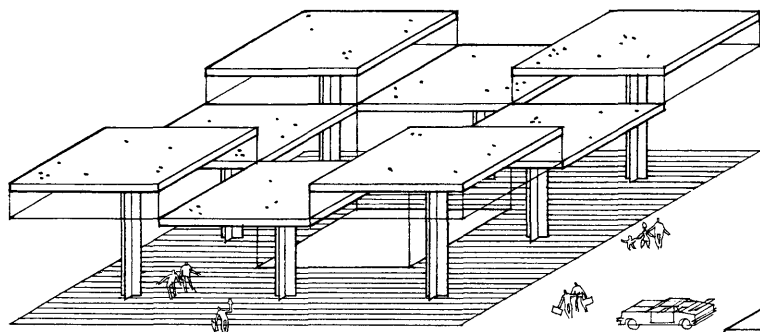
Estructuras de losas:  
transmisión de la carga y optimización

Sistemas de laje estructural:  
transmissão de carga e formas de otimização

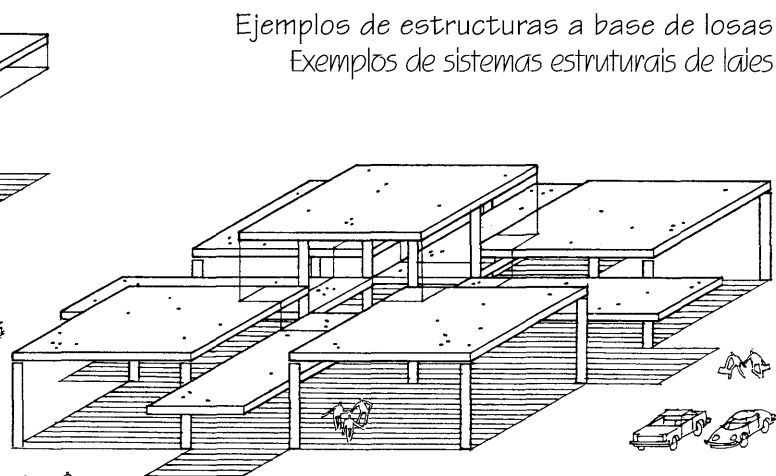


- 1 Losa plana atirantada en diagonal / forjado sin jácenas
- 2 Losa apoyada en un punto / forjado fungiforme (con refuerzo en punto apoyo)
- 3 Losa apoyada en dos lados opuestos / forjado atirantado en una dirección (p.e., armaduras)
- 4 Losa apoyada en tres lados
- 5 Losa apoyada en cuatro lados / forjado atirantado en dos direcciones (p.e., armaduras)
- 6 Losa nervada / forjado nervado
- 7 Losa de casetones / forjado de casetones
- 8 Forjado con vigas en T
- 9 Losa con voladizos / losa empotrada
- 10 Losa con varios vanos

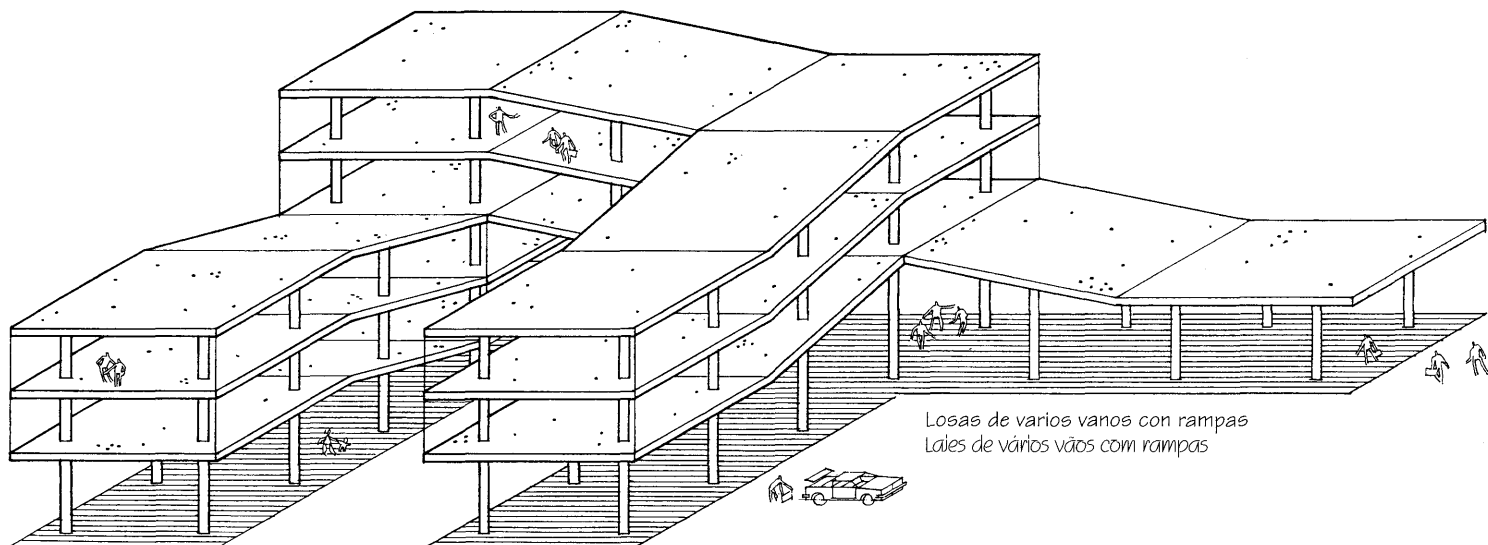
- 1 Laje plana atirantada em diagonal / pavimento sem viga
- 2 Laje com um ponto de apoio / laje cogumelo com reforço por embaixo
- 3 Laje com apoio simples em dois lados opostos / laje armada em uma direção
- 4 Laje apoiada em três lados
- 5 Laje simplesmente apoiada / laje armada em duas direções
- 6 Laje nervurada / pavimento com nervuras
- 7 Laje waffle / laje encofrada
- 8 Pavimento com viga em T
- 9 Laje em balanço / laje de extremo fixo
- 10 Laje de vários vãos



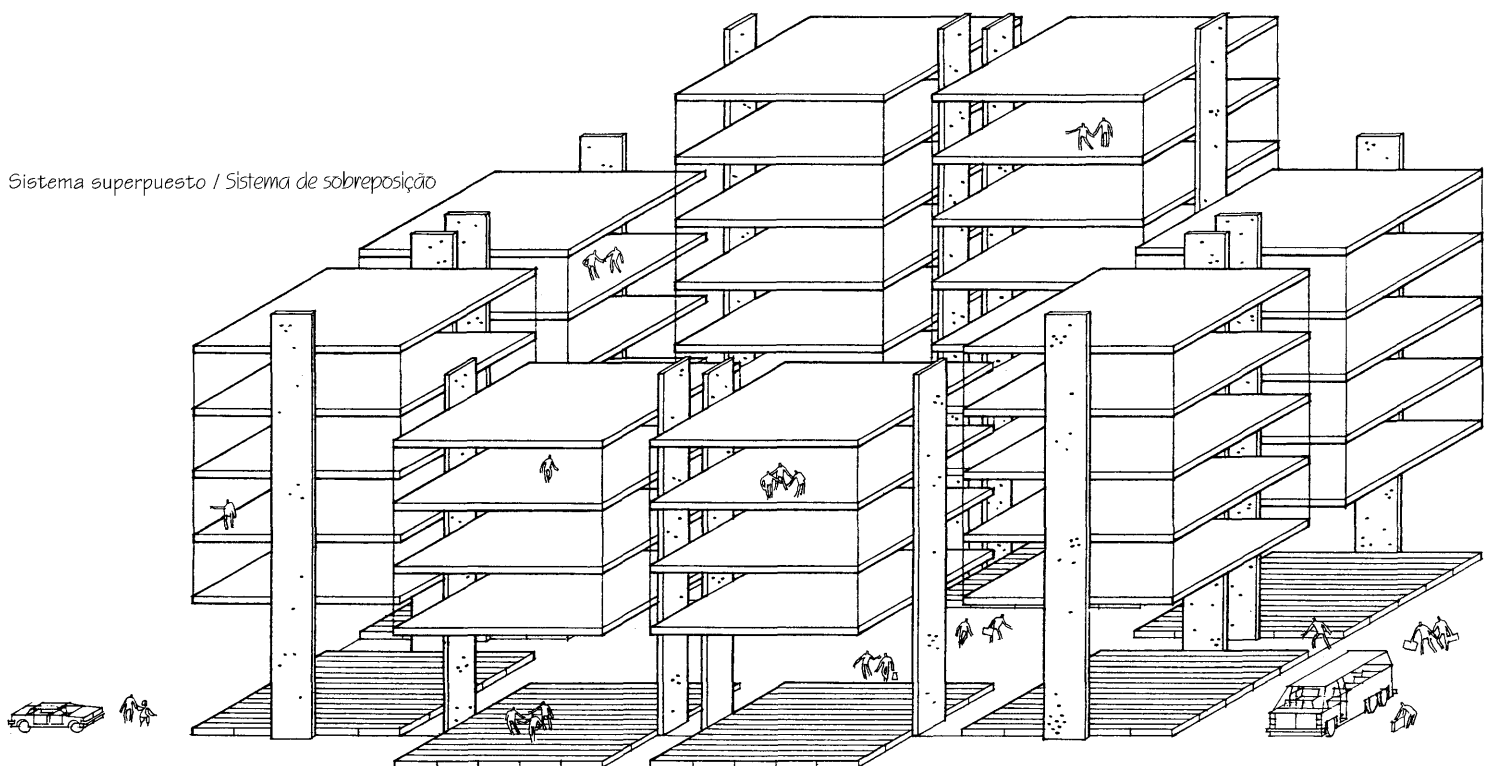
Losas individuales con apoyo central / Lajes simples com apoio central



Losas de un vano con apoyos en las esquinas  
Lajes de vão único com apoios nas arestas

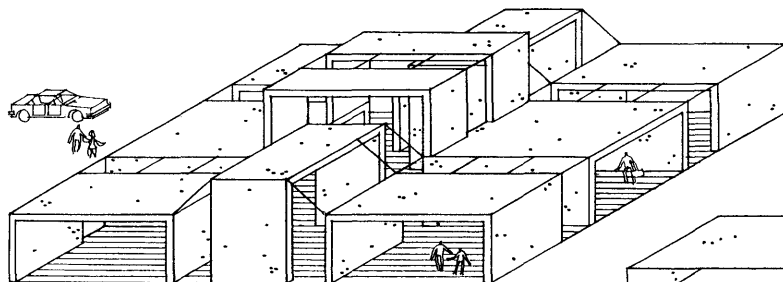


Losas de varios vanos con rampas  
Lajes de vários vãos com rampas

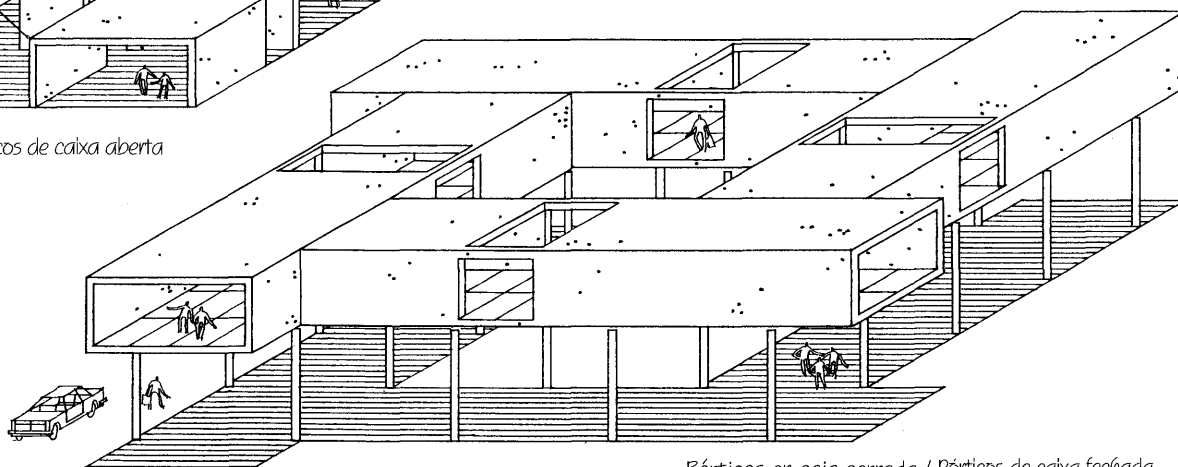


Sistema superpuesto / Sistema de sobreposição

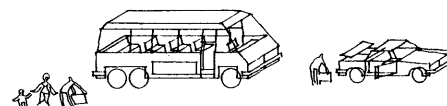
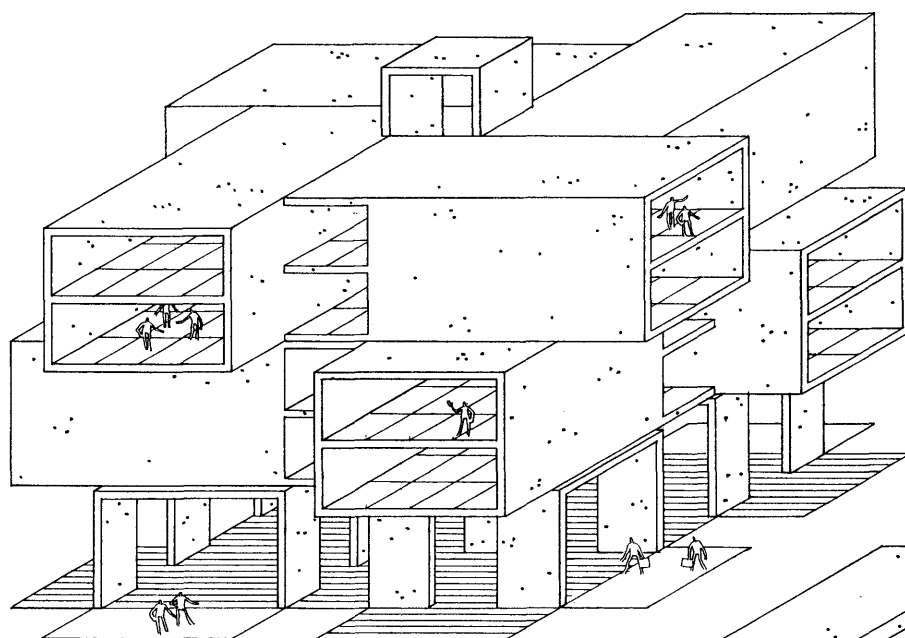
Ejemplos de pórticos a base de losas  
Exemplos de sistemas de pórticos em caixa



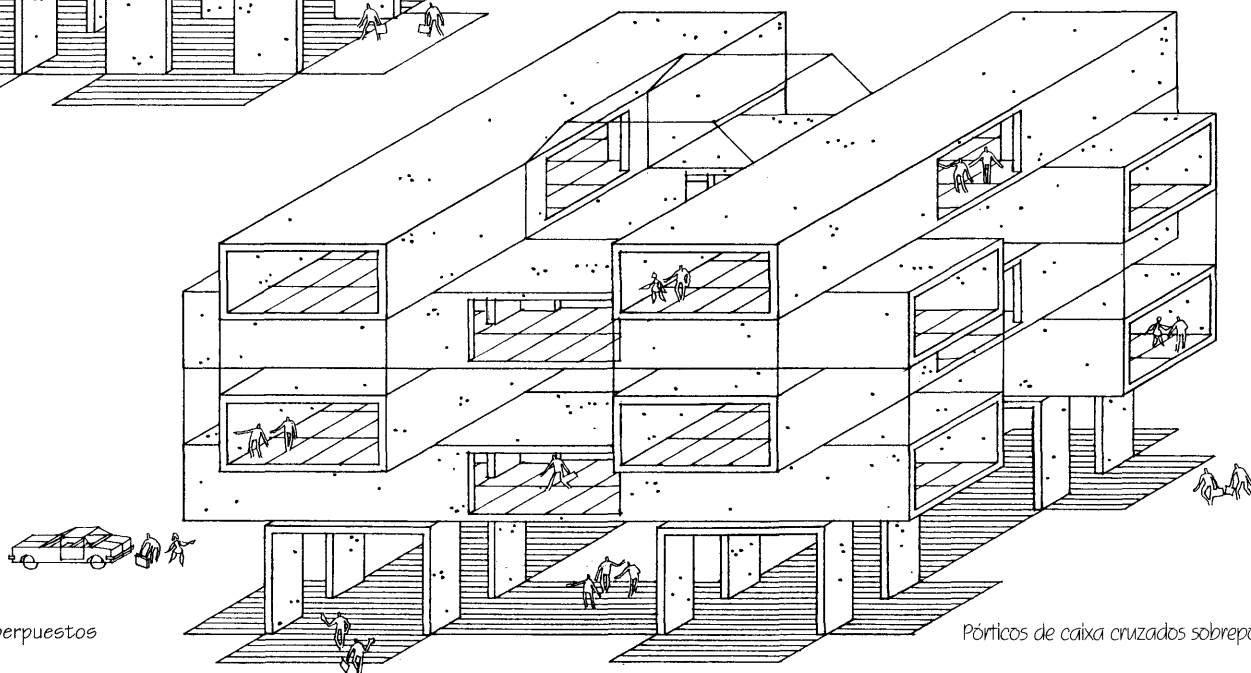
Pórticos en caja abierta / Pórticos de caixa aberta



Pórticos en caja cerrada / Pórticos de caixa fechada



Pórticos en caja de varias plantas  
Pórticos de caixa de vários pavimentos



Pórticos en caja superpuestos

Pórticos de caixa cruzados sobrepostos



Sistemas de estructuras de superficie activa  
Sistemas estruturais de superfície-ativa

4

As superfícies, limitadas e determinadas em sua forma, constituem um instrumento e um critério na definição do espaço. As superfícies delimitam o espaço. E assim o dividem, limitando um novo espaço.

As superfícies são os meios geométricos mais eficazes e claros de definir o espaço, do interior ao exterior, de elevação a elevação, de espaço a espaço.

As superfícies, em razão da sua natureza de formar e determinar espaços, são a abstração elementar mediante a qual a arquitetura manifesta-se, tanto como idéia quanto como realidade.

Os elementos de superfície, na construção, sob certas condições, podem desempenhar funções portadoras de carga: superfícies estruturais. Sem recursos adicionais, podem elevar-se livremente no espaço enquanto transmitem cargas.

As superfícies estruturais podem ser compostas para formar mecanismos que reorientam as forças: sistemas estruturais de superfície-ativa. A continuidade estrutural dos elementos em dois eixos, isto é, superfície resistente à compressão, tração e cisalhamento, é o primeiro requisito e a primeira característica das estruturas de superfície-ativa.

O potencial da superfície estrutural para fazer as forças mudarem de direção, isto é, para transmitir cargas, depende da posição da superfície com relação à direção da força atuante.

O mecanismo portante de uma superfície estrutural é mais eficaz quando a superfície é paralela à direção da força atuante (para as forças gravitacionais verticais) ; e é menos eficaz quando a superfície está em ângulo reto com a direção da força atuante (para forças gravitacionais horizontais).

Na superfície estrutural plana, segundo a direção da força atuante, dois diferentes mecanismos de resistência ou suas combinações são acionados: mecanismo de laje, se a força atuante for dirigida em ângulo reto com a superfície ; mecanismo de placa, se a força atuante for dirigida paralela à superfície.

Enquanto nas superfícies estruturais horizontais a capacidade portante sob carga gravitacional diminui com o aumento da superfície (mecanismo de laje), nas superfícies estruturais verticais a capacidade portante aumenta com a expansão da superfície (mecanismo de placa).

Por meio de inclinação da superfície na direção da força atuante, através de curva ou dobra, é possível conciliar a oposição entre uma eficiência horizontal, na cobertura do espaço, e eficiência vertical, na resistência às forças gravitacionais.

A forma da superfície determina o mecanismo portante dos sistemas de superfície-ativa. O projeto da forma correta é, juntamente com a continuidade superficial, o segundo pré-requisito e a segunda característica dos sistemas estruturais de superfície-ativa.

Nas estruturas de superfície-ativa é fundamental uma forma adequada que reorienta as forças atuantes, distribuindo-as em pequenos esforços unitários sobre a superfície. O desenvolvimento de uma forma adequada para a superfície –desde os pontos de vista estrutural, utilitário e estético– é um ato criativo: é arte.

Ao elaborar o projeto de uma forma adequada para a superfície, o mecanismo das estruturas de forma-ativa é integrado: ação de suporte do arco e ação de suspensão do cabo.

Os mecanismos dos sistemas estruturais de seção-ativa, como a viga contínua ou os pórticos articulados, também podem ser expressos pelo vocabulário de superfícies estruturais, assim como os mecanismos dos sistemas estruturais de forma-ativa e vetor-ativo. Isto é, todos os sistemas estruturais podem ser interpretados com elementos de superfície-ativa, podendo assim tornar-se superestruturas cujos elementos são sistemas estruturais de superfície-ativa.

A preservação da forma estrutural através do enrijecimento da borda e do perfil da superfície é uma condição fundamental para o funcionamento do mecanismo portante. A dificuldade então é projetar os elementos enrijecedores de modo a evitar qualquer variação abrupta tanto da rigidez quanto da tendência à deflexão, pois isso tensionaria criticamente a zona de junção.

Os sistemas estruturais de superfície-ativa são, simultaneamente, o invólucro do espaço interno e a casca externa da construção, e, conseqüentemente, determinam a forma e o espaço desta. Assim, são parte essencial da construção e critério de sua qualidade: são como uma máquina racional e eficiente ou como uma forma estética significativa.

Por causa da identidade entre a estrutura e a materialidade da edificação, as estruturas de superfície-ativa não permitem tolerância nem distinção entre estrutura e construção. E visto que a forma estrutural não é arbitrária, o espaço e a forma da construção, juntamente com a vontade do arquiteto, encontram-se sujeitos às leis da mecânica.

O projeto com superfícies estruturais está, portanto, sujeito a uma disciplina. Qualquer desvio da forma adequada influi na economia do mecanismo e pode comprometer também seu funcionamento.

Além das leis comuns às quais qualquer sistema de superfícies estruturais está sujeito, são inúmeros os mecanismos dos sistemas estruturais de superfície-ativa conhecidos. Apesar disso, embora cada um desses mecanismos possua seu modo típico de funcionamento e sua forma básica peculiar, há, para cada um, inúmeras possibilidades de projetos originais.

A construção com superfícies estruturais requer, então, o conhecimento dos mecanismos dos sistemas estruturais de superfície-ativa: seu modo de funcionamento, sua geometria, sua significação para a forma e o espaço arquitetônico.

O conhecimento das possibilidades de como desenvolver um sistema autoportante e de transmissão de carga, baseado em superfícies que englobam um espaço, é o princípio de estudo fundamental para o projetista e o arquiteto.



Definición / Definição

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 redistribución de las fuerzas se efectúa mediante la RESISTENCIA DE LA SUPERFICIE y una FORMA ADECUADA DE LA SUPERFICIE

SISTEMAS ESTRUTURAIS DE SUPERFICIE-ATIVA são sistemas de superficies flexíveis, mas resistentes à compressão, tensão e cisalhamento, nos quais a redistribuição de forças é efetuada pela RESISTÊNCIA DA SUPERFÍCIE e uma FORMA DE SUPERFÍCIE especial

Fuerzas / Forças

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

Os elementos do sistema são primariamente sujeitos a esforços de membrana, isto é, esforços que atuam paralelamente à superfície: SISTEMAS EM CONDIÇÕES DE ESFORÇOS DE MEMBRANAS

Características

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

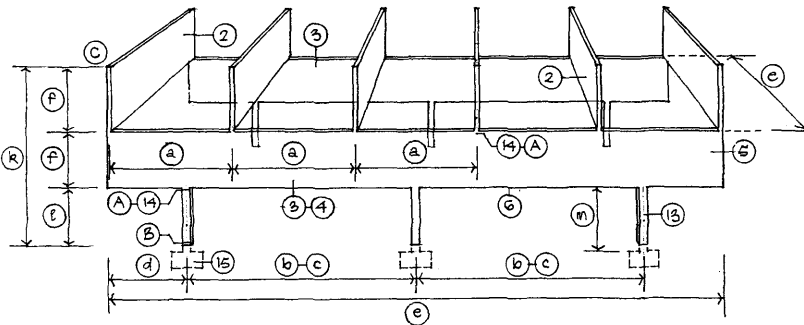
As características típicas desta estrutura são: ESTRUTURA como DELIMITAÇÃO ESPACIAL e FORMA DE SUPERFÍCIE

Componentes y denominaciones / Componentes e denominações

4.1

Sistemas de láminas

Sistemas de placas



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

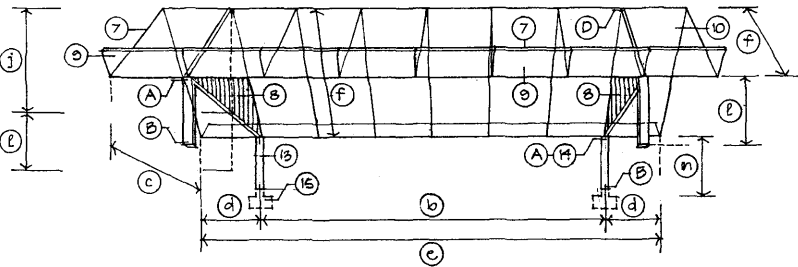
Componentes do sistema

- (estrut.) Placa, painel, parede cisalhada
- Placa cruzada, placa transversal
- Placa longitudinal
- Viga de borda (placa)
- Balanço
- Placa de borda, placa limite
- Casca de borda
- Diafragma, reforço cruzado
- Reforço de borda, viga de borda
- Membrana em casca, membrana portante
- Viga anular, anel de base, anel de tensão
- Anel de compressão
- Coluna, apoio
- Suporte, apoio
- Fundação, base

4.2

Sistemas de láminas plegadas

Sistemas de placas dobladas



Puntos topográficos del sistema

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

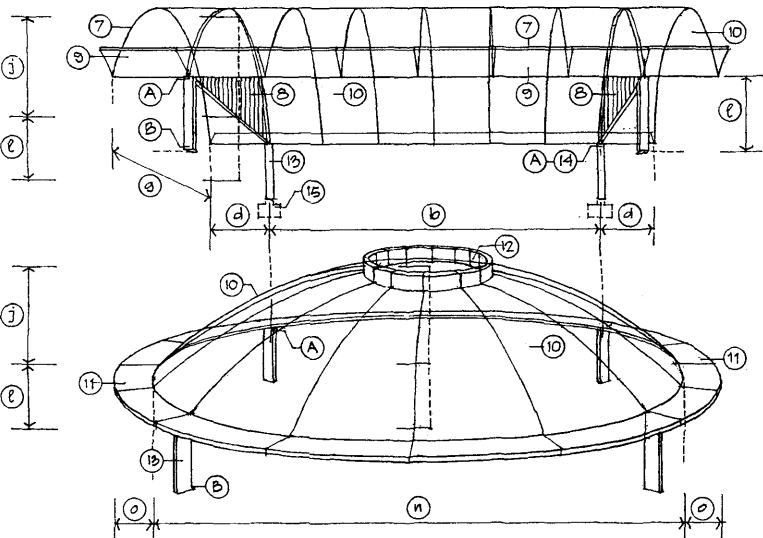
Sistema topográfico de pontos

- Ponto de apoio, ponto de suporte
- Ponto de base
- Ponto de beiral
- Cumeeira, coroa, ápice, vértice
- Ponto extremo

4.3

Sistemas de membranas

Sistemas de casca



Dimensiones del sistema

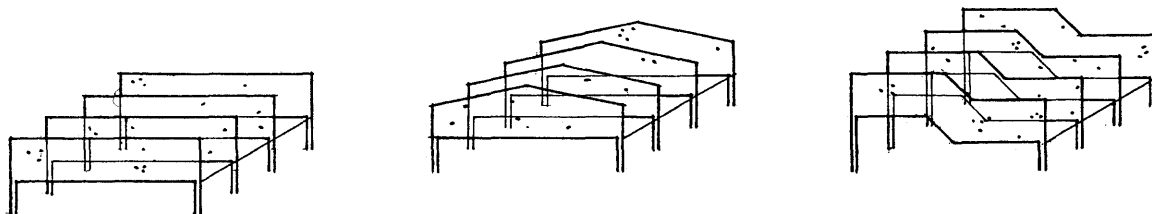
- a Separación entre láminas
- b Luz entre láminas o membranas
- c Separación entre pilares
- d Longitud del voladizo
- e Longitud de la lámina
- f Altura de la lámina
- g Anchura de la membrana
- h Longitud de la membrana
- i Altura de construcción
- j Altura de los pilares
- k Altura del alero
- l Altura libre
- m Altura de los pilares
- n Diámetro de la membrana
- o Anchura del zuncho perimetral

Dimensões do sistema

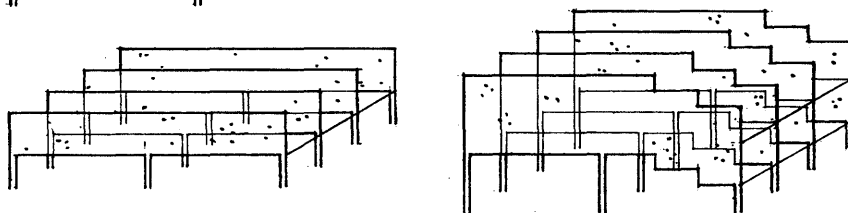
- Espaço entre placas
- Vão
- Espaço entre colunas
- Comprimento do balanço
- Comprimento de placa, comprimento de painel
- Altura de placa, altura de painel
- Espessura de casca
- Comprimento de casca
- Altura de construção
- Elevação
- Altura de beiral
- Altura livre, espaço livre
- Comprimento de coluna
- Diâmetro de casca
- Espessura de viga anular (anel de tensão)

## 4.1 Estructuras de láminas / Sistemas de placas

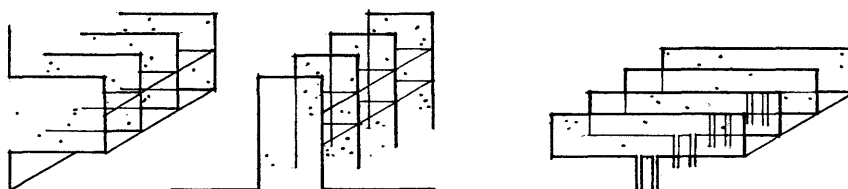
Láminas de un vano  
Placas de vão único



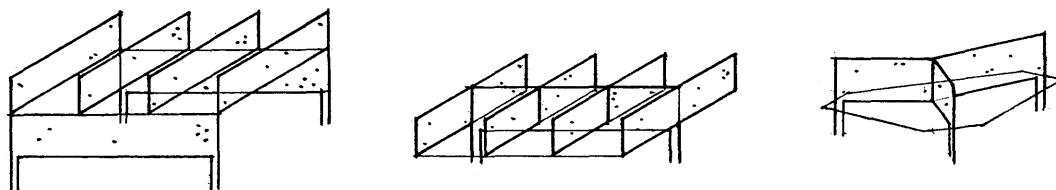
Láminas continuas  
Placas continuas



Láminas en voladizo  
Placas em balanço

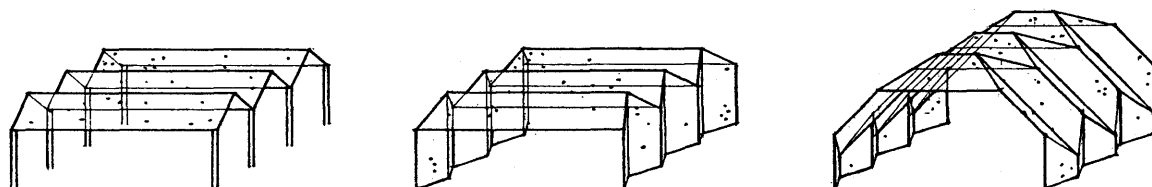


Láminas cruzadas  
Placas cruzadas

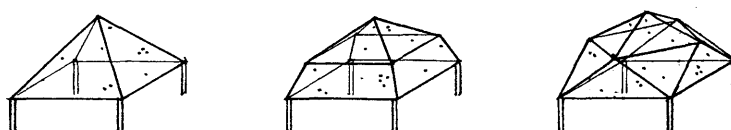


## 4.2 Sistemas de láminas plegadas / Sistemas de placa dobrada

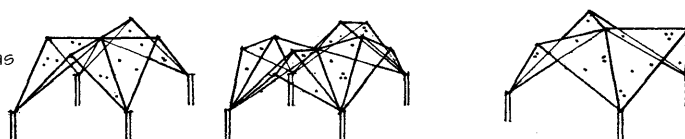
Láminas plegadas prismáticas  
Placas dobradas prismáticas



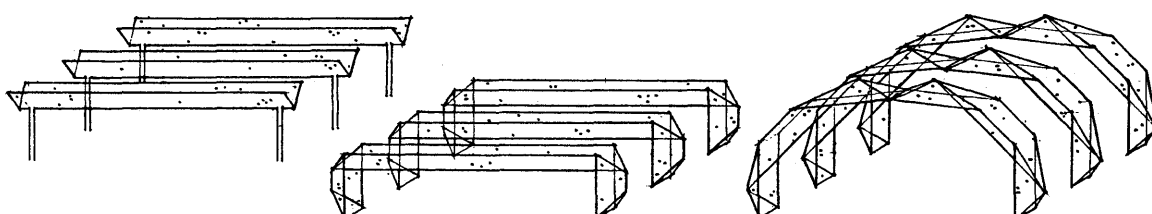
Láminas plegadas poliédricas  
Placas dobradas poliédricas



Láminas plegadas interseccionadas  
Placas dobradas em interseção

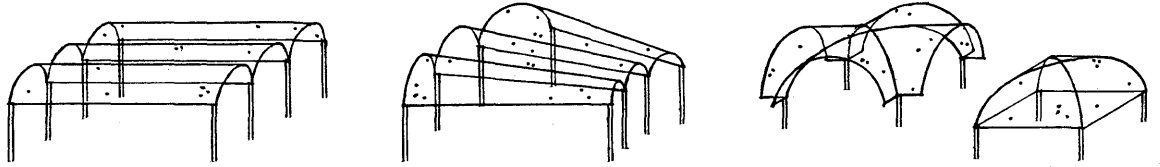


Láminas plegadas lineales  
Placas dobradas lineares

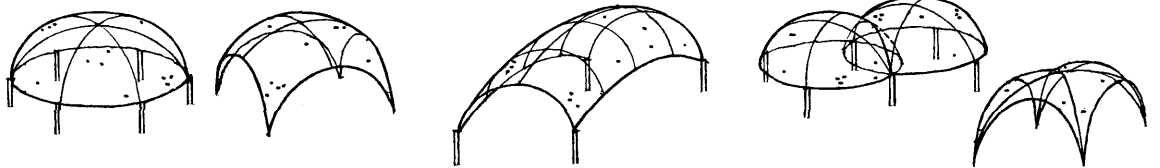


### 4.3 Estructuras de membrana / Sistemas de casca

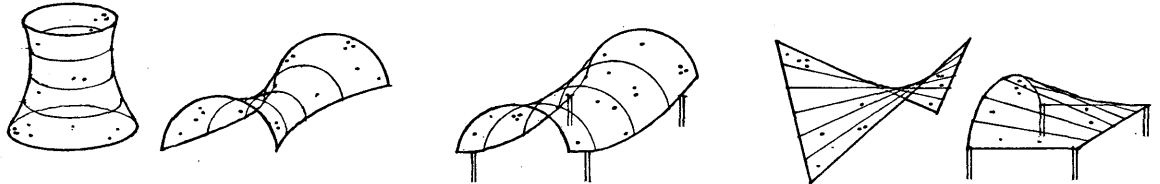
Membranas de curvatura simple  
Casca de curvas simples



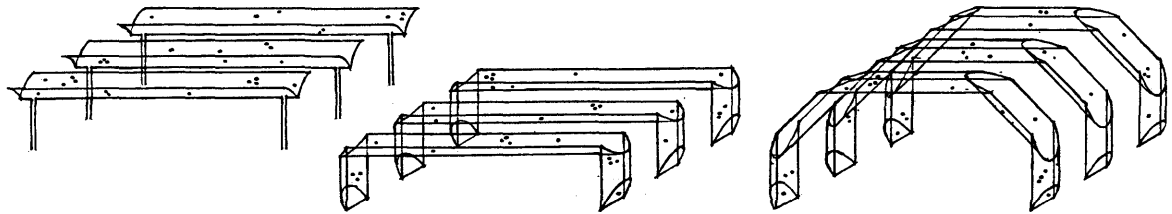
Membranas en cúpula  
Casca en cúpula



Membranas en silla de montar  
Casca en sela



Membranas lineales  
Casca lineales



Aplicaciones: sistema estructural - material - luces

Aplicações: sistema estrutural - material - vãos

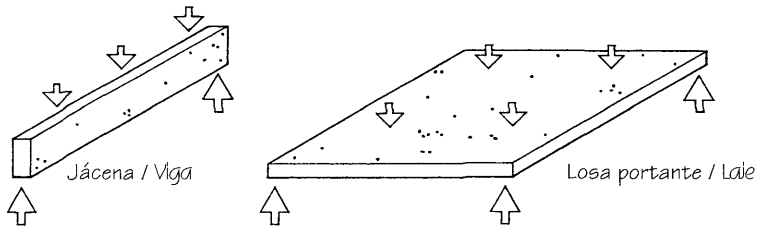
| Sistema estructural / Sistema estrutural |  | Material básico | Matéria prima   | Luces en metros / Vãos em metros |   |    |    |     |     |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|------------------------------------------|--|-----------------|-----------------|----------------------------------|---|----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|                                          |  |                 |                 | 0                                | 5 | 10 | 15 | 20  | 25  | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 |  |  |
| Estructuras de LÁMINAS                   |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 8  | 10 | 40  | 50  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 6  | 8  | 50  | 50  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 5  | 8  | 20  | 25  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Sistemas de PLACA                        |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 10 | 15 | 50  | 60  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 8  | 10 | 40  | 50  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 5  | 8  | 20  | 25  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Estructuras de LÁMINAS PLEGADAS          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 10 | 15 | 50  | 60  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 6  | 10 | 40  | 50  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 20 | 25 | 150 | 200 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 15 | 20 | 120 | 150 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Sistemas de PLACAS DOBRADAS              |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 20 | 25 | 60  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 15 | 20 | 60  | 80  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 10 | 15 | 70  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Estructuras de MEMBRANAS                 |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 10 | 15 | 70  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 10 | 15 | 40  | 70  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 20 | 25 | 150 | 200 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 15 | 20 | 70  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 15 | 20 | 60  | 70  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
| Sistemas de CASCA                        |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 15 | 20 | 50  | 60  |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 20 | 25 | 60  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|                                          |  | hormigón armado | concreto armado |                                  |   | 20 | 25 | 60  | 100 |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |  |  |

A cada tipo de estructura le corresponde un estado de tensiones específico en cada uno de sus componentes. De aquí se desprenden unas condiciones vinculantes en la elección del material básico de construcción y en las luces que pueden alcanzarse.

Para cada tipo de estrutura há uma condição inerente específica de esforço de seus componentes. Esta característica essencial submete o desenho das estruturas à associações racionais na escolha de um tecido estrutural principal e na atribuição da capacidade de vão.

## Lámina portante y jácena de pared

Diferenciación entre jácena y losa portante



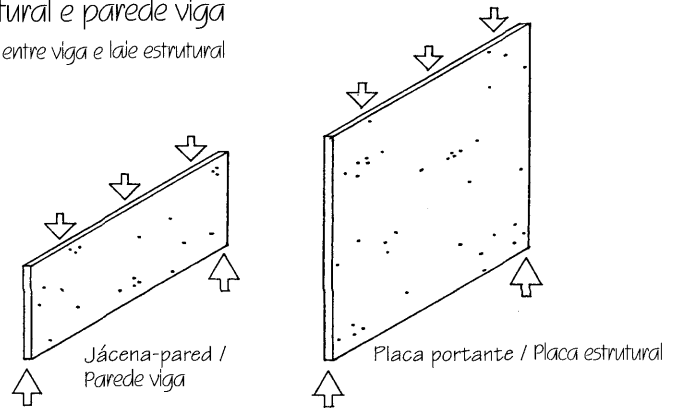
Las láminas son elementos estructurales planos que, a diferencia de las losas portantes, están solicitadas por cargas PARALELAS a la superficie de la jácena.

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.

## Placa estructural e parede viga

Diferenciação entre viga e laie estrutural



Placas estruturais são vigas planas as quais, ao contrário da laie, são tensionadas por cargas PARALELAS à superfície da viga.

Em seu mecanismo portante elas podem ser comparadas com a viga, mas sua distribuição de esforços e aumento da altura estrutural (pensando em só 1/2 do vão a mais!) diferenciam esta da viga.

Paredes viga –também referidas como “placas” estruturais devido à sua forma–, com alturas medindo menos que a metade de seu vão, comportam-se como uma viga. Elas não são placas estruturais no sentido estrutural.

## Transición de la jácena a la lámina portante

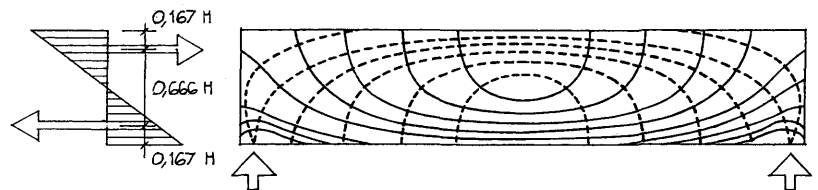
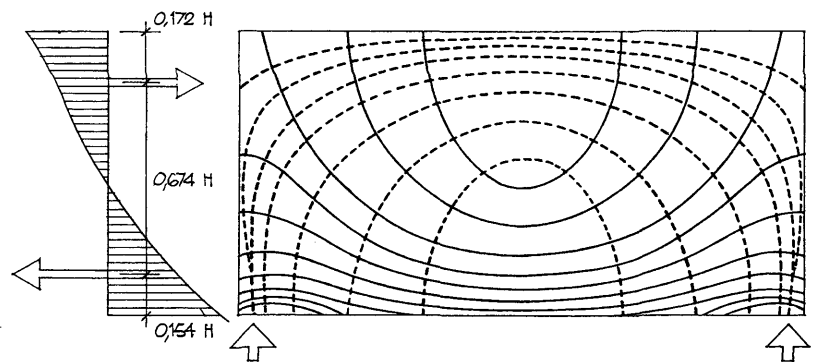
Transição entre viga e placa estrutural

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 desplace 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.

Jácena / Viga

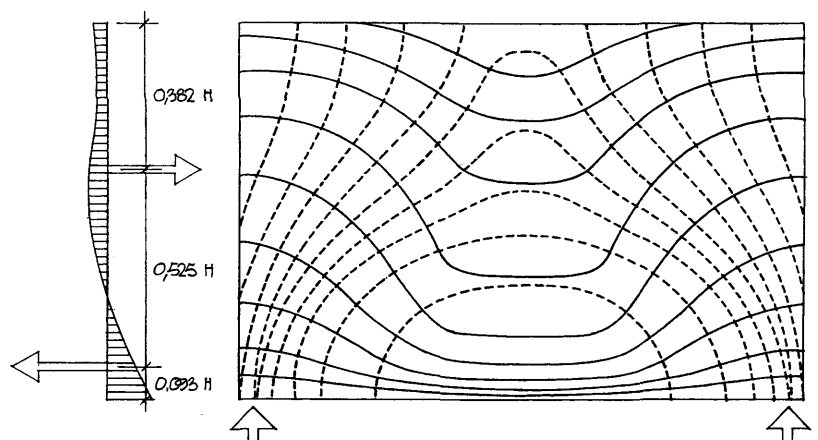
Jácena-pared  
Parede viga  $H = 1/2L$ 

A distribuição de esforços da placa estrutural difere em relação a viga em aspectos essenciais:

- 1 A distribuição dos esforços normais já não se desenvolve ao longo de uma linha reta
- 2 A seção superior da placa é deficiente no suporte da compressão
- 3 O eixo neutro move-se para baixo e ainda desce abaixo dos apoios
- 4 A resultante das forças de tensão em relação à zona de compressão situa-se ainda mais abaixo

O diagrama das linhas isostáticas (malha), também chamadas trajetórias (linhas de esforços iguais, compressão e tensão), além da “abóbada de compressão” das vigas, mostra o “fluxo” direto das cargas em direção aos apoios.

Lámina / Placa



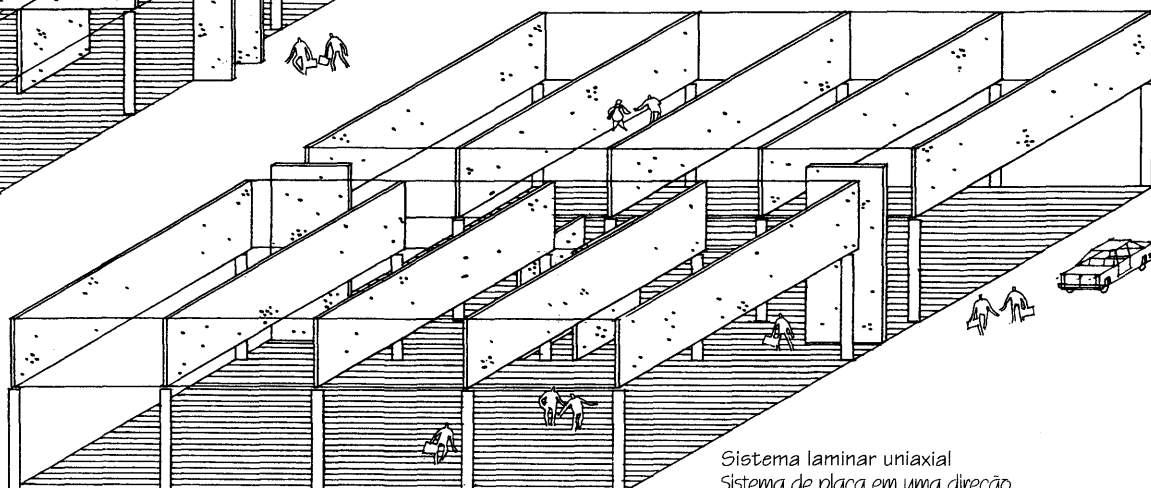
Trayectorias de compresión  
Trajetórias de compressão

Trayectorias de tracción  
Trajetórias de tensão

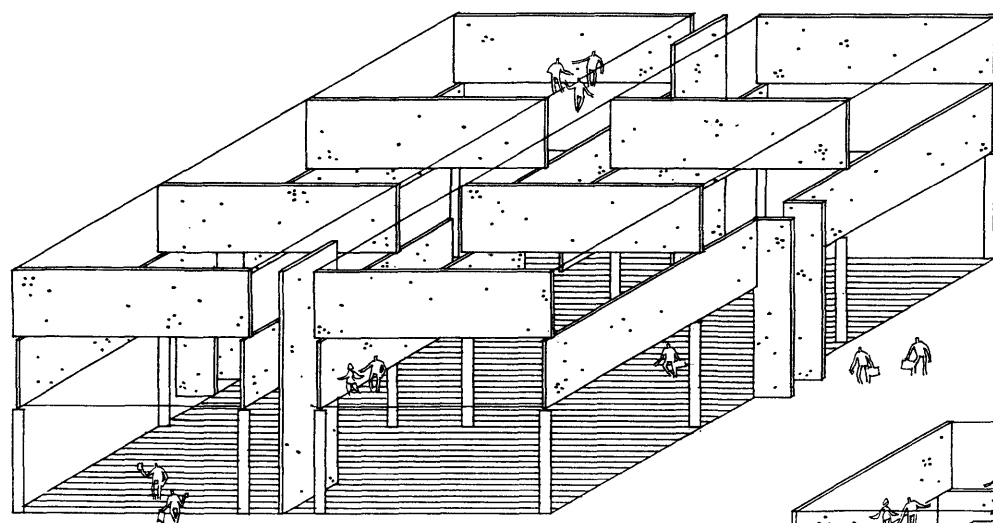
Lámina de un vano con un hueco central  
Placa de vão único com abertura central



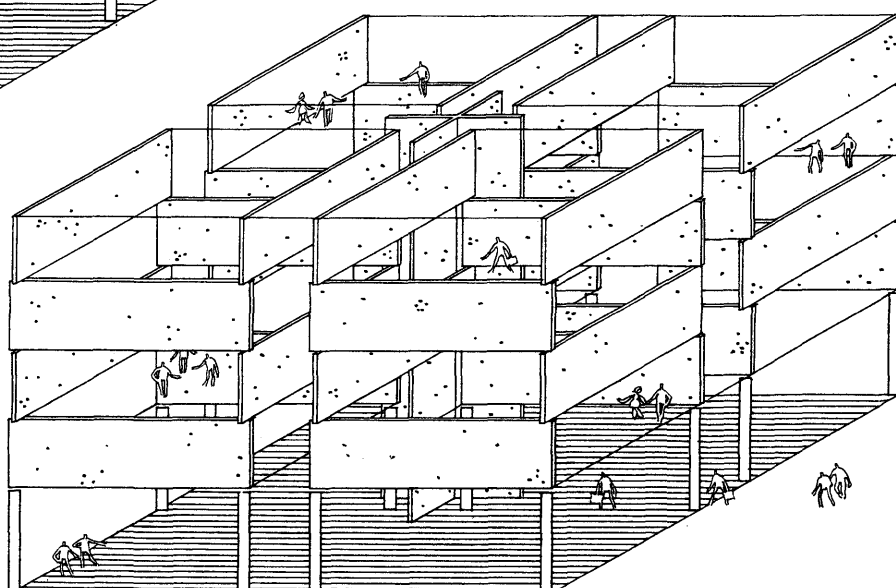
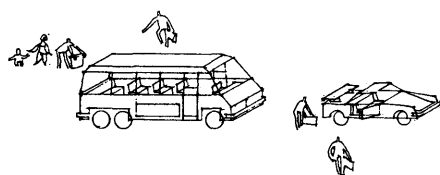
Sistemas de jácenas-pared con "láminas"  
de estabilización  
Sistemas de parede viga com estabilização  
de parede cisalhada



Sistema laminar uniaxial  
Sistema de placa em uma direção



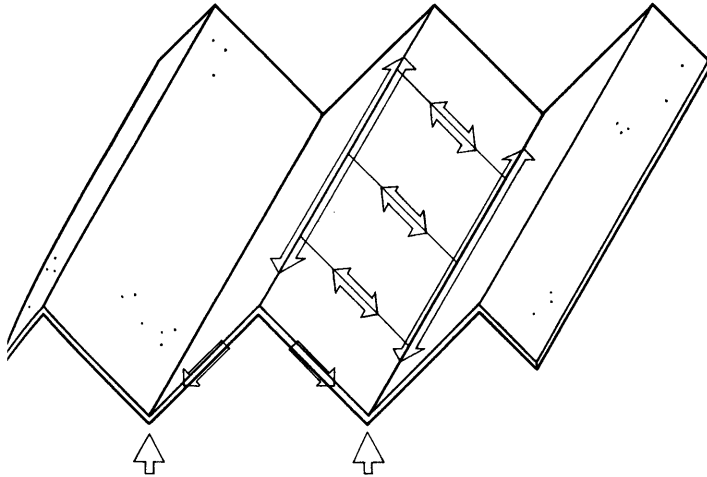
Sistema laminar biaxial  
Sistema de placa biaxial



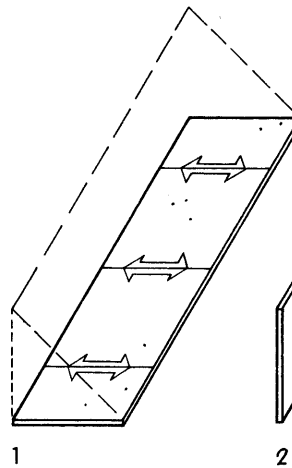
Sistema laminar de varias plantas con alternancia  
en la dirección de las luces  
Sistema de vários pavimentos com direções de vão alternadas

## Acción portante triple de la lámina simplemente plegada

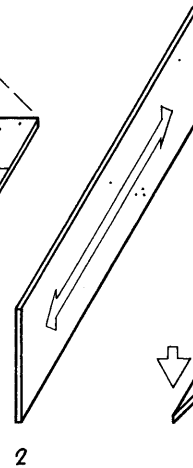
## Ação portante tripla de placa simplesmente dobrada



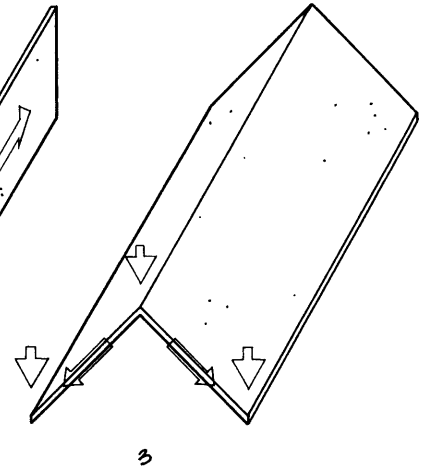
Transmisión simple de las cargas en una lámina simplemente plegada  
Fluxo simplificado de esforços em placa simplesmente dobrada



Acción de losa  
Efeito de laje



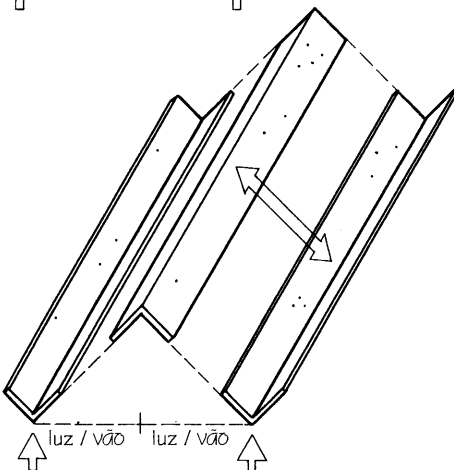
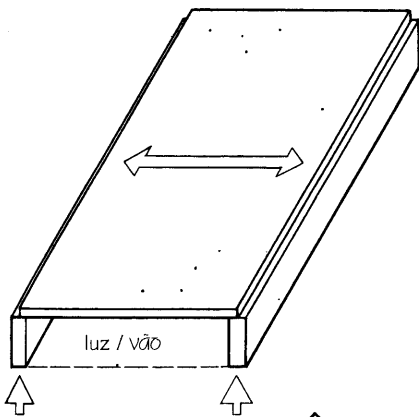
Acción de lámina  
Efeito de placa



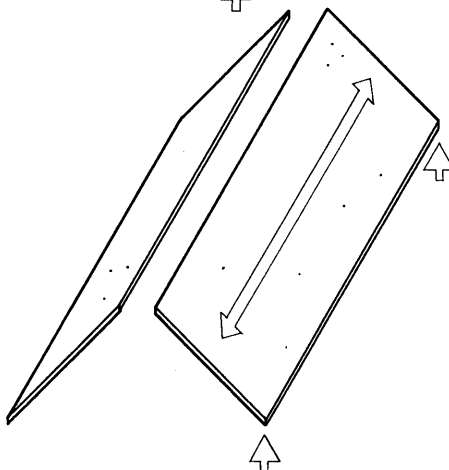
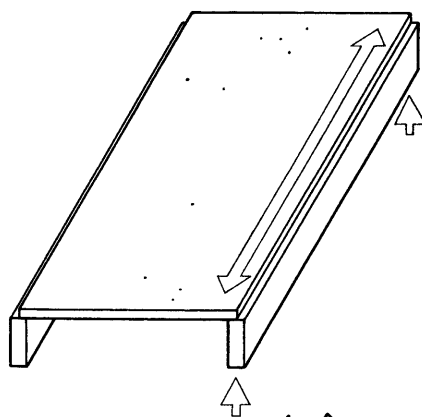
Acción de cercha (pórtico)  
Efeito de treliça (pórtico)

## Ventajas de la lámina simplemente plegada respecto a una losa nervada

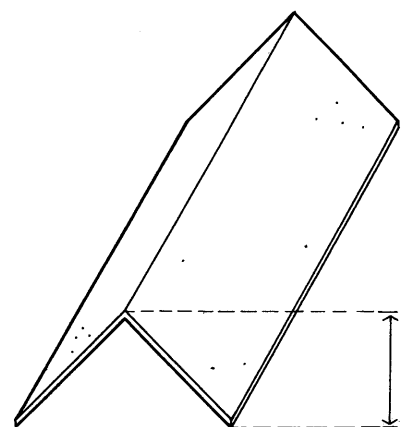
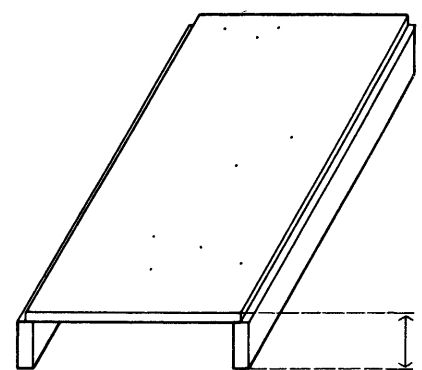
## Vantagens da estrutura simplesmente dobrada sobre a estrutura de laje nervurada



Reducción de la luz de la lámina gracias a que cada pliegue se comporta como un apoyo  
Redução do vão da laje, em sua metade aproximadamente, porque cada dobra atua como apoio rígido



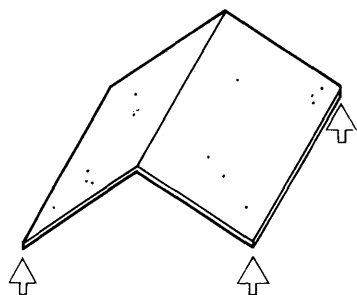
Eliminación de nervios, ya que cada superficie también actúa en sentido longitudinal como viga  
Eliminação de nervuras, porque cada plano atua como viga em direção longitudinal



Aumento de la capacidad portante debido al incremento del canto  
Aumento da capacidade de abarcar o vão através do aumento da altura da construção

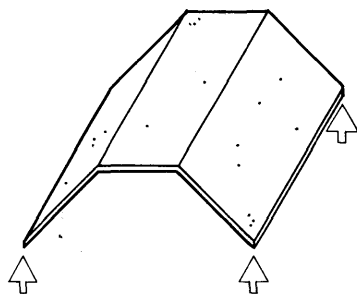
Influencia del pliegue en la distribución de tensiones  
y en la capacidad portante

Influência da dobra na distribuição dos esforços  
e na capacidade de cobertura



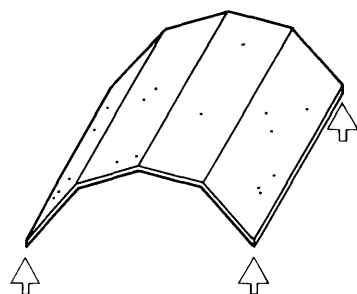
sistema con 1 pliegue  
sistema com uma dobra

Las tensiones normales en el canto común tienen la misma orientación, por lo que la distribución de tensiones no varía  
Os esforços de borda na dobra têm a mesma orientação. Assim, a distribuição de esforços permanece inalterada



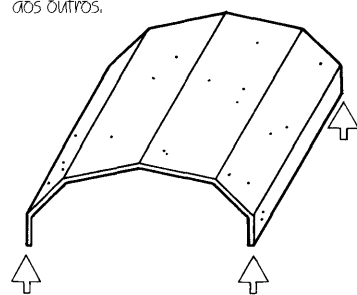
sistema con 2 pliegues  
sistema com duas dobras

La lámina horizontal no tensionada está sometida a esfuerzos cortantes. Con ello se disminuyen las tensiones en el borde  
A placa horizontal sem esforços próprios está submetida a esforços cortantes. Os esforços de borda, por consequência, podem ser reduzidos



sistema con 3 pliegues  
sistema com três dobras

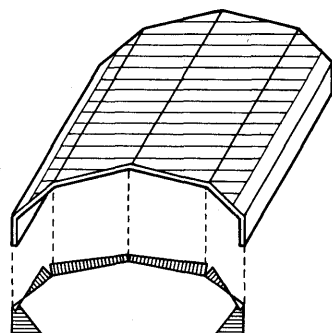
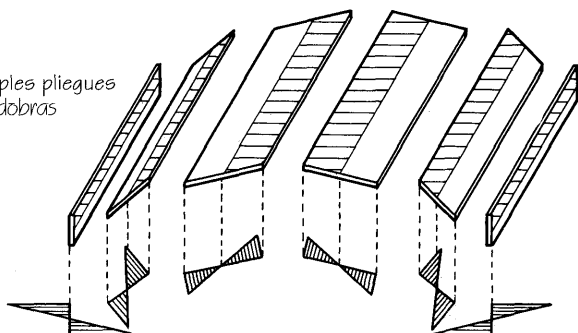
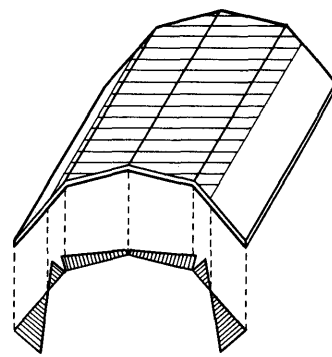
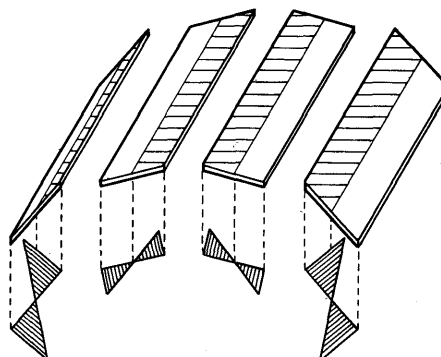
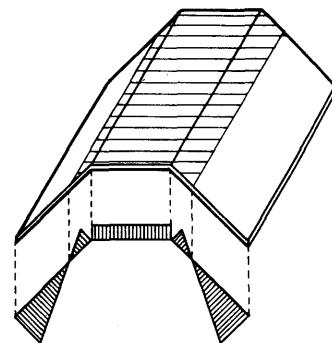
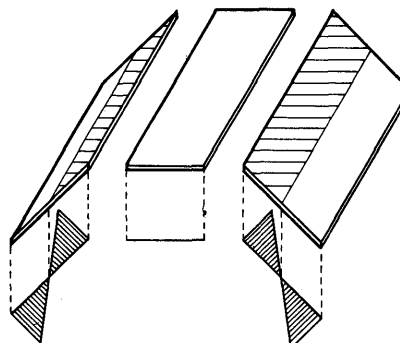
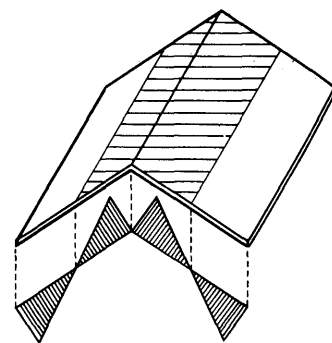
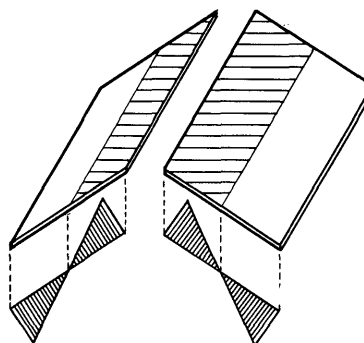
Las tensiones normales en el borde lateral son de sentido opuesto y se contrarrestan en gran parte mediante esfuerzos cortantes  
Os esforços de borda na dobra lateral têm tendências opostas. Através de cisalhamento compensam-se em grande medida uns aos outros.



sistema con múltiples pliegues  
sistema com várias dobras

Las tensiones normales aún se reparten más. Forma y comportamiento estructural se aproximan a una membrana cilíndrica

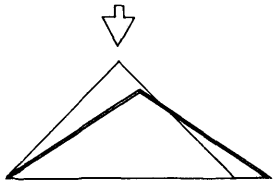
Os esforços são ainda mais distribuídos. A forma e o funcionamento assemelham-se aos de uma casca cilíndrica



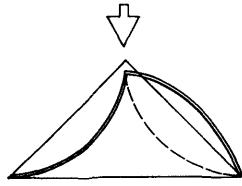


Rigidización frente a una deformación crítica del perfil plegado; formas típicas de rigidizadores transversales

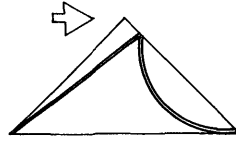
Enrriecimento contra deformações críticas de perfil dobrado; formas típicas de enrriecedores



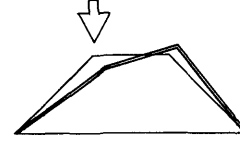
desplazamiento de los bordes inferiores  
deslocamento de bordas inferiores



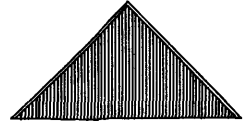
abolladura de ambas láminas  
abaulamento de ambas as placas



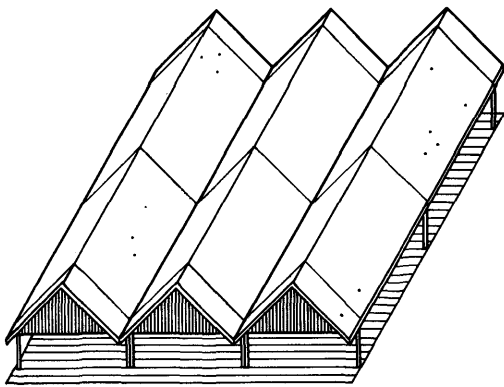
abolladura de una lámina  
abaulamento de uma placa



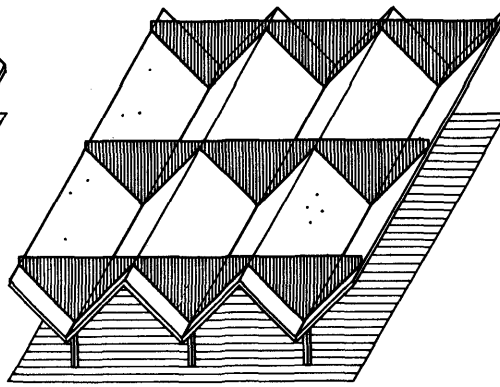
modificación del ángulo de pliegue  
mudança do ângulo de dobra



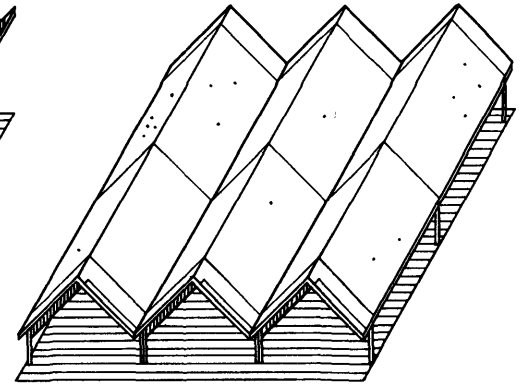
rigidización transversal  
enrriecimento transversal



Láminas transversales inferiores  
Lâminas transversais inferiores



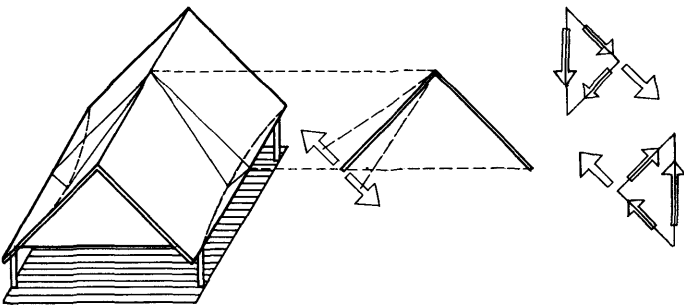
Láminas transversales superiores  
Lâminas transversais superiores



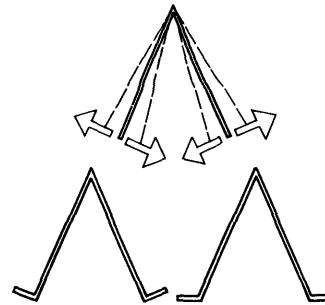
Pórticos transversales inferiores  
Pórticos transversais inferiores

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

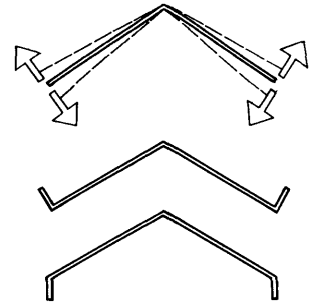
Enrriecimento contra as deformações críticas da borda livre / formas típicas de vigas de borda



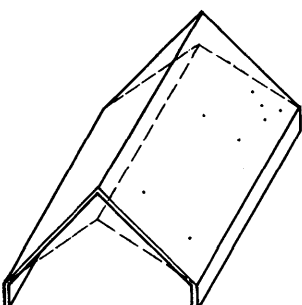
deformación debido a la aparición de esfuerzos perpendiculares al plano  
deformação devido aos esforços normais ao plano



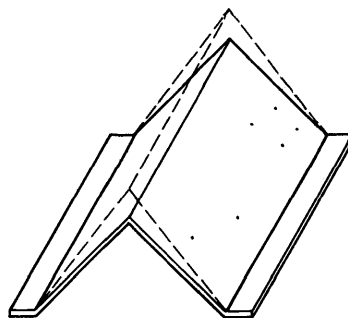
Viga rigidizadora de borde para pliegues agudos  
Viga de borda para dobras alcantiladas ou agudas



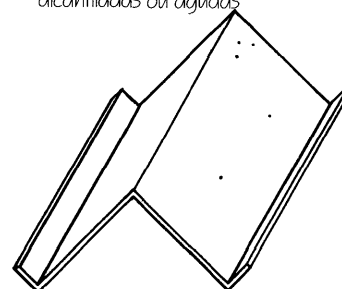
para pliegues planos  
para dobras achatadas



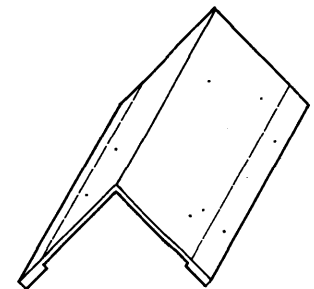
Viga rigidizadora vertical:  
para pliegues chatos  
Viga vertical para dobras achatadas



Viga rigidizadora horizontal:  
para pliegues agudos  
Viga horizontal para dobras agudas



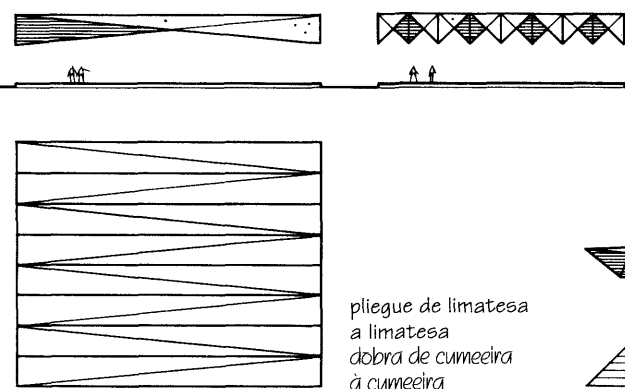
Viga perpendicular al plano:  
lo más eficaz  
Viga normal ao plano: mais eficiente



Viga rigidizadora de borde  
en el plano de las láminas  
Viga de borda integrada na placa

## Superficies con pliegues opuestos

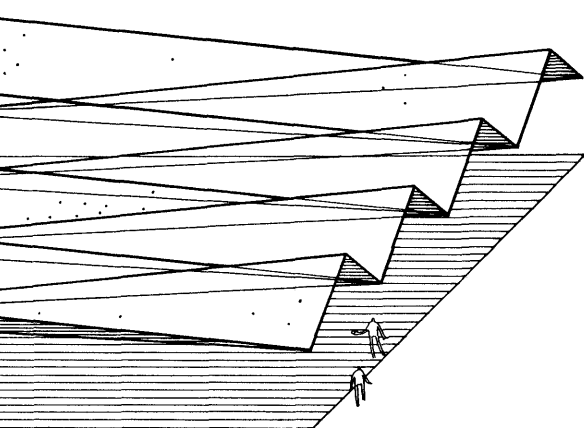
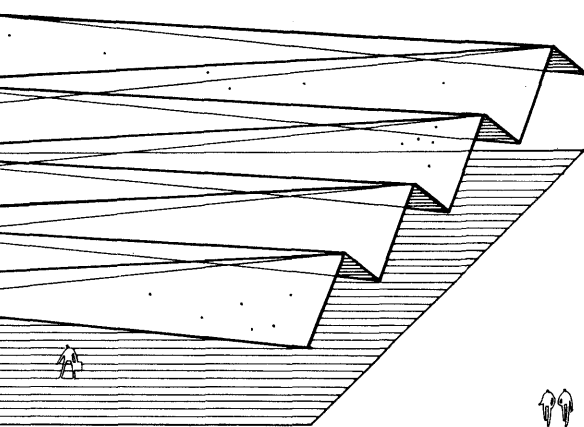
Perfiles plegados de igual profundidad y altura sobre el suelo



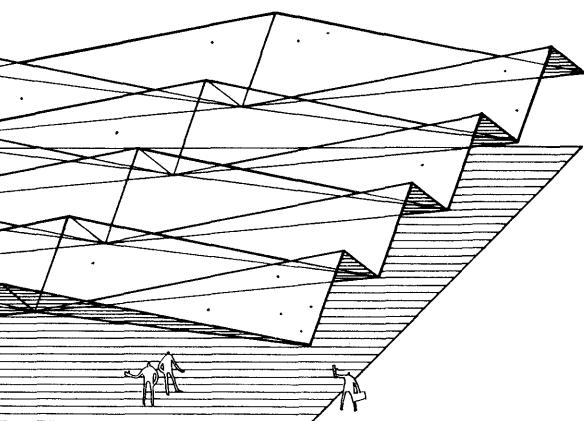
pliegue de limatesa  
a limatesa  
dobra de cumeeira  
à cumeeira

## Superficies com dobras contrapostas

Perfis dobrados de mesma profundidade e mesma elevação da base



pliegue de limatesa  
a limahoya  
dobra de cumeeira  
à água furtada



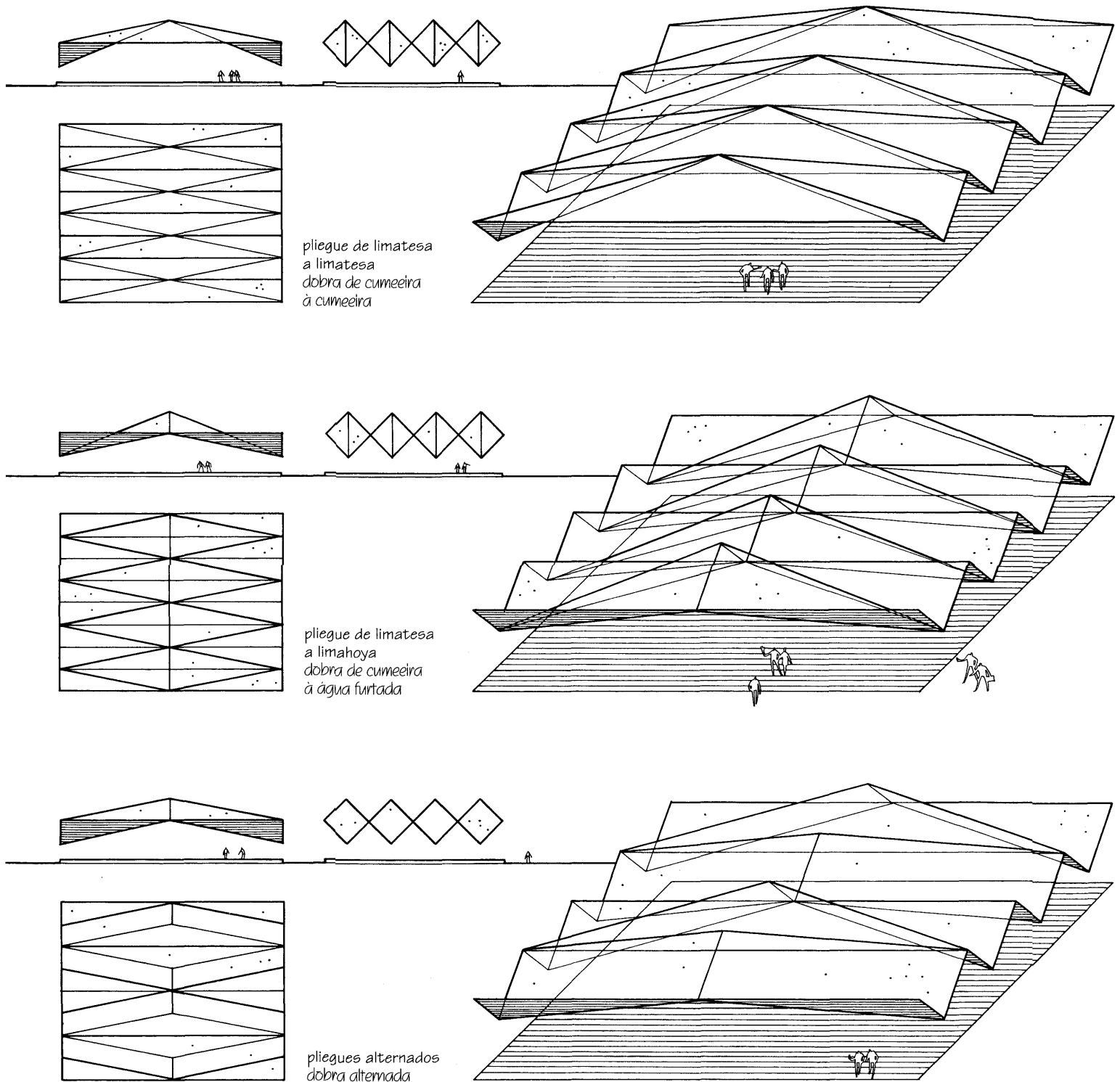
perfil opuesto  
en el centro  
contraposição  
de perfil no centro

## Superficies con pliegues opuestos

Perfiles plegados de igual profundidad; perfil central elevado sobre el perfil extremo

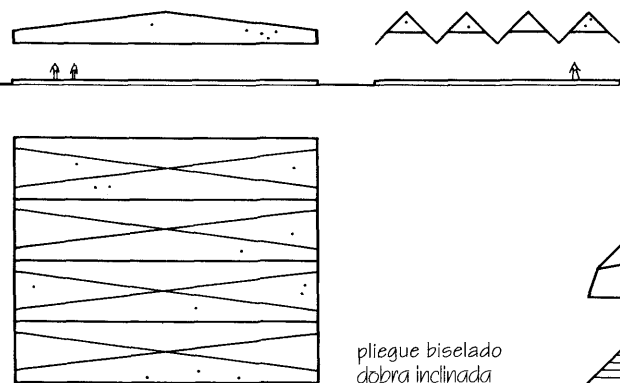
## Superficies com dobras contrapostas

Profundidade de perfis idêntica, dobra central elevada sobre a dobra de borda.



## Superficies con pliegues cónicos

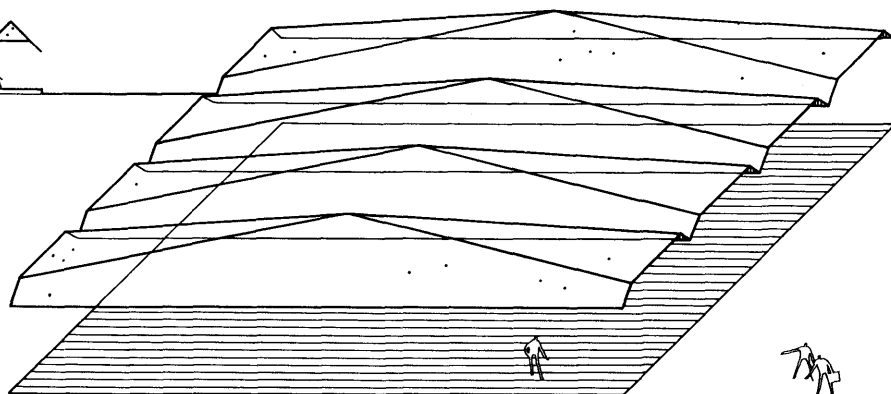
perfil plegado continuo con el canto superior biselado



pliegue biselado  
dobra inclinada

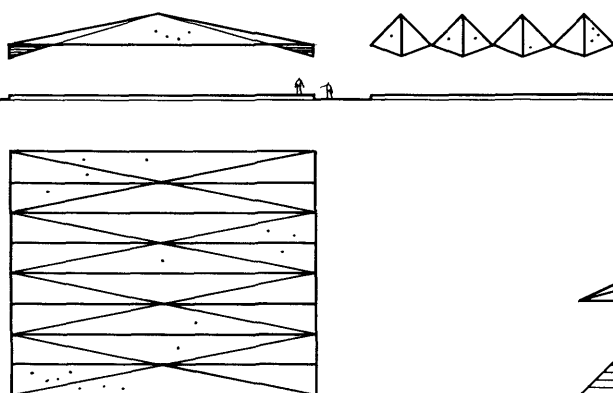
## Superficies com dobras cônicas

perfil de dobra continua com borda superior incisiva e inclinada



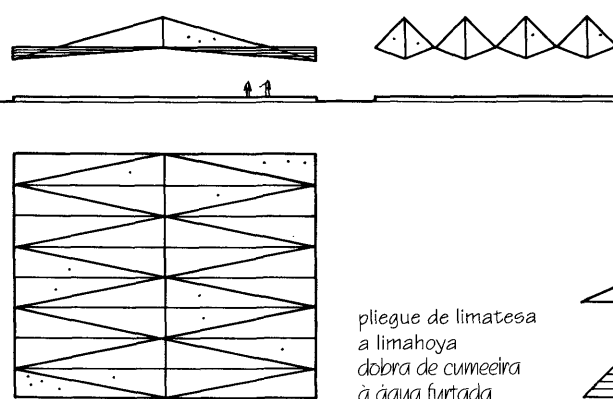
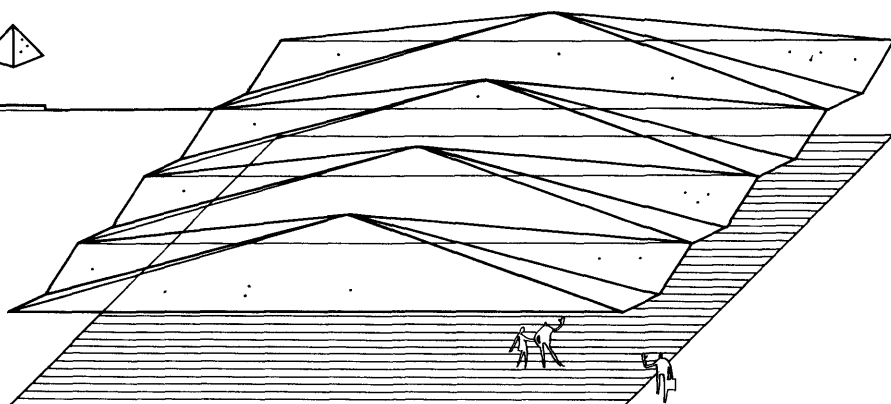
## Superficies con pliegues opuestos

perfil central elevado y de mayor profundidad que los perfiles de borde

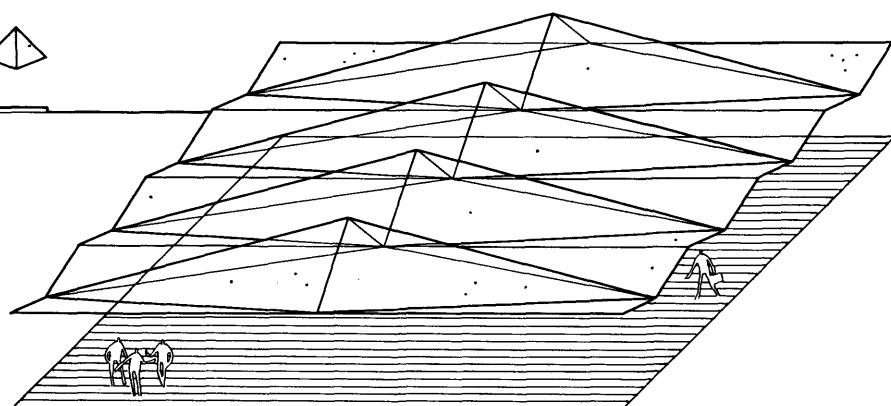


## Superficies com dobras contrapostas

perfil central elevado com profundidade de perfil maior do que a do perfil de borda

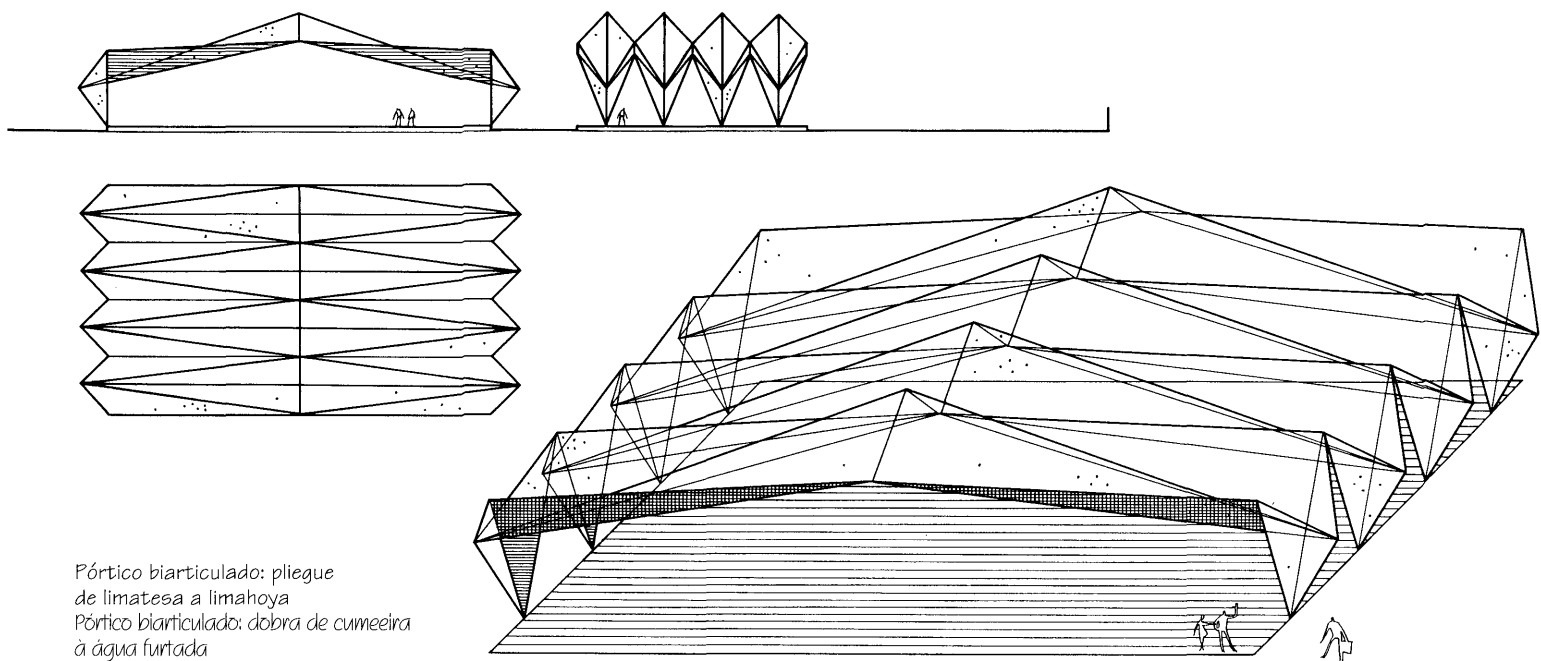
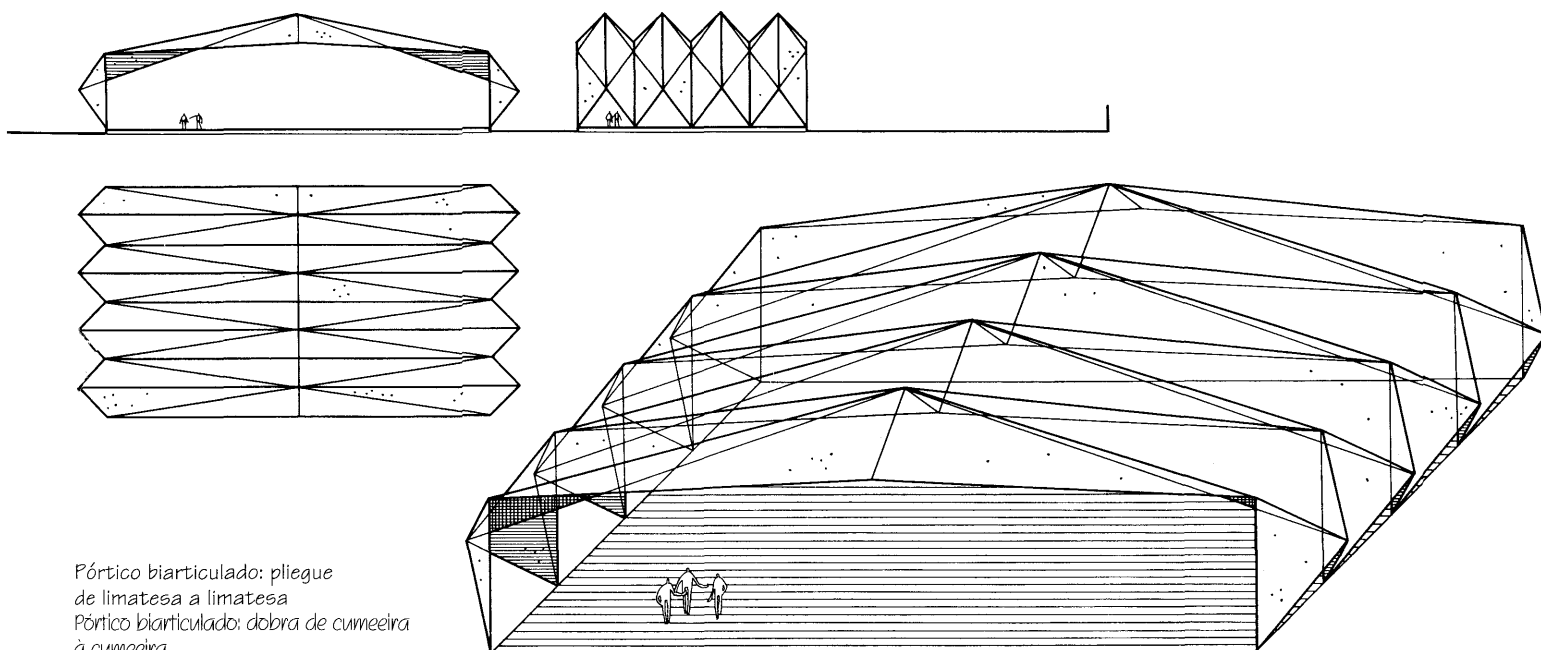


pliegue de limatesa  
a limahoya  
dobra de cumeeira  
à água furtada



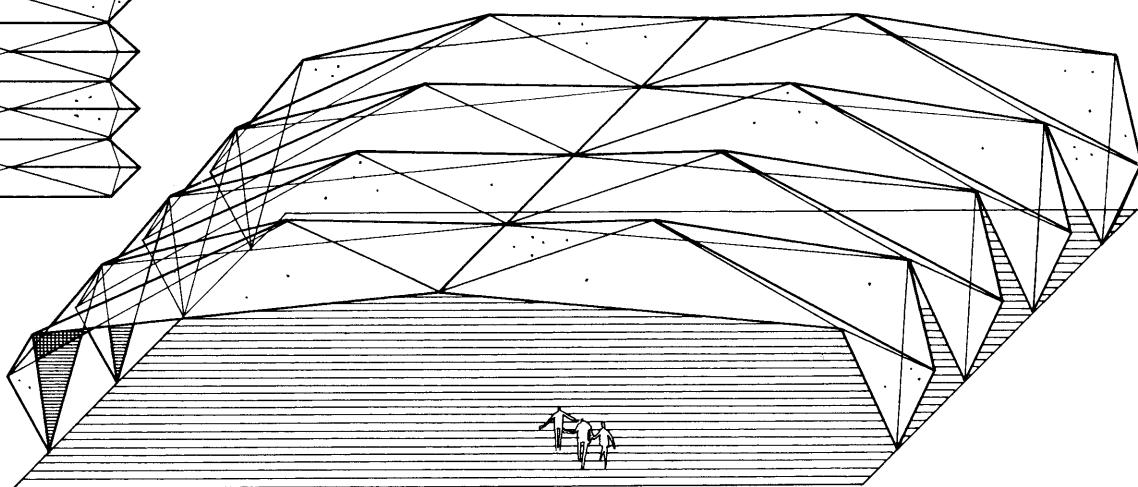
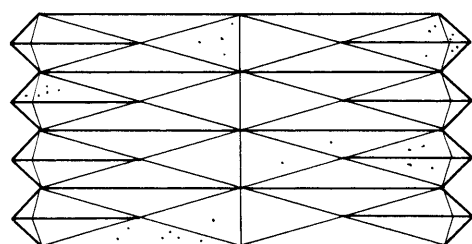
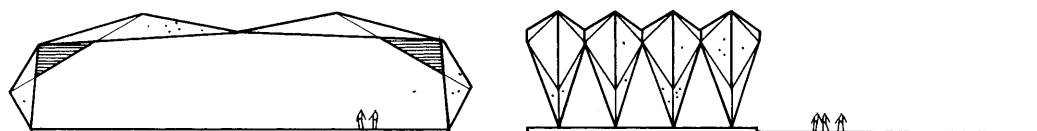
Sistemas estructurales lineales formados por superficies plegadas

Sistemas de estrutura linear compostos de superficies dobradas

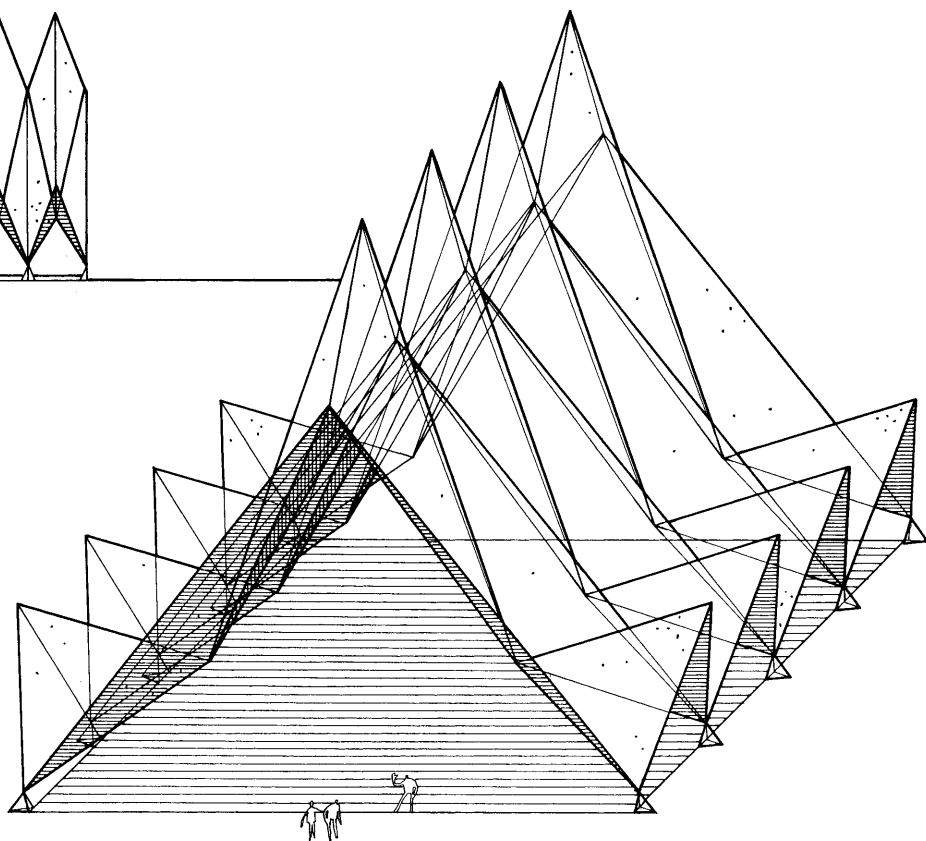
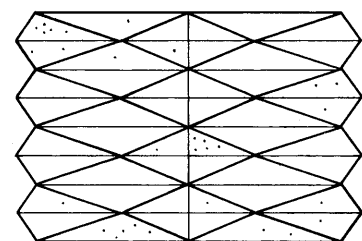
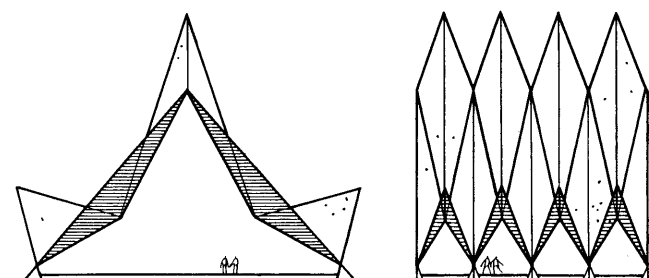


Sistemas estruturais lineales formados por superficies plegadas

Sistemas de estrutura linear compostos de superficies dobradas



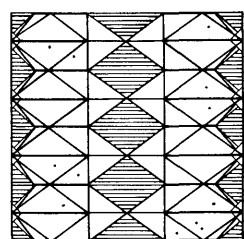
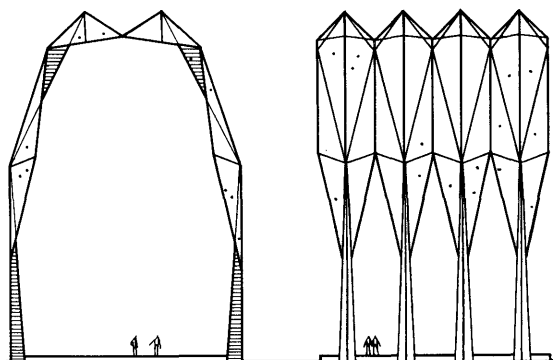
Pórtico triarticulado: pliegue de limatesa  
Pórtico triarticulado: dobra de cumeeira



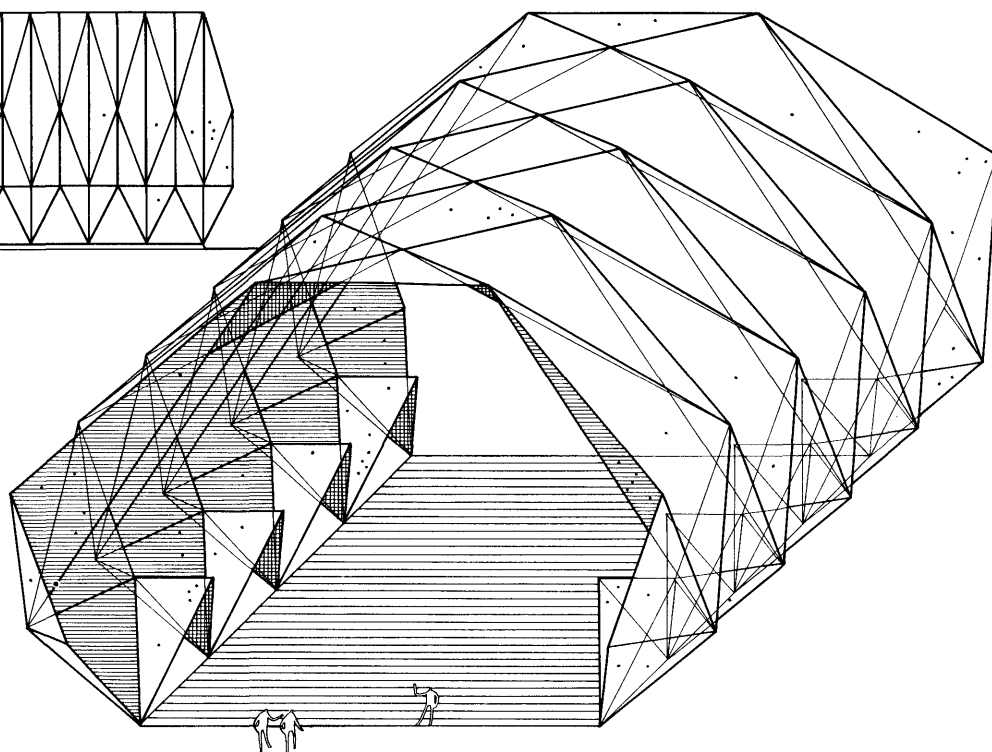
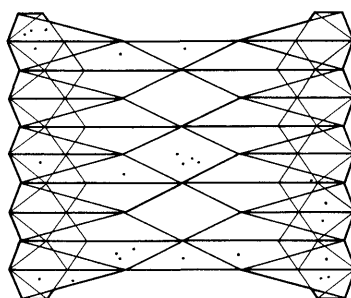
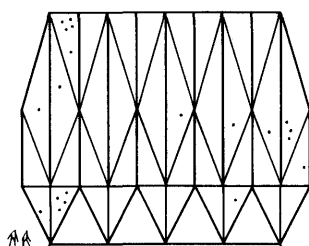
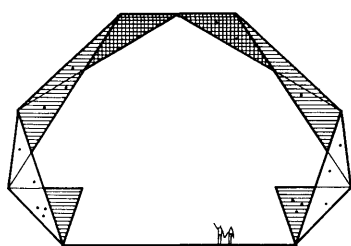
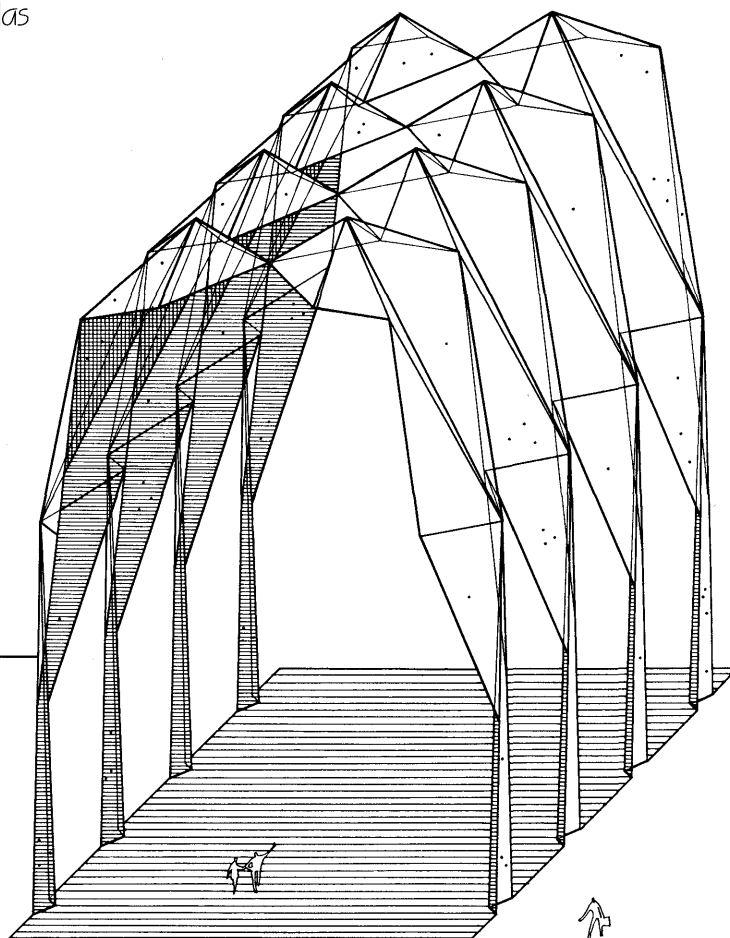
Pórtico biarticulado a dos águas:  
pliegue de limatesa a limahoya  
Pórtico biarticulado em duas águas: dobra de cumeeira à água furtada

Sistemas estructurales lineales formados por superficies plegadas

Sistemas estruturais lineares compostos de superfícies dobradas



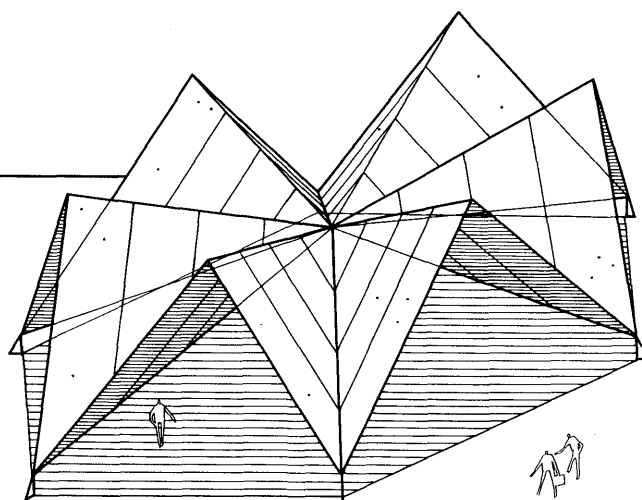
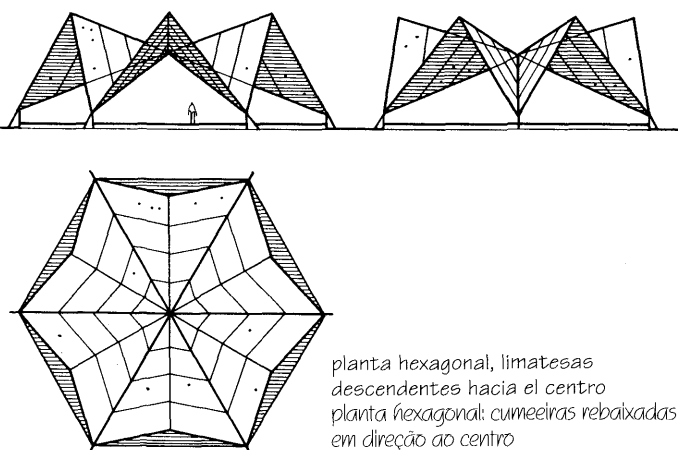
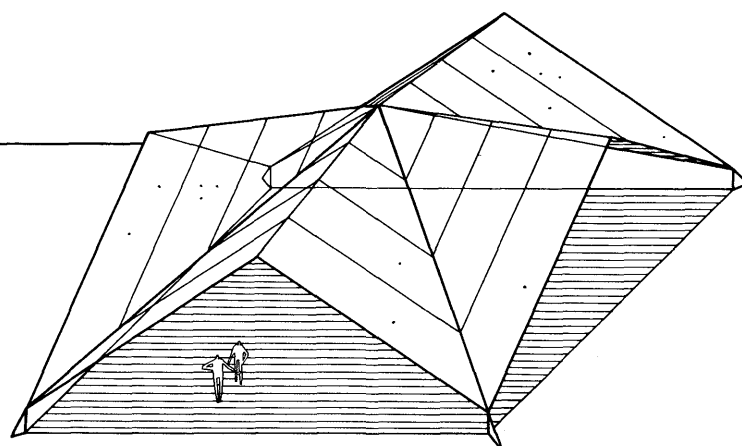
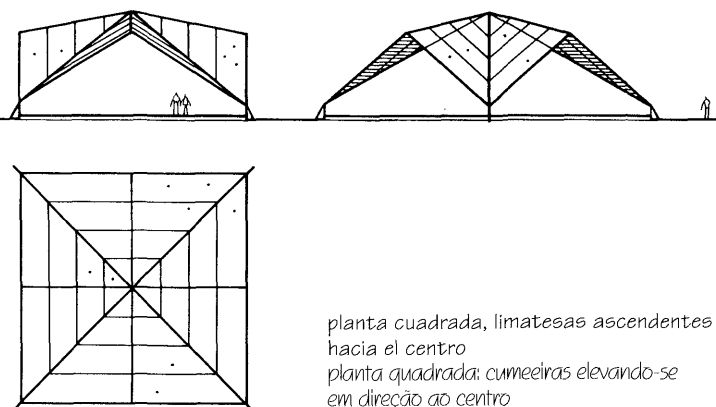
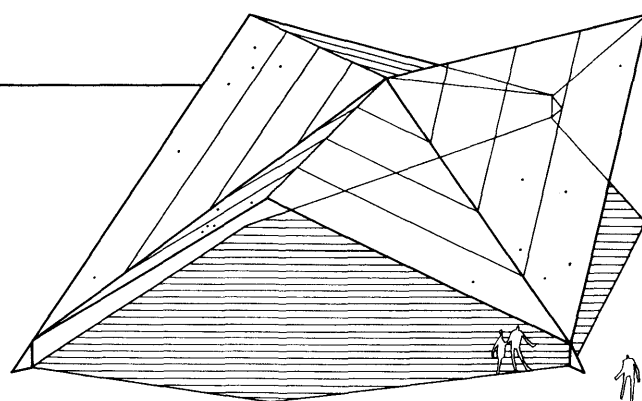
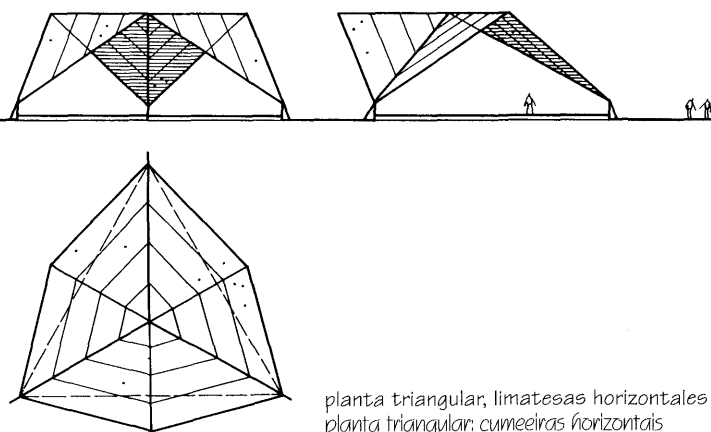
Arco con articulación en la cumbrera  
Arco com articulação no topo



Arco triarticulado  
Arco triarticulado

Sistemas estructurales lineales a base  
de intersecciones de superficies plegadas  
superficies con pliegues sencillos sobre una planta de geometría especial

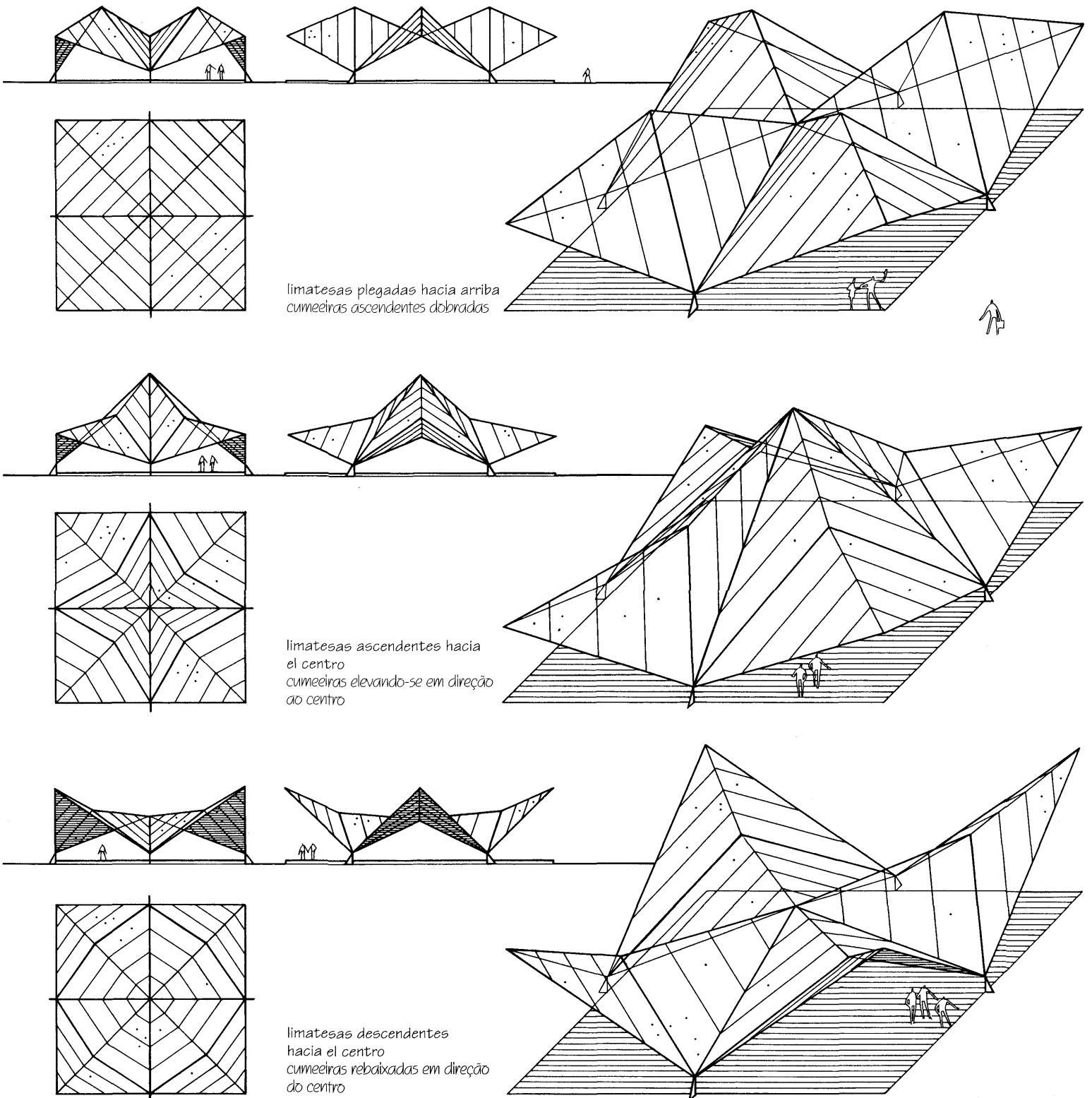
Sistemas estruturais baseados na interseção  
de superficies dobradas  
superficies simples dobradas sobre plantas geométricas especiales





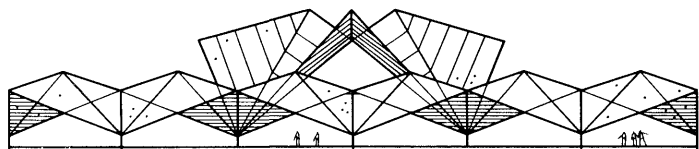
Sistemas estructurales lineales a base  
de intersecciones de superficies plegadas  
superficies con pliegues en cruz sobre una planta cuadrada

Sistemas estruturais baseados na interseção  
de superficies dobradas  
superficies dobradas cruzadas dispostas diagonalmente sobre planta quadrada

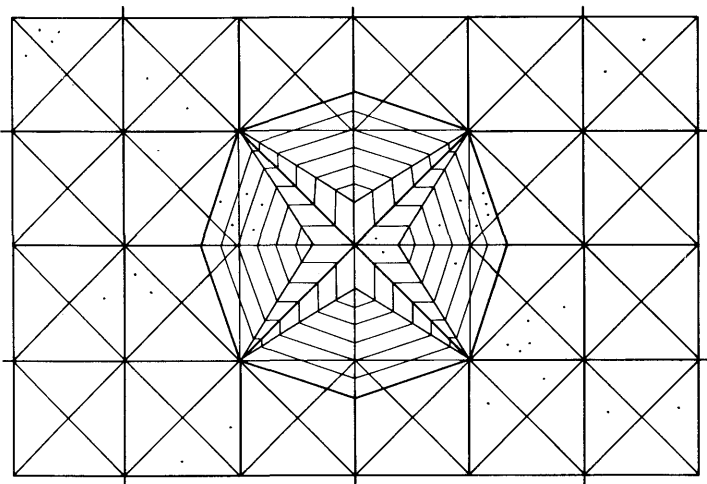


Sistemas estructurales lineales a base  
de intersecciones de superficies plegadas  
composición de superficies con pliegues en cruz sobre una planta cuadrada

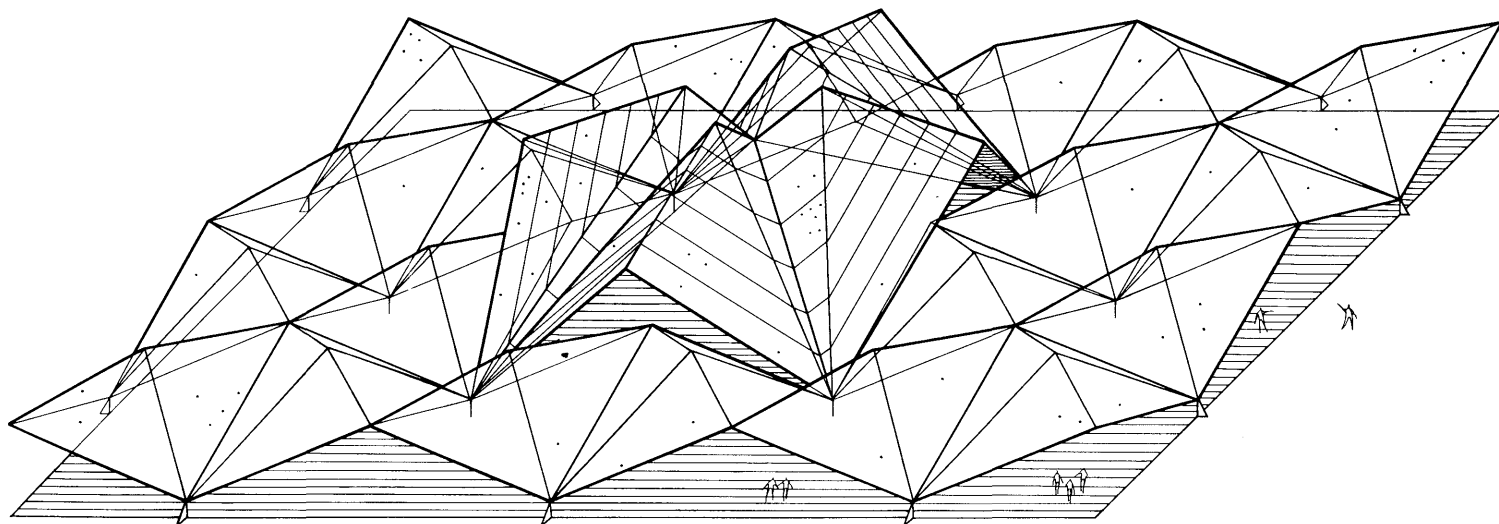
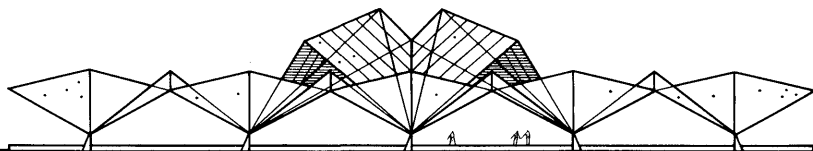
Sistemas estruturais baseados na interseção  
de superfícies dobradas  
composição de superfícies dobradas dispostas em forma de cruz sobre planta quadrada



alzado frontal  
perspectiva frontal

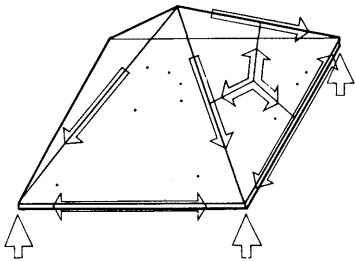
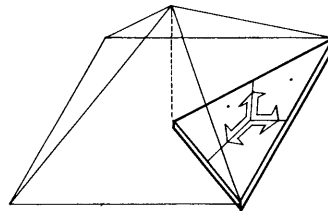
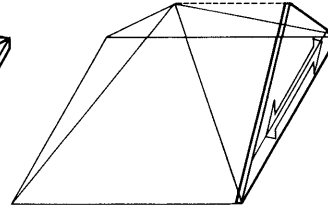
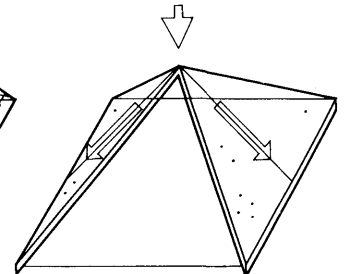


alzado a 45°  
perspectiva em ângulo de 45°



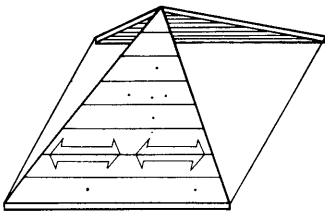
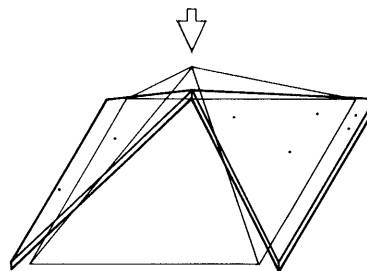
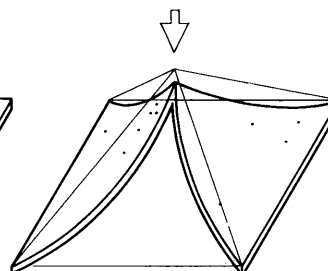
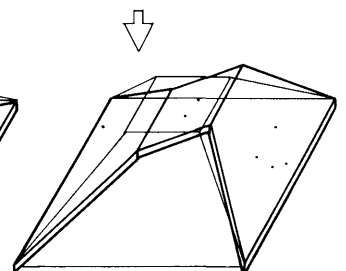
## Acción portante triple de la losa plegada piramidal

## Ação tripla da placa dobrada em forma de pirâmide

transmisión simplificada de las cargas  
fluxo de esforço simplificadoacción de la losa  
efeito de lajeacción de la lámina  
efeito de placaacción de la cercha (pórtico)  
efeito de treliça

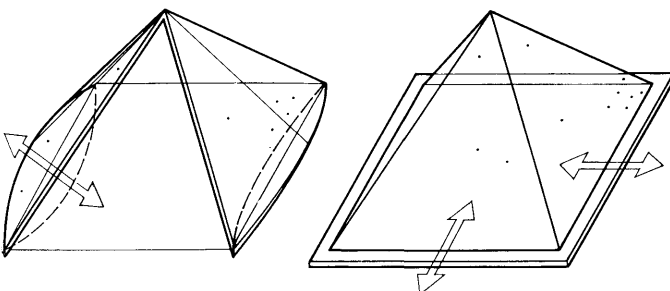
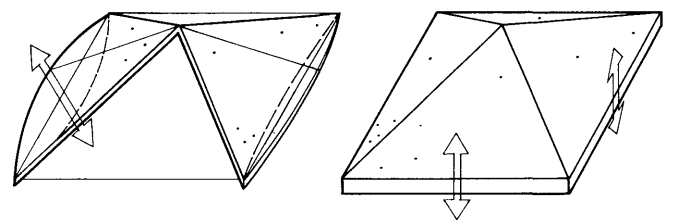
## Rigidización integral frente a deformaciones del perfil plegado

## Enrijecimento integral contra deformações do perfil dobrado

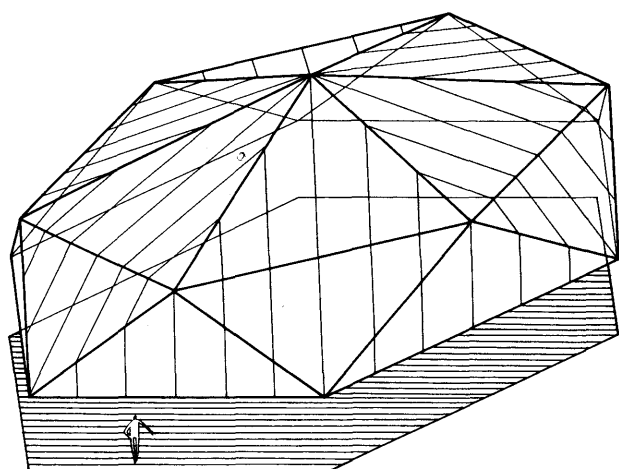
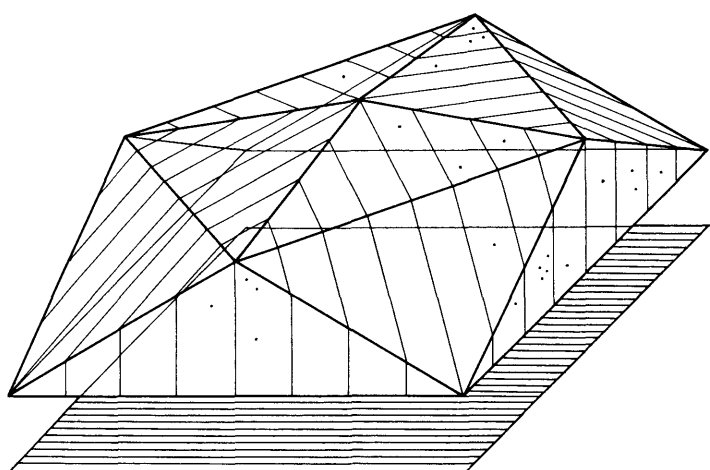
cada par de superficies opuestas actúa  
como rigidizadora del otro par  
cada par de superficies opuestas funciona como  
enrijecedor do outro par de superficiesdesplazamiento de los bordes  
inferiores  
deslocamento de bordas inferioresabolladura de ambas láminas  
abaulamento das placasmodificación del ángulo de plegado  
mudança do ângulo de dobra

## Rigidización frente a una deformación crítica del borde inferior

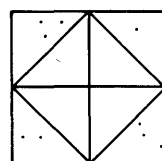
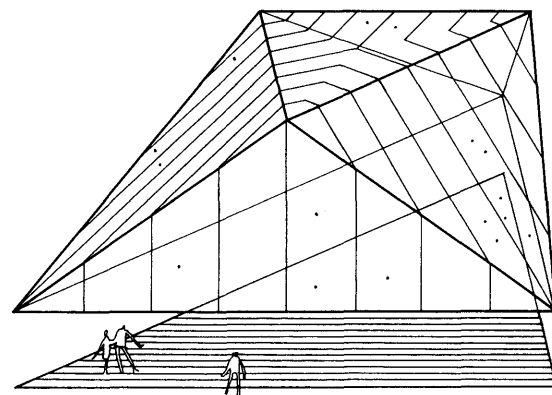
## Enrijecimento contra deformação crítica de borda livre

en el caso de superficies de pendiente elevada, los componentes principales  
de la abolladura son horizontales  
rigidizador horizontalem superfícies de inclinação elevada a maior componente da direção do  
abaulamento é horizontal  
enrijecedor horizontalen el caso de superficies de poca pendiente, los componentes principales  
de la abolladura son verticales  
rigidizador verticalem superfícies de pouca inclinação, a maior componente da direção do  
abaulamento é vertical  
enrijecedor vertical

Sistemas estructurales lineales formados por superficies triangulares plegadas

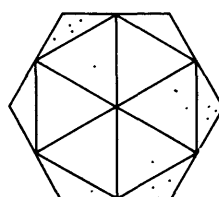
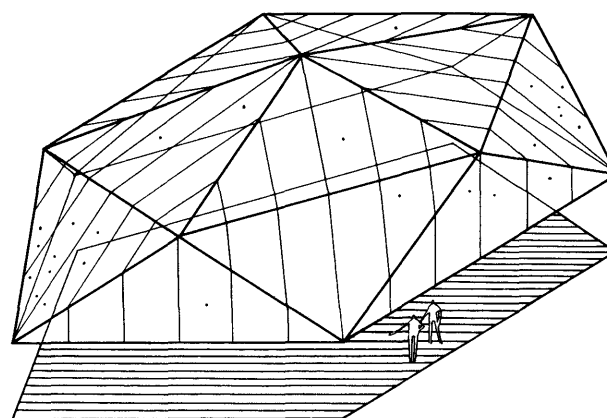
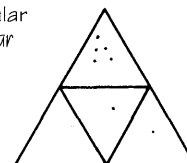


Sistemas estruturais de superfícies dobradas triangulares



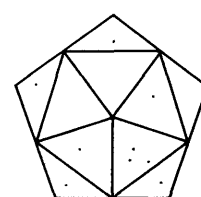
planta cuadrada  
planta quadrada

planta triangular  
planta triangular



planta hexagonal  
planta hexagonal

planta pentagonal  
planta pentagonal

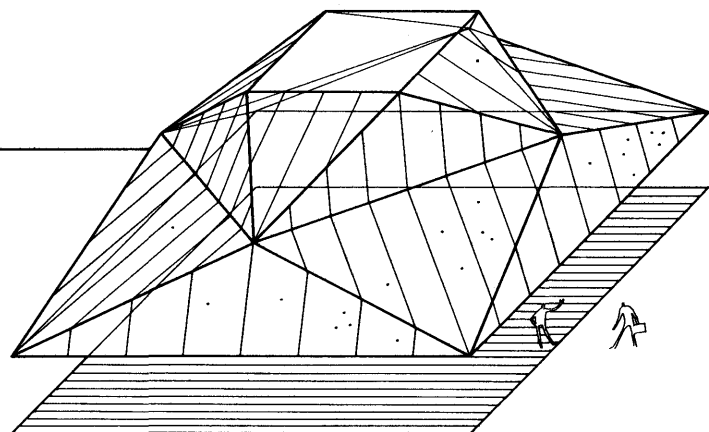
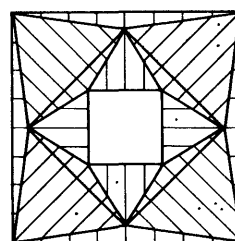
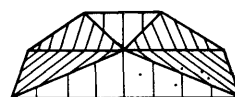
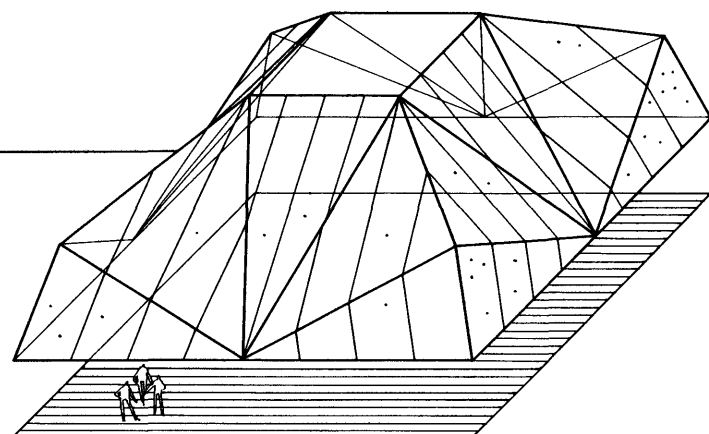
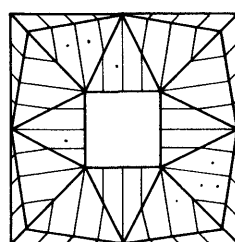
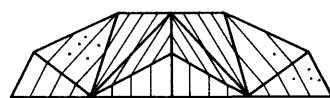
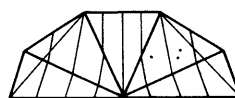
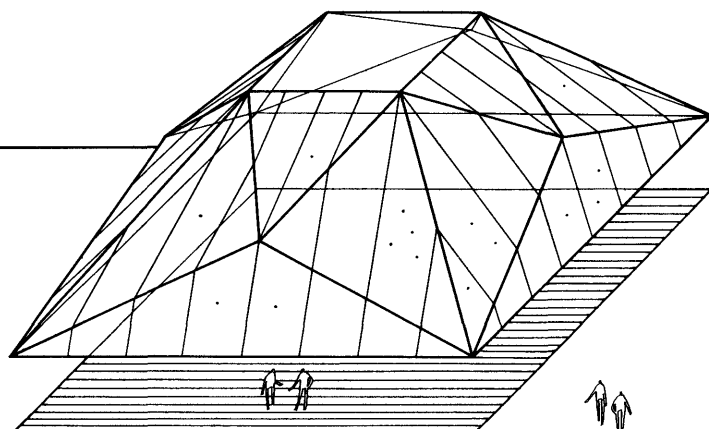
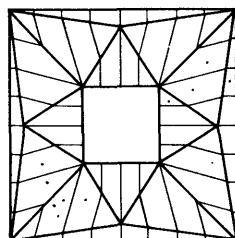
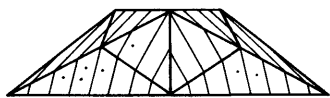
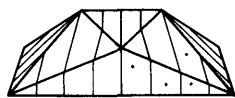
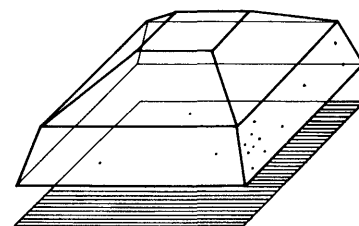
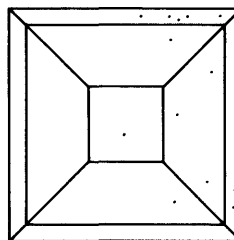


Variaciones del plegado de una forma básica dada

Variações para o dobramento de uma dada forma estrutural básica

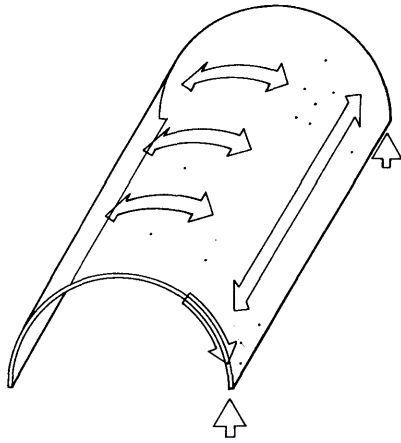
forma básica:  
pirâmide truncada  
con dos pliegues

forma estructural básica:  
pirâmide truncada  
duplamente dobrada

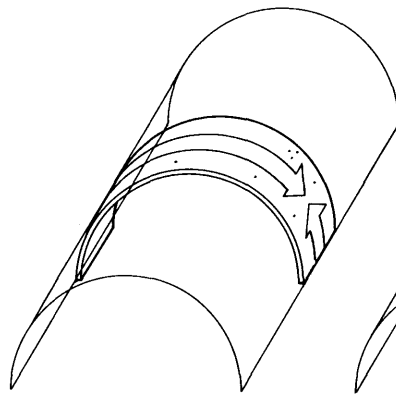


Acción portante triple de una lámina de curvatura simple

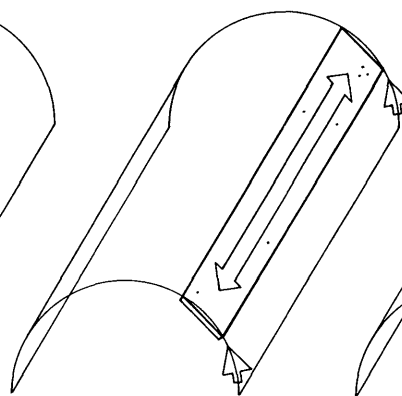
Ação portante tripla de casca de curva simples



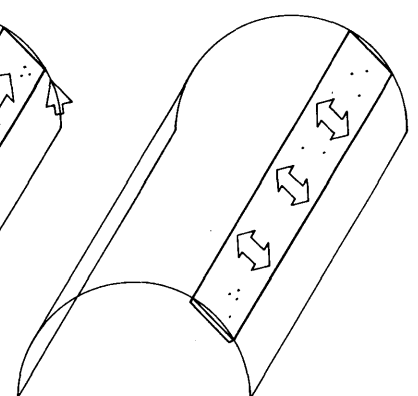
transmisión simplificada de las cargas  
fluxo de esforço simplificado



efecto de arco  
efeito de arco



efecto de lámina  
efeito de placa

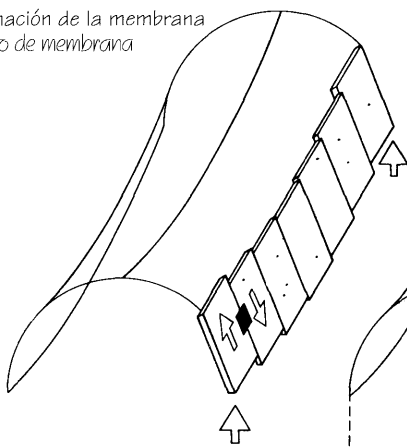


efecto de lámina  
efeito de laje

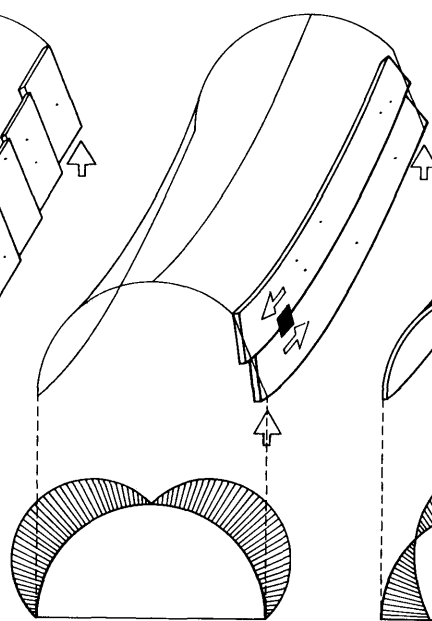
Mecanismo portante de la lámina de curvatura simple.  
Esfuerzos de la membrana

Mecanismo portante de casca curva simples.  
Esforços da casca

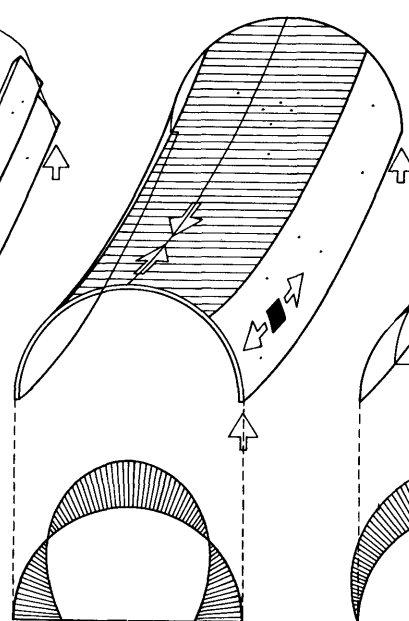
deformación de la membrana  
deflexão de membrana



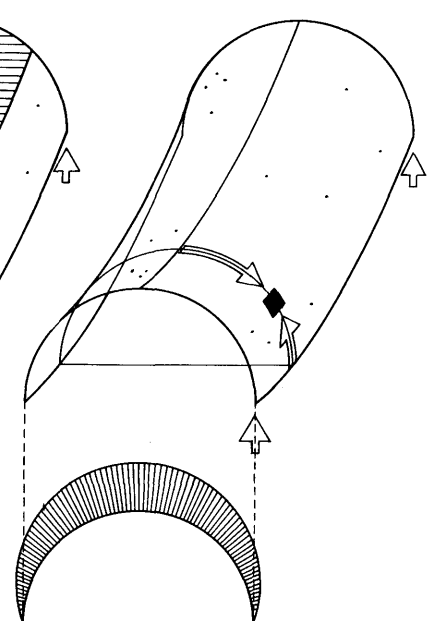
distribución de los esfuerzos  
de la membrana  
diagrama de esforços de membrana



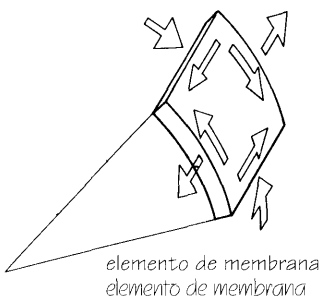
esfuerzos cortantes de la membrana  
esforço cortante da casca



esfuerzos longitudinales de la membrana (tracción/compresión)  
esforço longitudinal da casca



esfuerzos tangenciales de la membrana, fuerzas anulares (compresión)  
esforço tangencial da casca



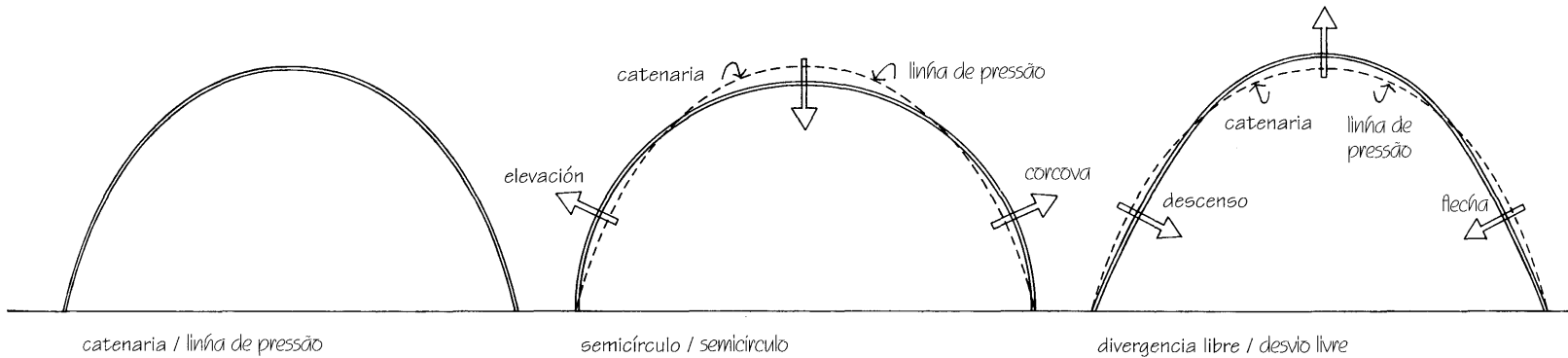
elemento de membrana  
elemento de membrana

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.

Como em uma lona esticada entre dois arcos rígidos, os elementos de superfície dão origem à carga, até que se criem suficientes esforços normais e de cisalhamento, para transmiti-la aos arcos finais.

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

Influência da curvatura transversal sobre a ação longitudinal da casca

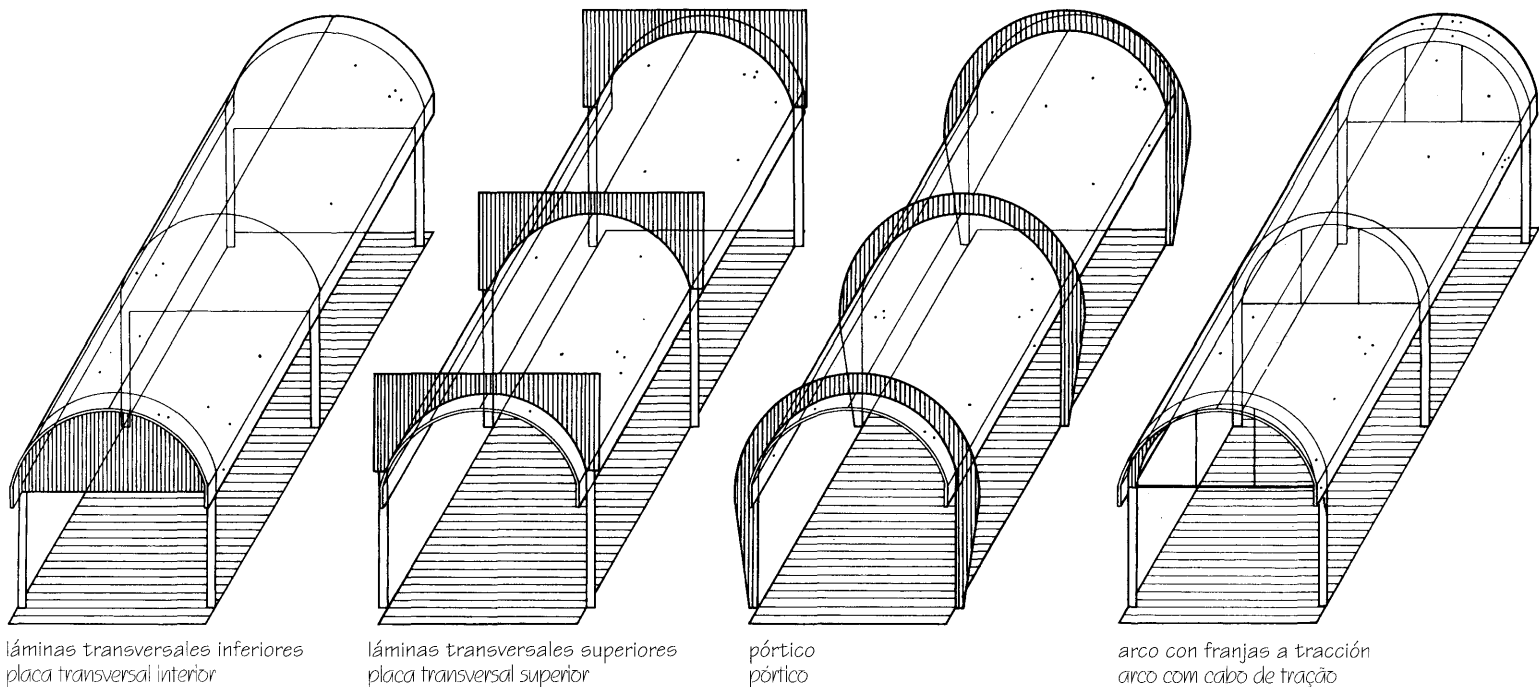
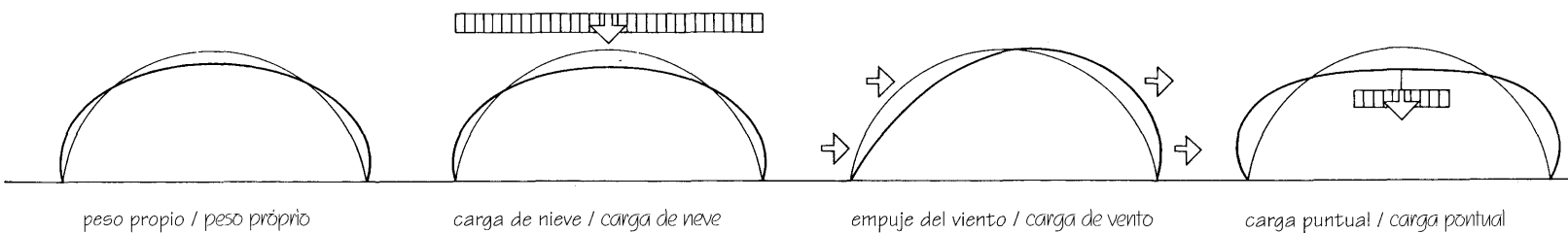


Si la curvatura transversal es una catenaria, todo el peso propio se transmite a los bordes de la membrana y no se emplea la capacidad portante de la membrana en sentido longitudinal (esfuerzos longitudinales y cortantes = 0). Sólo al elegir una curva transversal que se aparte de la catenaria se solicita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

Se a curvatura transversal segue a linha de pressão, todo o peso próprio é canalizado para a borda da casca e a capacidade de resistência longitudinal da membrana não entra em ação (esforços de cisalhamento e longitudinais = 0). Somente pela escolha de uma curvatura que se desvie da linha de pressão a membrana será forçada longitudinalmente. A grandeza dependerá do grau de desvio.

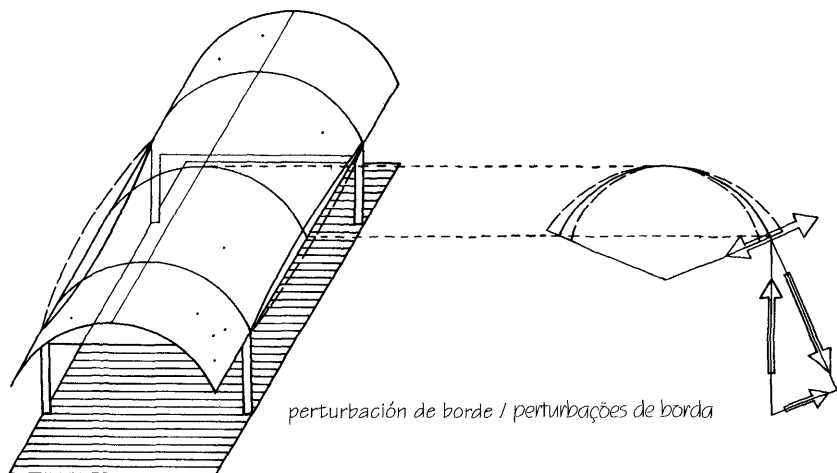
Rigidización frente a una deformación crítica del perfil transversal. Formas típicas de rigidizadores transversales

Enrijecimento contra a deformação crítica do perfil transversal. Formas típicas de enrijecedores



## Rigidización longitudinal del borde libre de la membrana

Formas estandarizadas de rigidizadores de borde



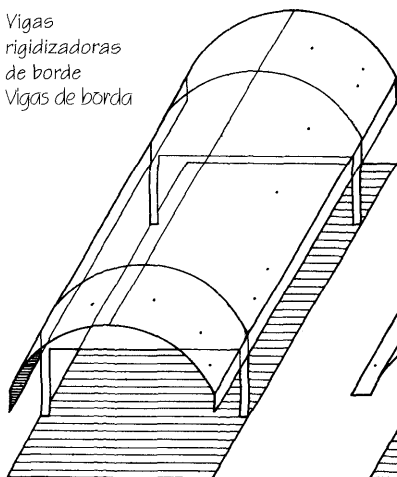
## Enrilecimiento longitudinal da borda livre da casca

Formas padronizadas de enrilecedores de borda

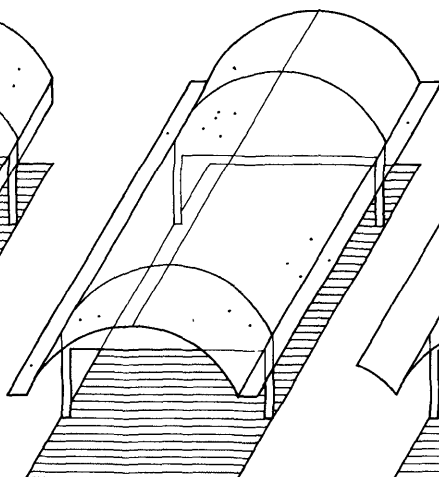
Si la tangente del extremo no es vertical, una reacción en el punto de apoyo del borde de la membrana generará un momento flector de borde. Rigidizando el borde de la membrana se puede absorber este esfuerzo, aunque aparece una perturbación de flexión debido a la diferencia de rigidez entre la membrana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

Se a tangente final não for vertical, a reação componente normal ao plano introduzirá uma flexão na borda. Através de um enrilecimento longitudinal da borda, a força componente pode ser resistida, mas em consequência da diferença de rigidez entre a casca e a viga de borda, surgirão perturbações de borda com momentos fletores.

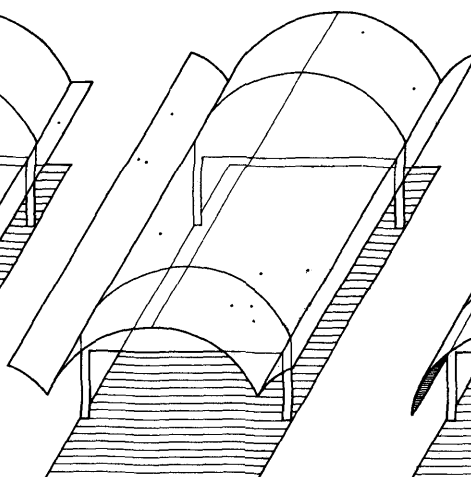
Vigas rigidizadoras de borde  
Vigas de borda



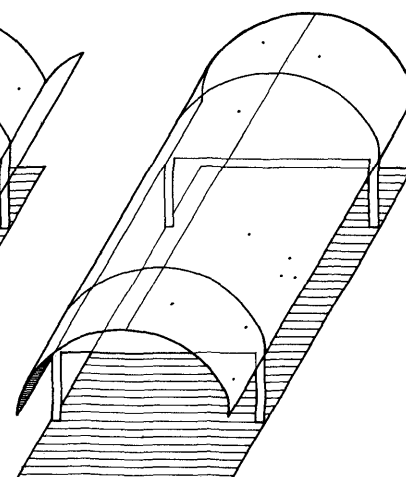
Viga de borde vertical  
Viga de borda vertical



Viga de borde horizontal  
Viga de borda horizontal



Membrana adyacente  
Faixa de casca adiacente

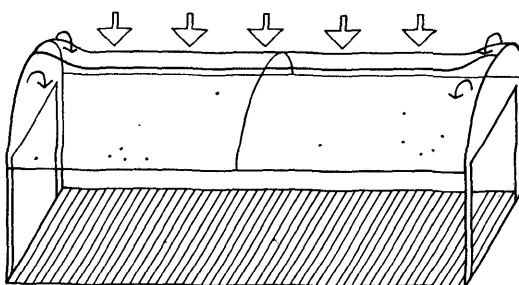


Arco de transición hacia el borde vertical  
Curva de transição para extremidade vertical

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

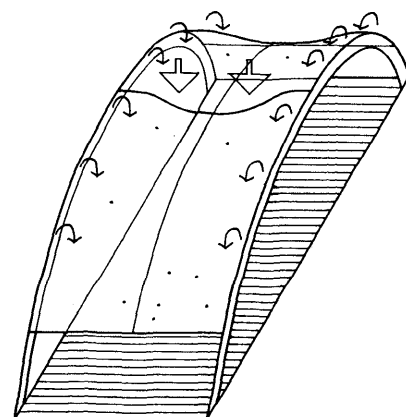
Los esfuerzos de arco (compresiones) provocan una reducción de las fibras transversales y un descenso de la parte superior del arco. En la proximidad de los rigidizadores transversales, el arco no puede deformarse y aparece una flexión. En las membranas largas con forma de bóveda de cañón, la perturbación 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.

As forças de arco (compressão) originam um encurtamento das fibras transversais e, conseqüentemente, um deslocamento do topo do arco. Nas proximidades dos enrilecedores, esse deslocamento não pode efetuar-se, portanto surge uma flexão. Nas cascas cilíndricas longas, a flexão é limitada à pequena fração de seu comprimento total. Nas cascas cilíndricas curtas, por causa do largo raio e do estreito espaço dos enrilecedores, a perturbação pela flexão estende-se em uma maior área da superfície.



Membrana cilíndrica larga  
Casca cilíndrica longa

## Perturbação de flexão no enrilecedor transversal em cascas cilíndricas longas e curtas



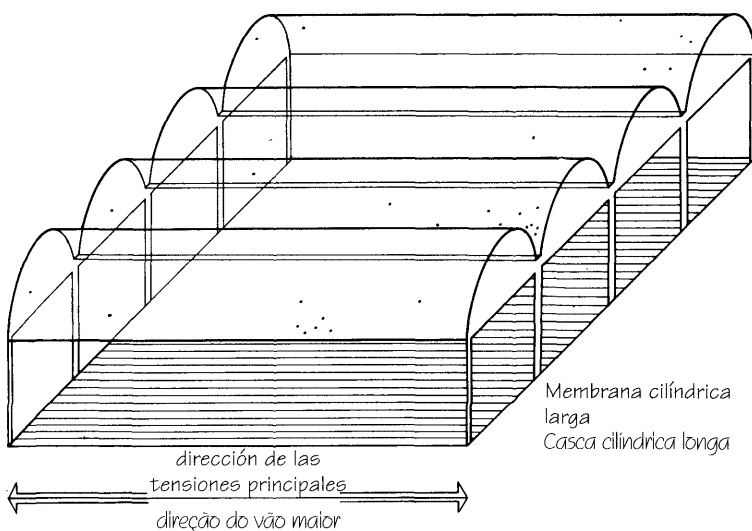
Membrana cilíndrica corta  
Casca cilíndrica curta



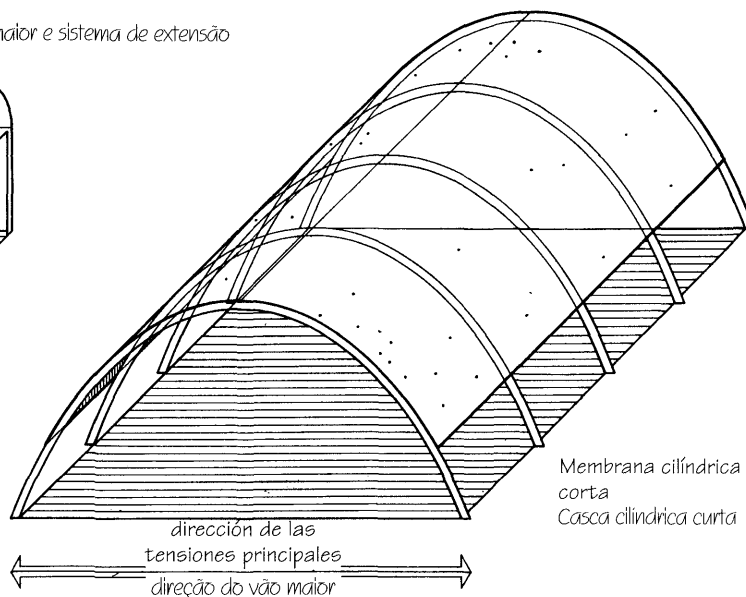
### Diferencia entre membranas cilíndricas largas y cortas

### Diferença entre cascas cilíndricas longas e curtas

dirección de las tensiones principales y sistema de extensión / direção do vão maior e sistema de extensão

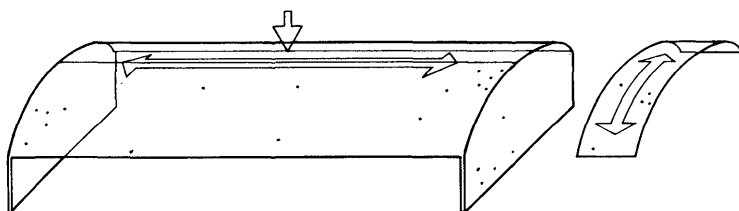


sistema de extensión: adición de nuevas unidades  
sistema de extensão: multiplicação de novas unidades

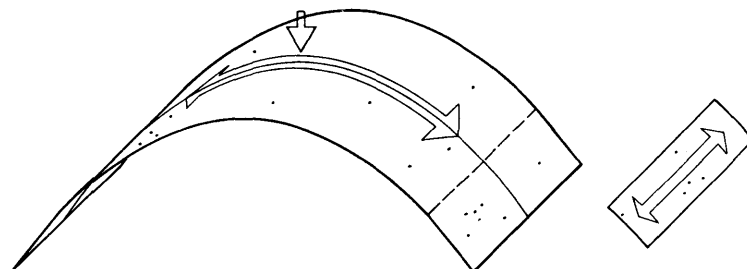


sistema de extensión: ampliación de la unidad existente  
sistema de extensão: continuação da unidade existente

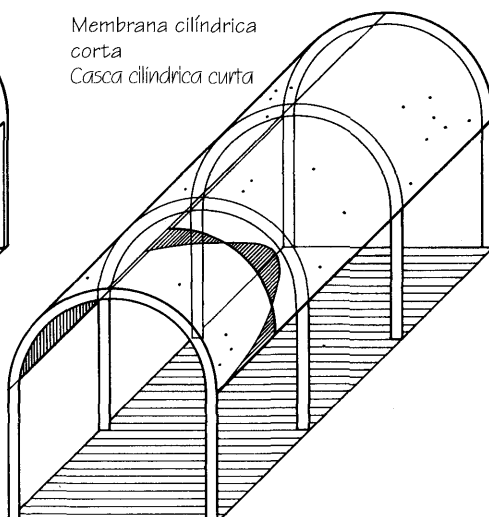
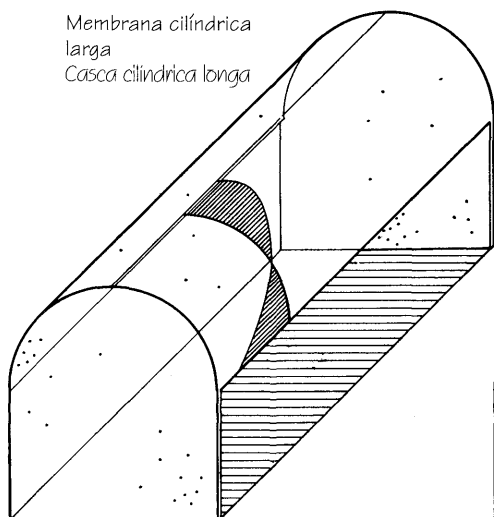
Mecanismo portante / Mecanismo portante



El mecanismo portante se basa, sobre todo, en la acción de lámina. La acción de arco (apoyo, suspensión) es secundaria y sirve para transmitir las cargas. O mecanismo portante permanece principalmente no efeito de placa. O efeito de arco (ou efeito de suspensão) é menor e destina-se a receber cargas assimétricas.



El mecanismo portante se basa, sobre todo, en la acción de arco (por ello en forma de catenaria). La acción de lámina es secundaria y sirve para transmitir cargas. O mecanismo portante permanece principalmente no efeito de arco (portanto, forma catenária). O efeito de placa é menor e destina-se a receber cargas assimétricas.

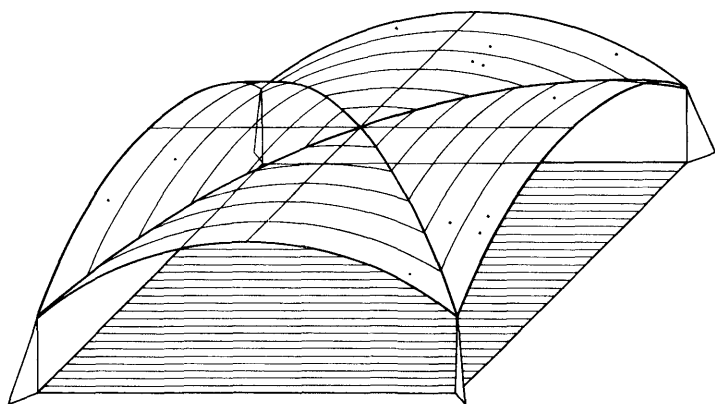


Cuanto más corto sea el cilindro, mayor es la influencia de la deformabilidad del perfil transversal y la proyección vertical de las tensiones longitudinales deja de ser rectilínea (como en una jácena), y pasar a ser curvilínea; en la zona superior de la membrana puede llegar a convertirse incluso en tracción.

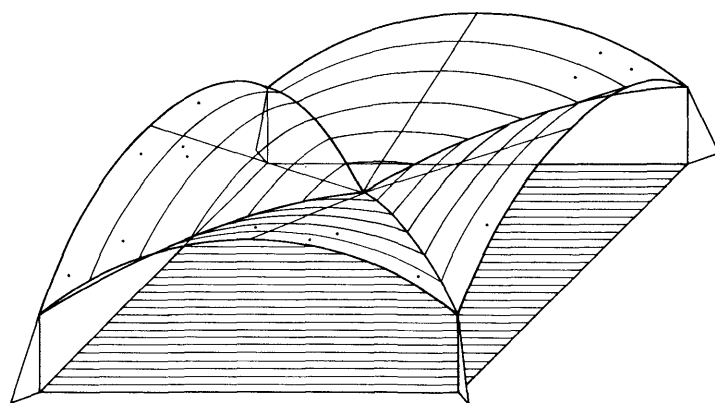
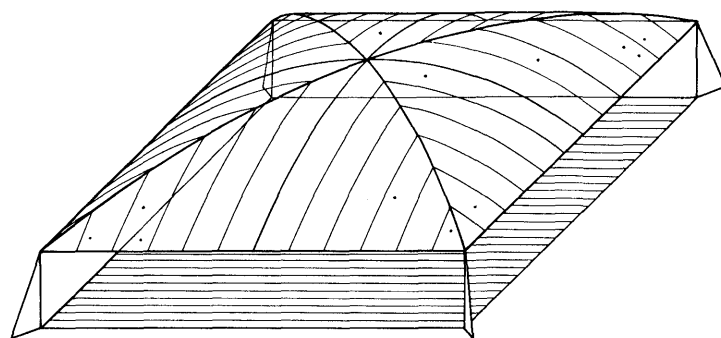
Quando o cilindro fica mais curto, a deformabilidade do perfil transversal torna-se mais influente, e a projeção vertical dos esforços longitudinais não é mais em linha reta (como numa viga), mas em curva, podendo mesmo converter-se em tração na área superior da casca.

Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas

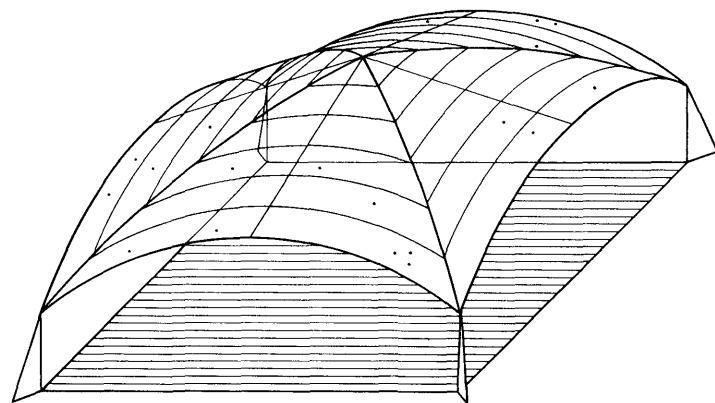
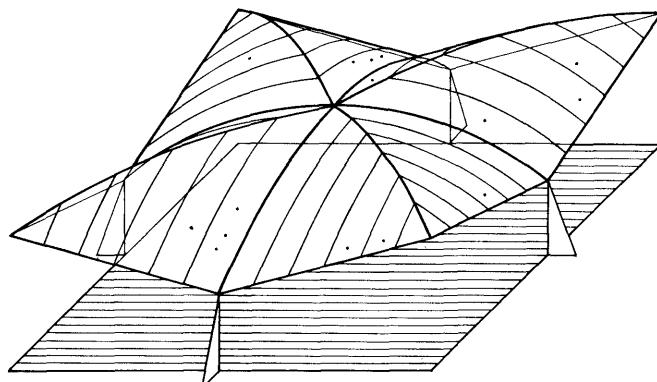
Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies cilíndricas



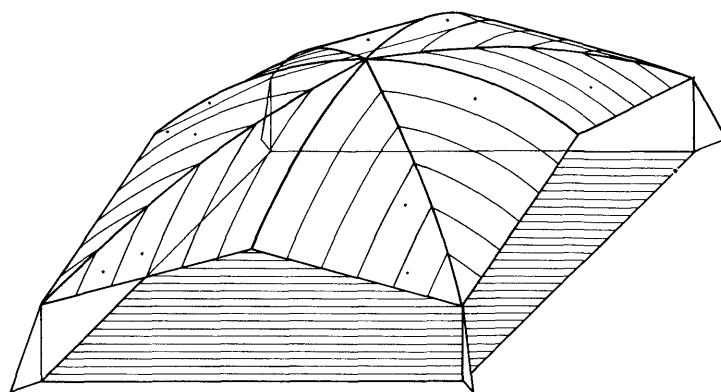
generatrices en un plano / geratrizes em um plano



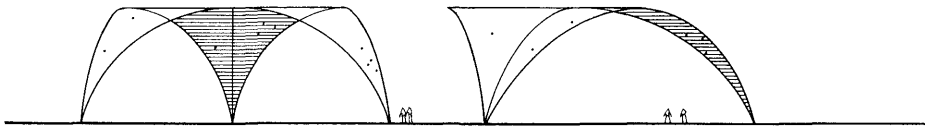
generatrices descendentes hacia el centro / geratrizes rebaixadas em direção ao centro



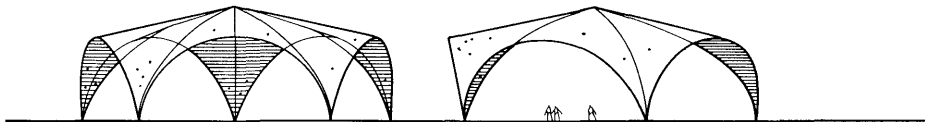
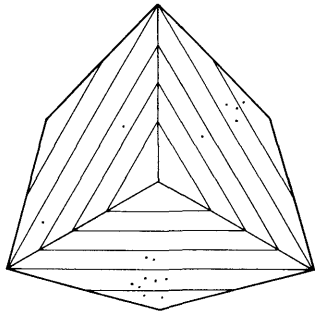
generatrices ascendentes hacia el centro / geratrizes elevando-se em direção ao centro



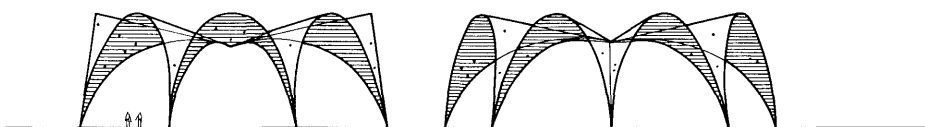
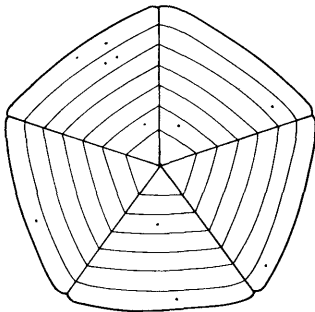
Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas



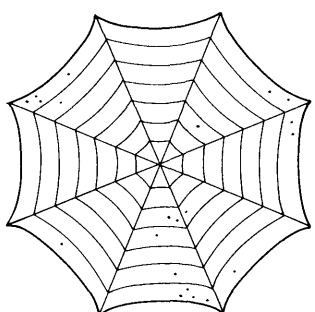
planta hexagonal con tres segmentos cilíndricos  
planta hexagonal com três segmentos cilíndricos



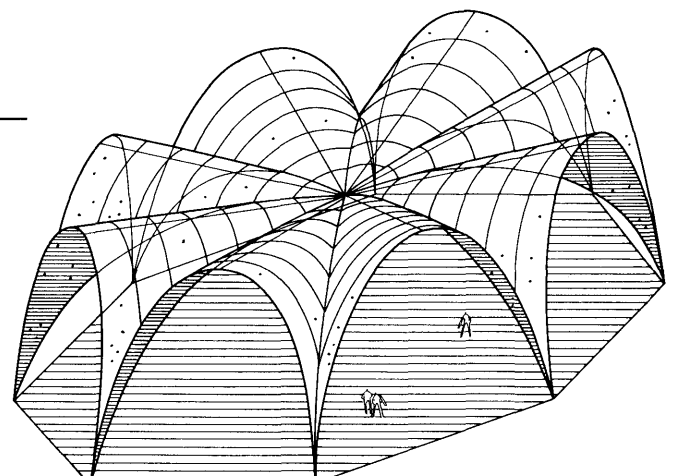
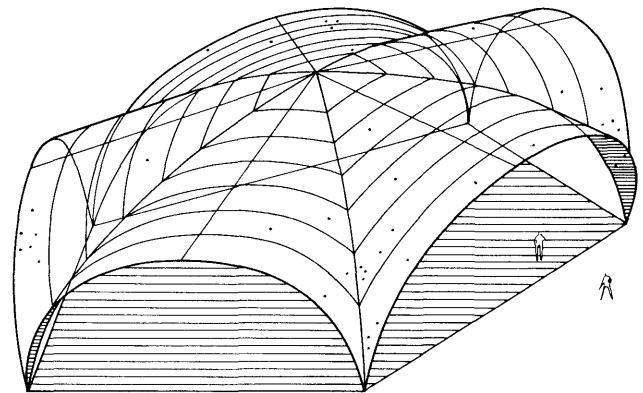
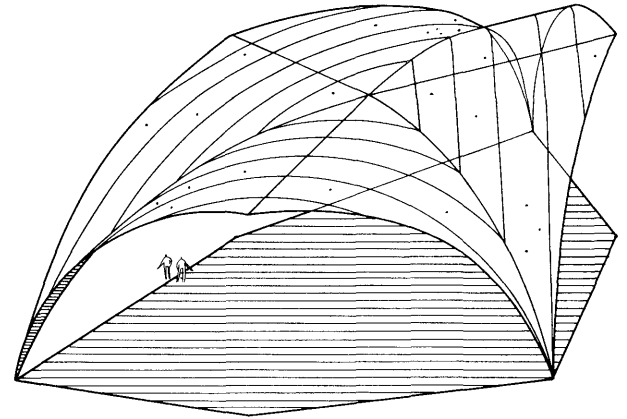
planta pentagonal con segmentos ascendentes hacia el centro  
planta pentagonal com segmentos elevando-se em direção ao centro



planta octogonal con segmentos descendentes hacia el centro  
planta octogonal com segmentos rebaixados em direção ao centro

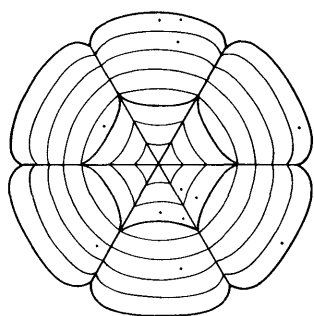
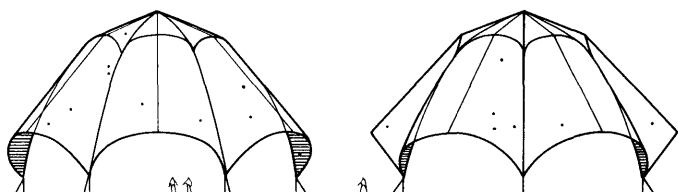


Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies cilíndricas

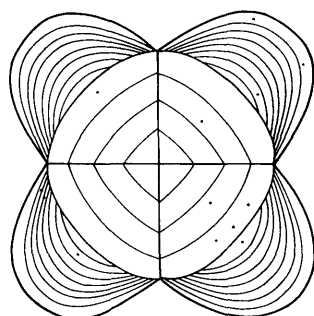
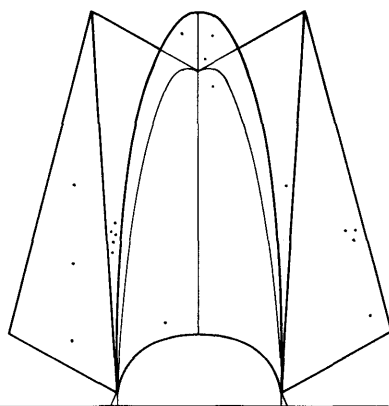
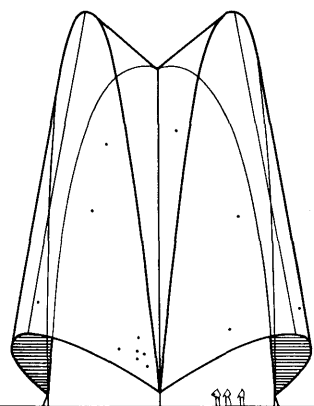
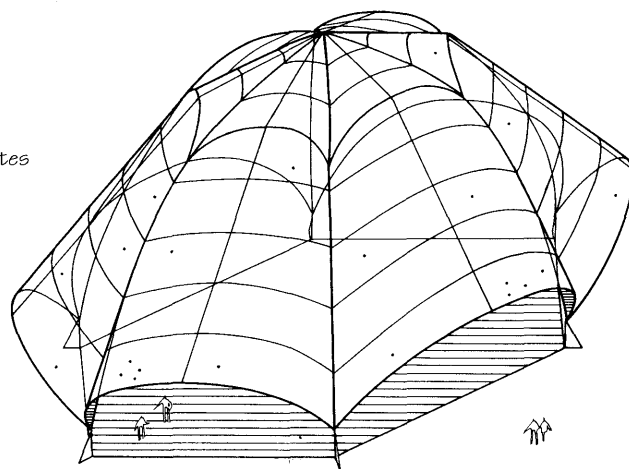


Sistemas estructurales formados por la intersección de superficies cilíndricas plegadas

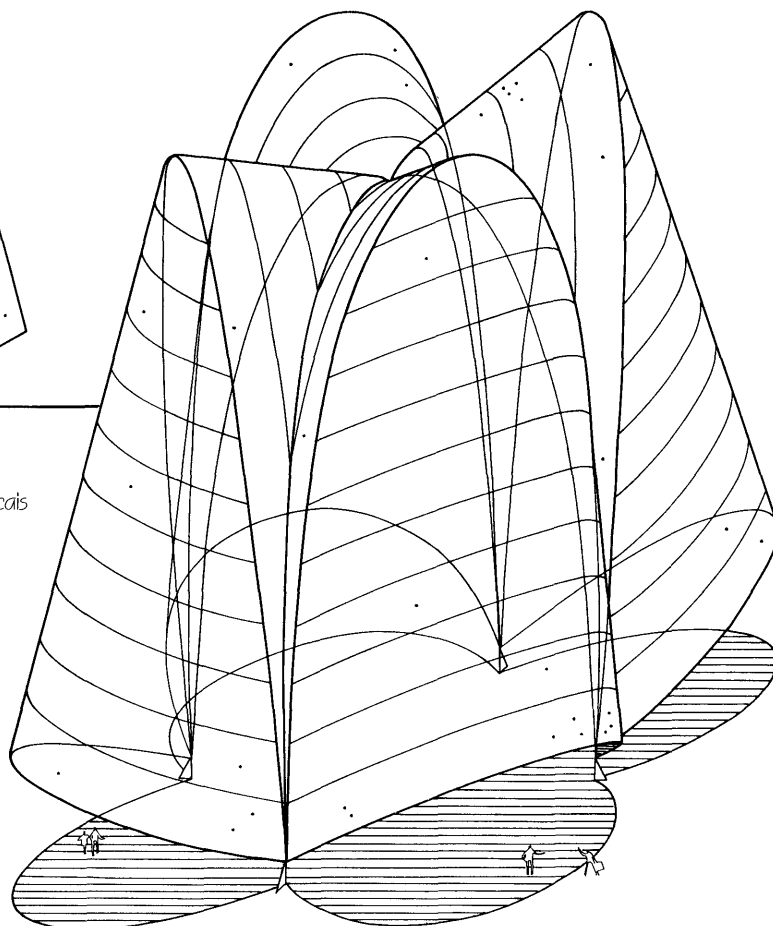
Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas cilíndricas



planta hexagonal con segmentos cilíndricos ascendentes  
planta hexagonal: segmentos de cilindros ascendentes



planta en cruz: segmentos verticales  
planta em forma de cruz: segmentos verticais

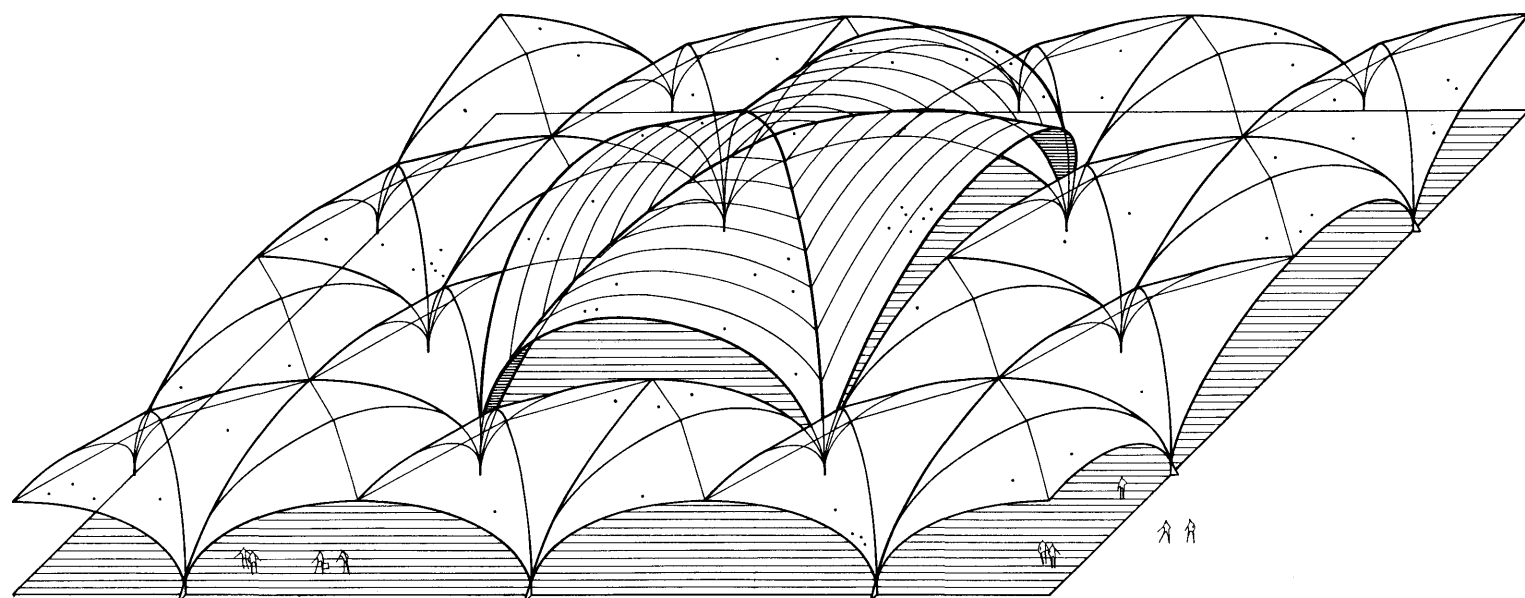
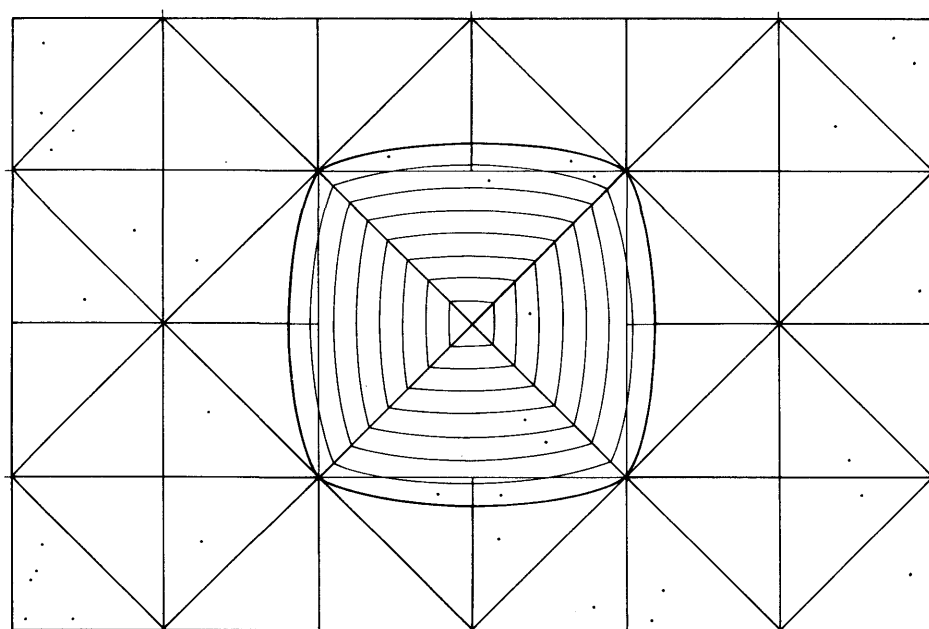
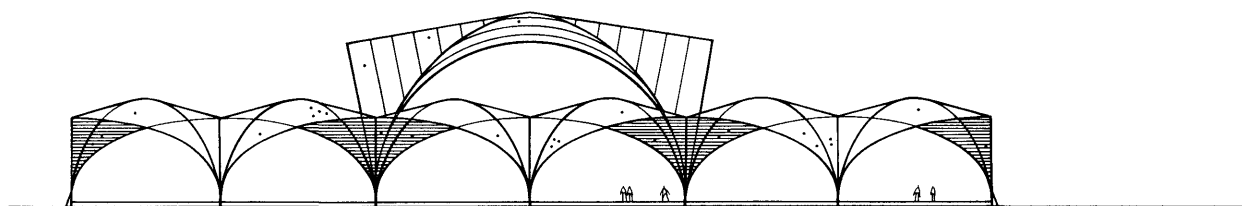


Sistema estructural formado por la intersección de superficies cilíndricas plegadas

composición de superficies cilíndricas entrecruzadas sobre una retícula cuadrada

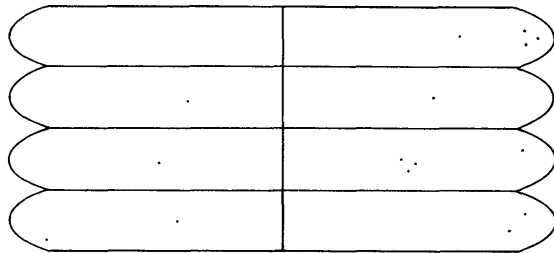
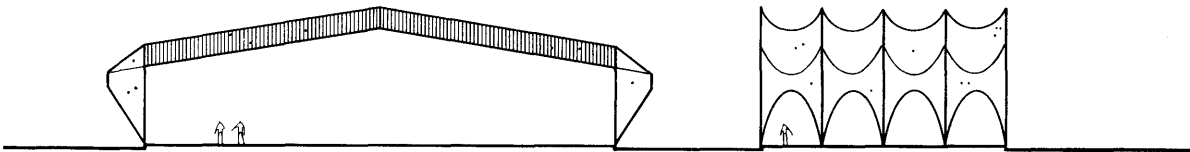
Sistemas estruturais baseados na interseção de superfícies dobradas cilíndricas

composição de superfícies cilíndricas que se cruzam diagonalmente sobre uma planta de malha quadrada

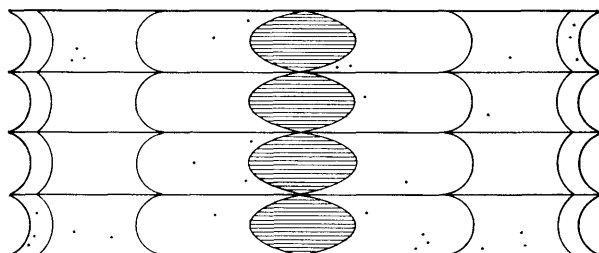
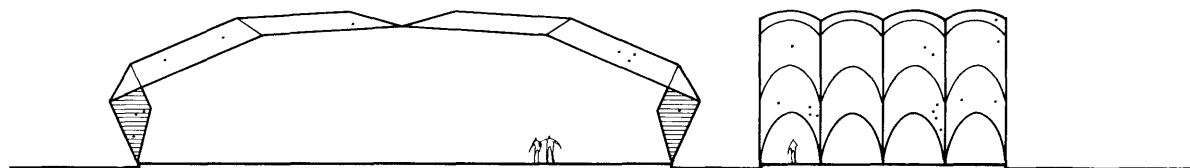
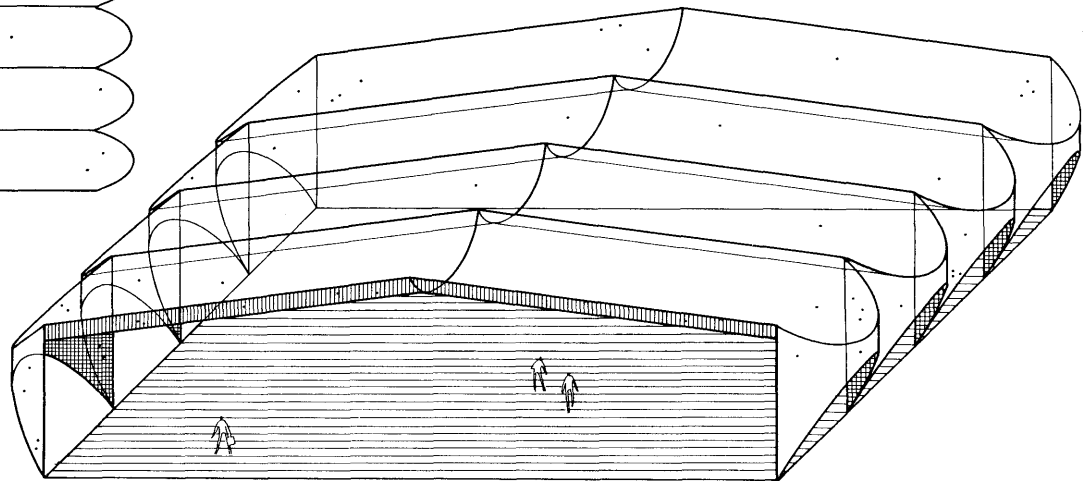


Sistemas estruturales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

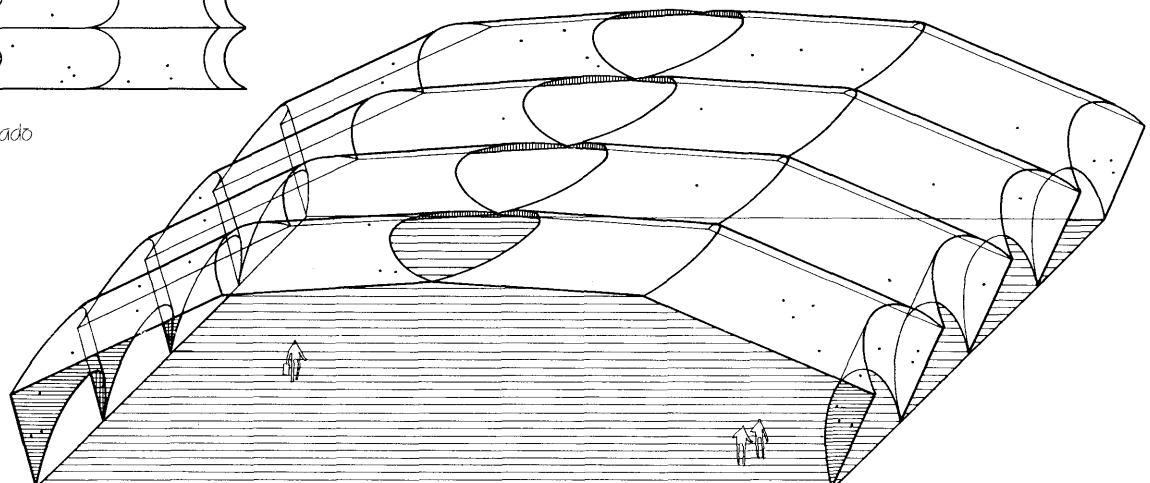
Sistemas estruturais lineares compostos de superfícies dobradas cilíndricas



Pórtico biarticulado / Pórtico biarticulado

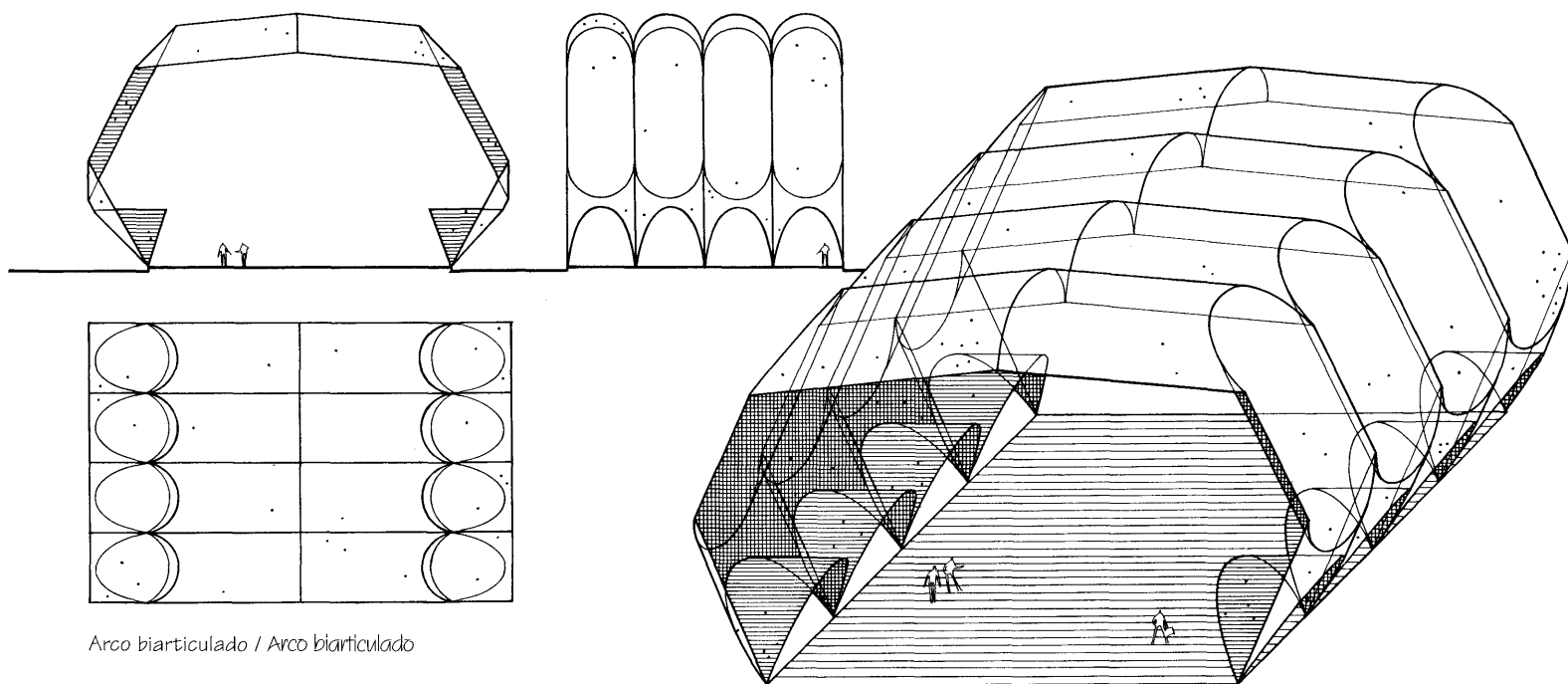


Pórtico triarticulado / Pórtico triarticulado

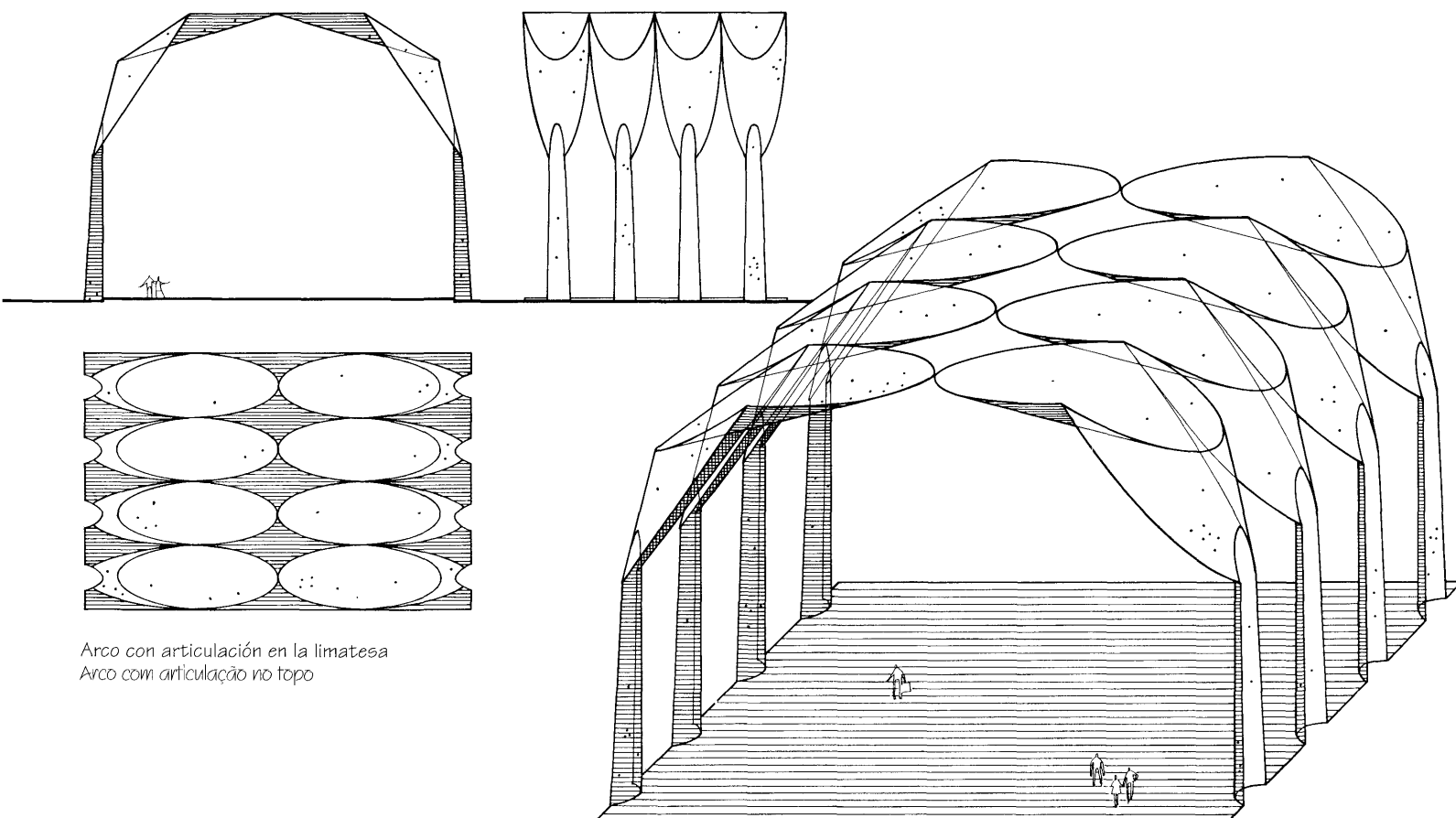


Sistemas estructurales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

Sistemas estruturais lineares compostos de superficies dobradas cilíndricas



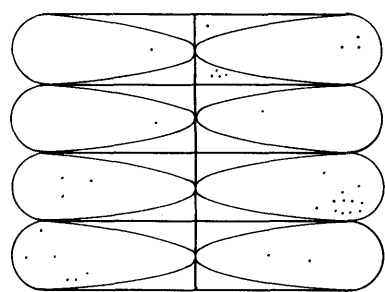
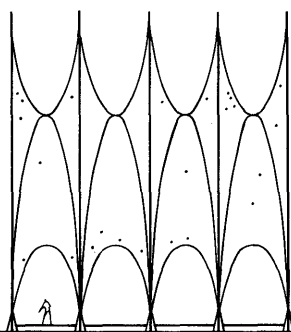
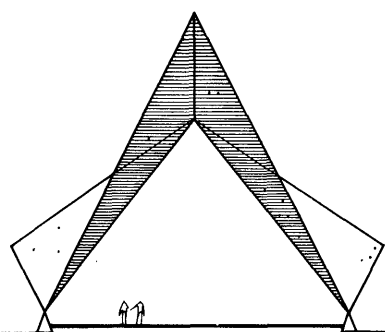
Arco biarticulado / Arco biarticulado



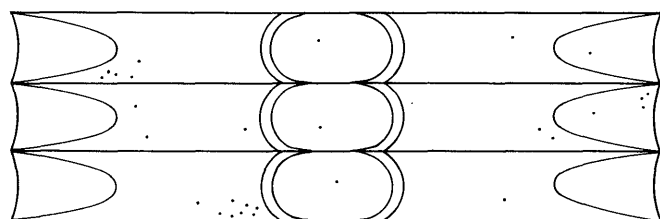
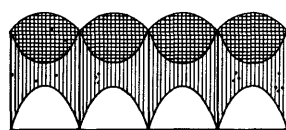
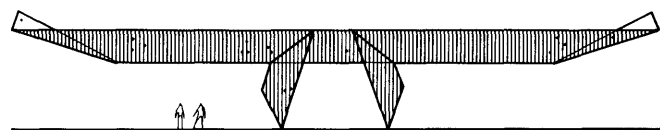
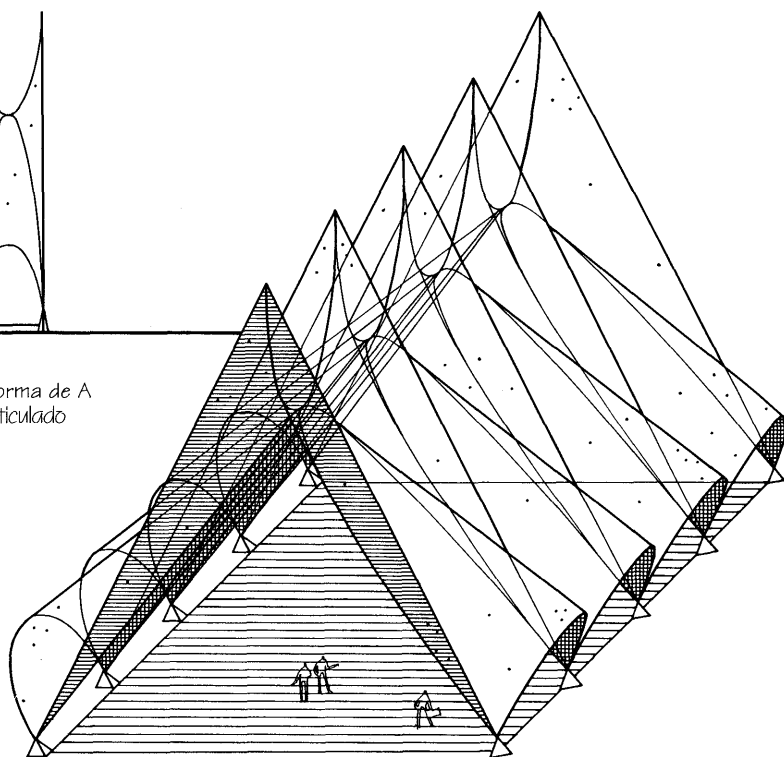
Arco con articulación en la limateza  
Arco com articulação no topo

Sistemas estructurales lineales formados por superficies cilíndricas plegadas

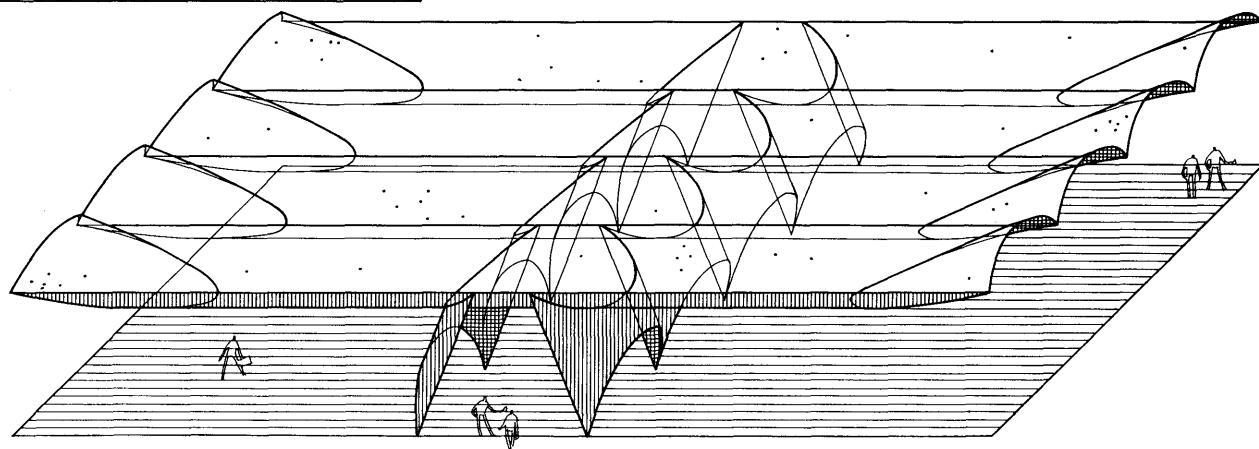
Sistemas estruturais lineares compostos de superfícies dobradas cilíndricas



Pórtico a dos aguas en forma de A  
Pórtico em duas águas biarticulado

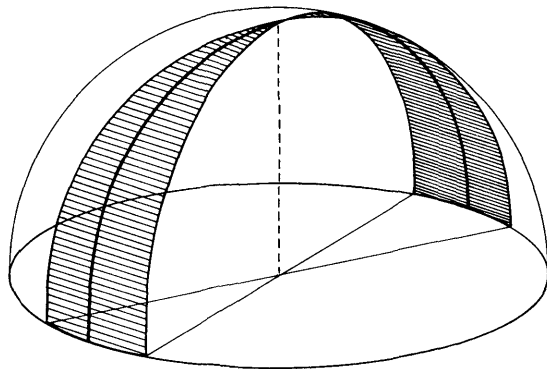


Jácena en voladizo sobre pilares centrales  
Viga em balanço sobre apoios centrais



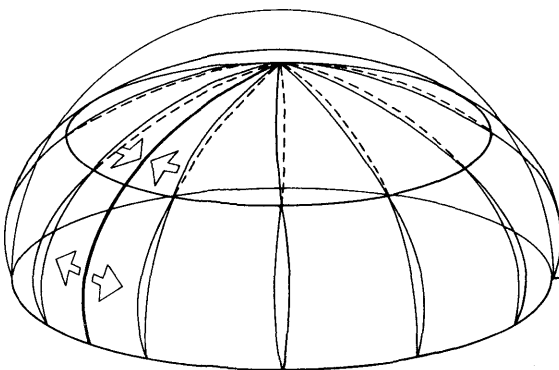


### Mecanismo portante de la membrana en cúpula (de rotación)



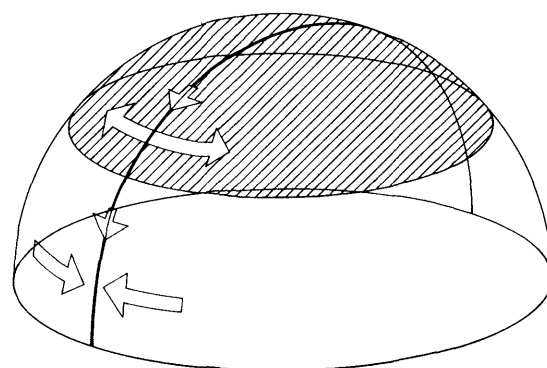
división en segmentos

divisão em segmentos



deformación de los segmentos

deflexão de segmentos

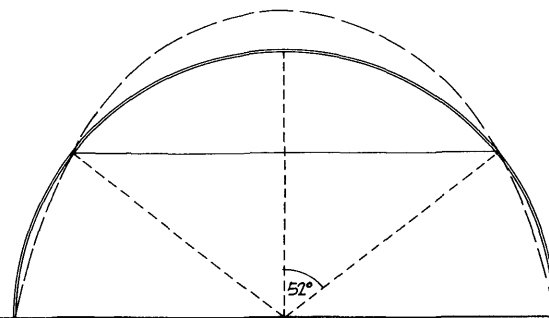


efecto de la forma anular

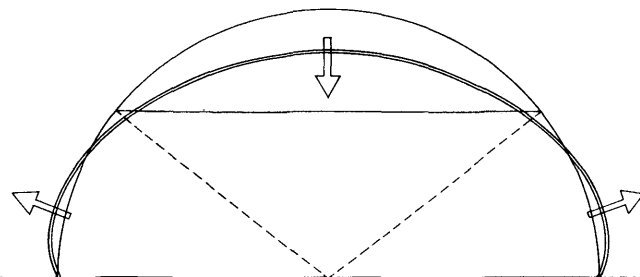
efeito anular

La capacidad de la membrana en cúpula para generar esfuerzos anulares evita que se deforme hacia el interior o el exterior a causa de la desviación de la catenaria meridional. Esta capacidad también permite perfiles transversales para membranas de rotación que no sean circulares.

### Mecanismo portante de casca esférica (rotativa)

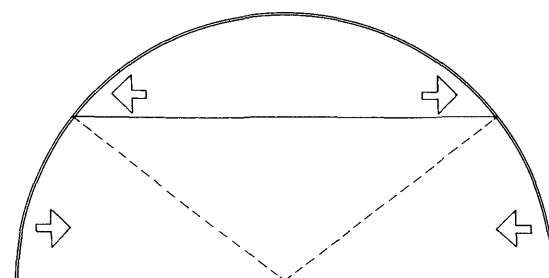


La curvatura transversal de dos segmentos opuestos no coincide con la catenaria. La diferencia se pone de relieve a la altura de 52° medidos desde la cumbre. La curvatura del arco formado por dos segmentos opuestos difiere de su línea de presión real. La diferencia muda de señal a 52° de elevación, contados a partir del topo.



Las partes superiores de los segmentos descienden y se solapan con sus cantos al disminuir la curvatura. Las partes inferiores se deforman hacia el exterior y se abren cuanto mayor sea la curvatura.

As partes superiores dos segmentos formam flecha e saltam pelas bordas, reduzindo sua curvatura. As partes inferiores deformam-se em direção ao exterior e abrem-se, aumentando sua curvatura.

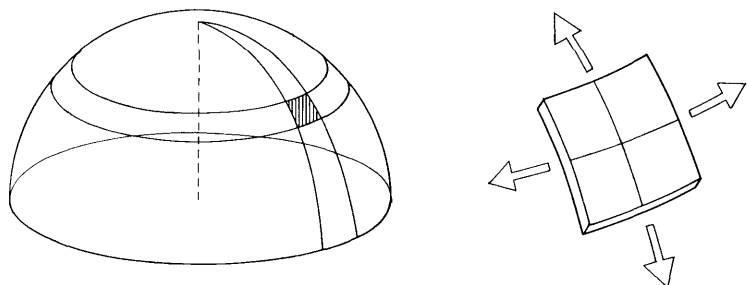


La continuidad horizontal (anular) se opone a la deformación; la parte superior se comporta como una secuencia de anillos comprimidos y la parte inferior como una secuencia de anillos a tracción.

A continuidade horizontal (anel) resiste à deflexão, enquanto a parte superior atua como uma série de anéis de compressão horizontal, e a parte inferior como uma série de anéis de tração.

O potencial da casca esférica para desenvolver forças anulares impede a deflexão, tanto para dentro quanto para fora da membrana, causada pelo desvio da linha de pressão meridional. Esse potencial permite, então, adotar também perfis transversais em cascas rotativas que não são circulares.

Esfuerzos de membrana en membranas de rotación bajo una carga simétrica

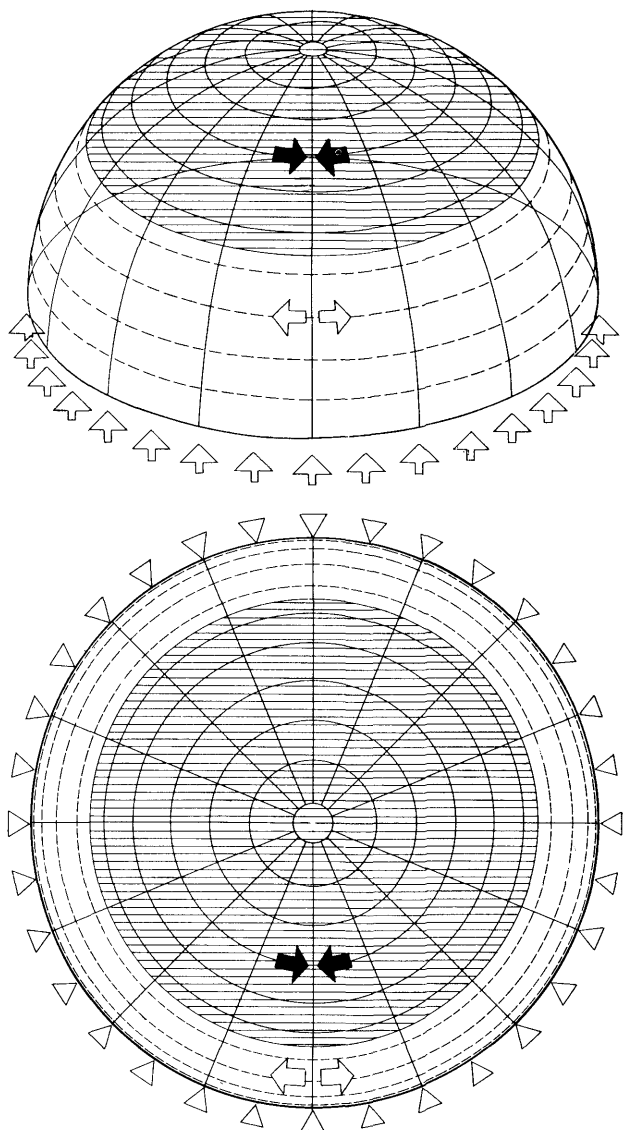


Forças de membrana em cascas rotativas sob carga simétrica

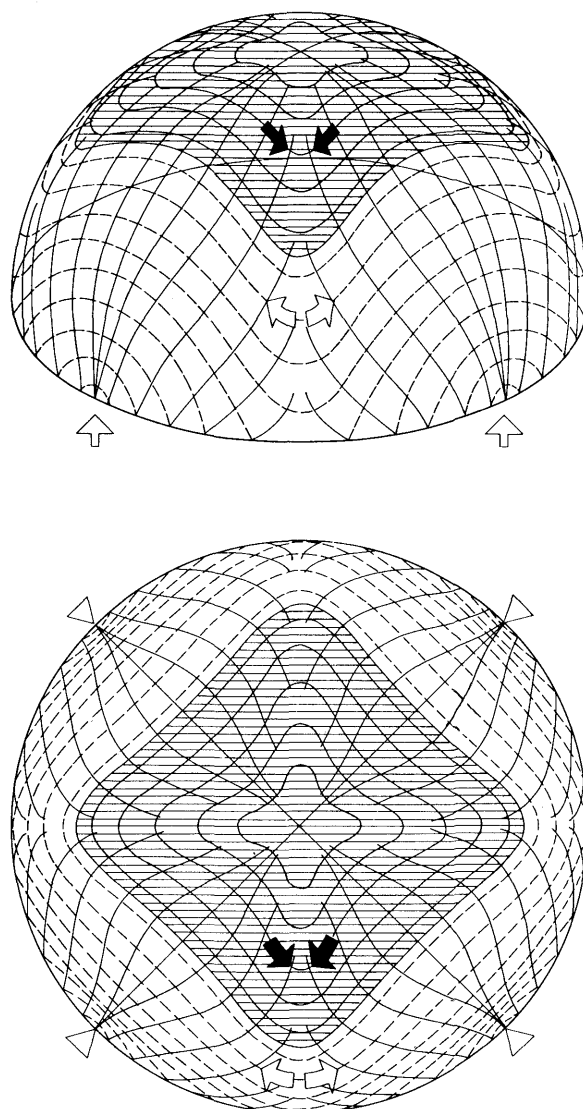
Cada elemento de membrana aislado alcanza un estado de equilibrio a través del esfuerzo meridional y el esfuerzo anular. Debido a la simetría de la carga, no se originan esfuerzos cortantes en ninguna sección.

O elemento de casca mantém-se em equilíbrio unicamente pela força meridional e pela força anular. Em virtude da carga simétrica, não se desenvolve esforço cortante em nenhuma seção da casca.

Transmisión de cargas en membranas en forma de cúpula bajo una carga simétrica



Linhas de esforços principais nas cascas esféricas sob carga simétrica



Los esfuerzos se transmiten según la dirección de los meridianos y los paralelos

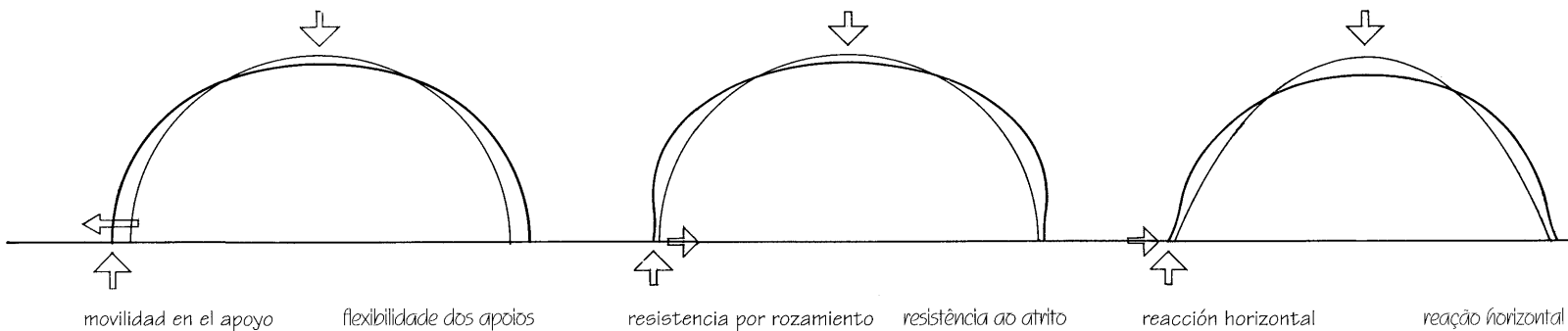
As forças seguem a direção dos meridianos e paralelos

La dirección de los esfuerzos meridionales y anulares se modifican igual que si estuvieran sometidos a un campo magnético

As direções das forças meridional e anular são defletidas como em um campo magnético

Flexión del borde inferior de la membrana:  
perturbaciones de borde

Flexão da borda inferior; perturbações de borda

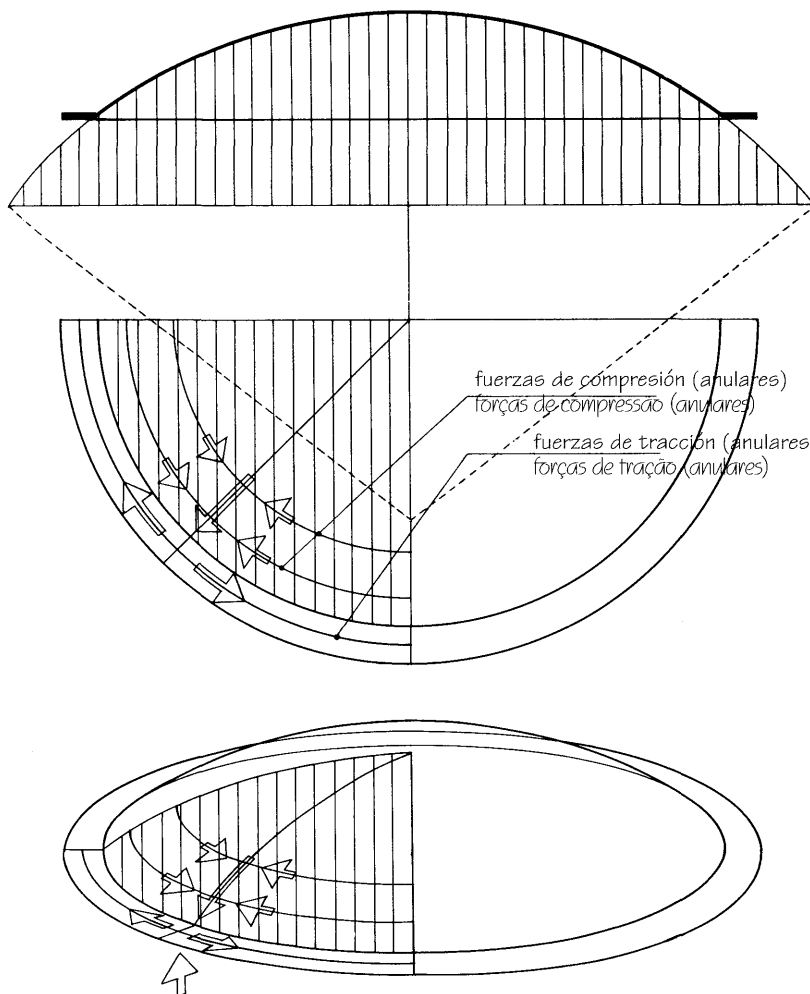


En el caso de apoyos deslizantes, se puede dilatar libremente el borde de la membrana: tensiones puras de membrana. En cambio, si el movimiento se limita debido al rozamiento en los apoyos, aparecen perturbaciones de flexión. Igual sucede en el caso de que la tangente en el punto de apoyo no sea vertical y se coloque un anillo inferior de rigidización que se deforme de manera diferente al resto de la membrana.

Com apoios flexíveis, a borda inferior da casca pode expandir-se livremente: somente os esforços de membrana. Se, porém, esse movimento não for obstruído pelo atrito dos apoios, introduzir-se-ão perturbações de flexão. O mesmo ocorrerá quando, no caso de tangente final de borda não vertical, construa-se uma viga anular cuja expansão seja diferente da borda inferior da casca.

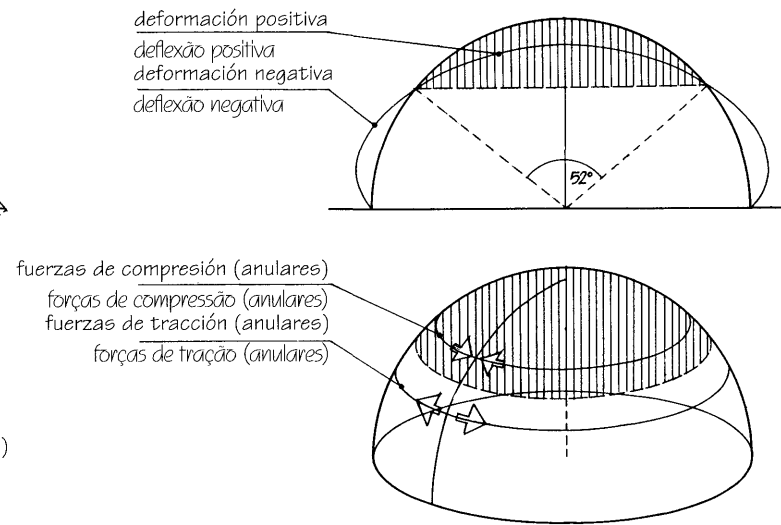
Reducción de las perturbaciones de borde  
pretensando del anillo inferior

Redução das perturbações de borda mediante protensão  
da viga anular



fuerzas anulares en membrana  
en cúpula rebajada  
forças anulares na casca  
esférica rebaixada

con anillo a tracción  
en el borde de la membrana  
com anel de tração  
na borda inferior da casca



deformación anular opuesta al borde de la membrana y del anillo inferior debido al sentido opuesto de las fuerzas anulares

deflexão anular oposta da borda inferior da casca e da viga anular, causada pela direção oposta das forças anulares

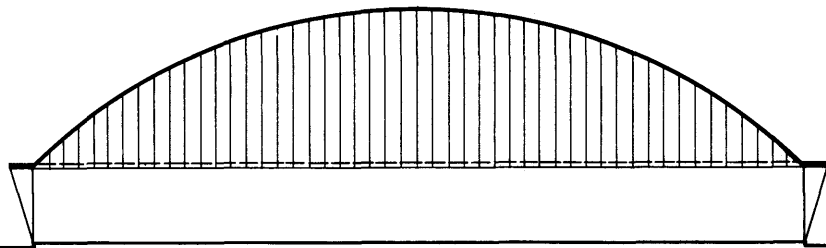
sentido coincidente de las fuerzas anulares debido al pretensado del anillo inferior para evitar una deformación opuesta

inversão da direção defletiva na viga anular, mediante protensão, e conseqüente eliminação de deflexão anular oposta

reducción de la perturbación por flexión en  
el borde inferior de la membrana  
redução da perturbação por flexão da borda  
inferior da casca

## Diseño del borde inferior en membranas en cúpula rebajada

## Projeto da borda inferior em casca esférica rebaixada

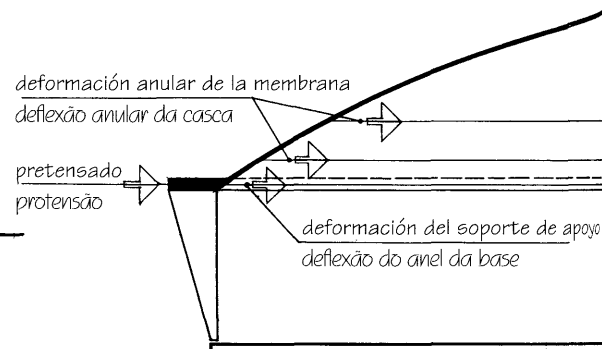


Pretensado de los soportes exteriores de apoyo

Protensão do anel da base no exterior da casca

La deformación centrífuga del anillo a tracción se invierte para hacerla coincidir con la deformación centrípeta de la membrana

A deflexão centrífuga do anel de tração inverte-se-á para seguir a deflexão anular centrípeta da borda inferior da casca



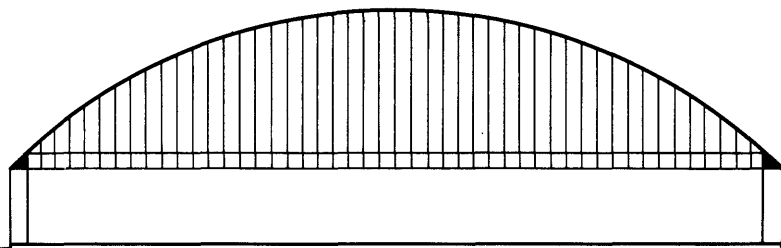
deformación anular de la membrana

deflexão anular da casca

pretensado

protensão

deformación del soporte de apoyo  
deflexão do anel da base

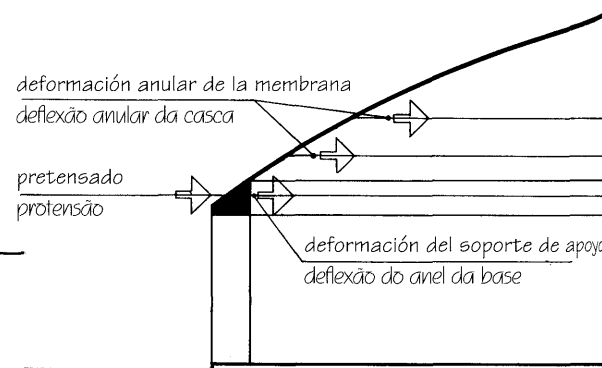


Pretensado de los soportes interiores de apoyo

Protensão do anel da base dentro da casca

El mecanismo para evitar las perturbaciones de borde se basa, igual que en el caso anterior, en invertir la tendencia de deformación

O mecanismo para a eliminação de perturbações de borda baseia-se, como foi visto, na inversão da tendência à deformação



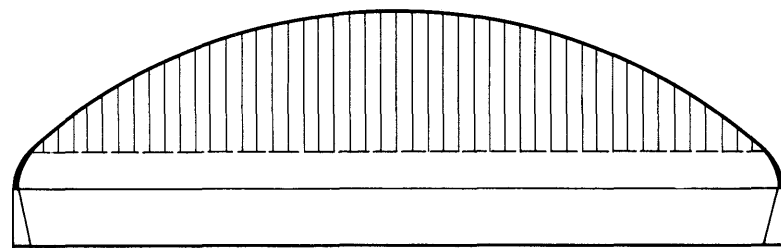
deformación anular de la membrana

deflexão anular da casca

pretensado

protensão

deformación del soporte de apoyo  
deflexão do anel da base

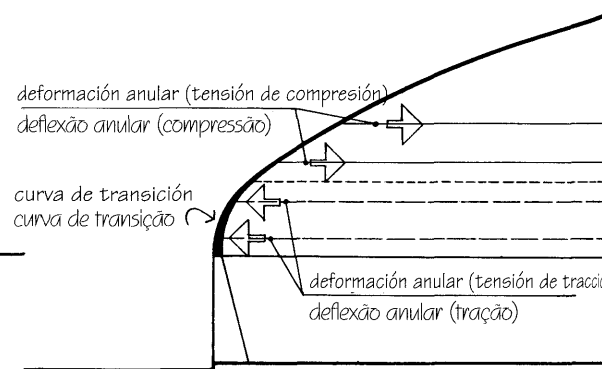


Delimitación vertical con una curva de transición

Extremidade vertical mediante curva de transição

El cambio de la deformación anular centrípeta a centrífuga se produce gradualmente y en el interior de la membrana

A transformação da deflexão anular centrípeta ocorre gradualmente e dentro da casca (como na semi-esfera)



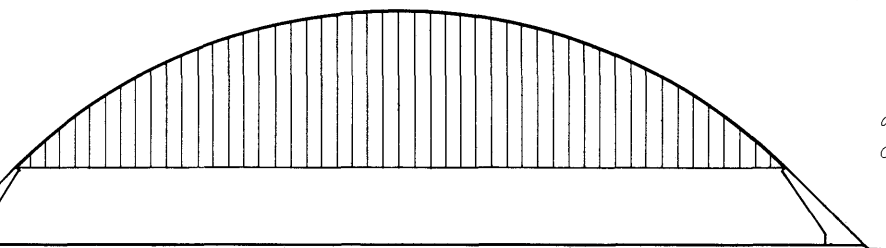
deformación anular (tensión de compresión)

deflexão anular (compressão)

curva de transición

curva de transição

deformación anular (tensión de tracción)  
deflexão anular (tração)

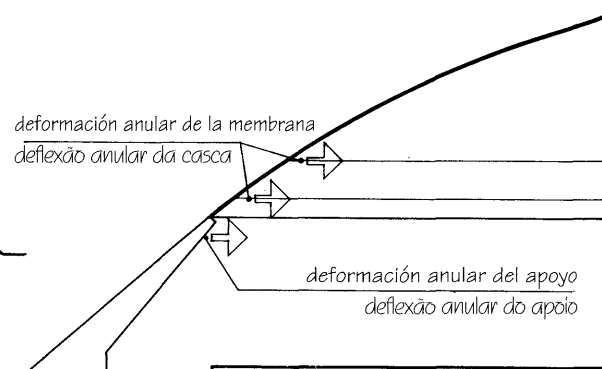


Inclinación tangencial de los apoyos

Inclinação tangencial dos apoios

La deformación anular del apoyo tiene tendencia centrípeta, igual que la deformación anular del borde inferior de la membrana

A deflexão anular dos apoios tem tendência centrípeta, analogamente à deflexão anular da borda inferior da casca



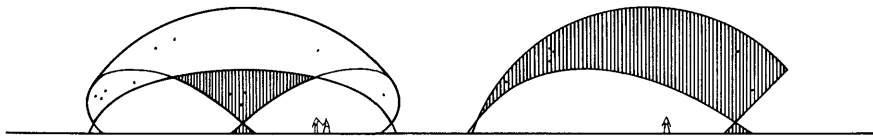
deformación anular de la membrana

deflexão anular da casca

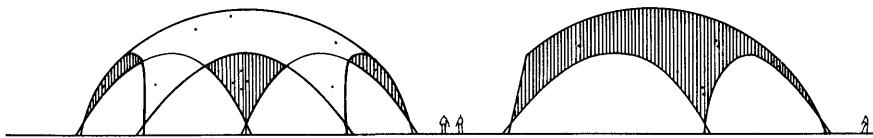
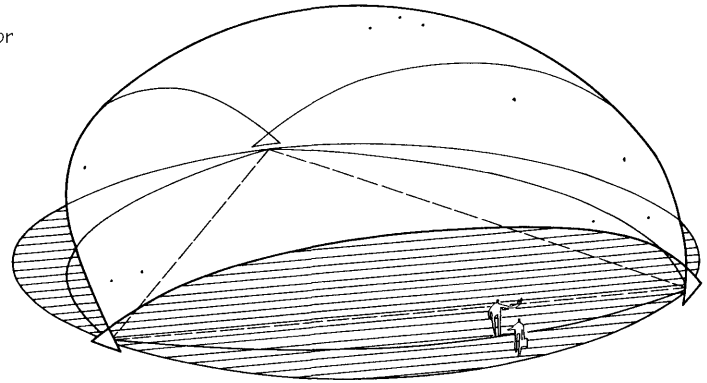
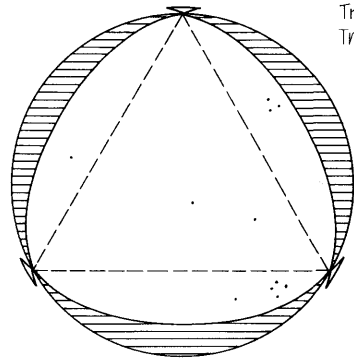
deformación anular del apoyo  
deflexão anular do apoio

Sistemas de definición de espacios con una superficie esférica

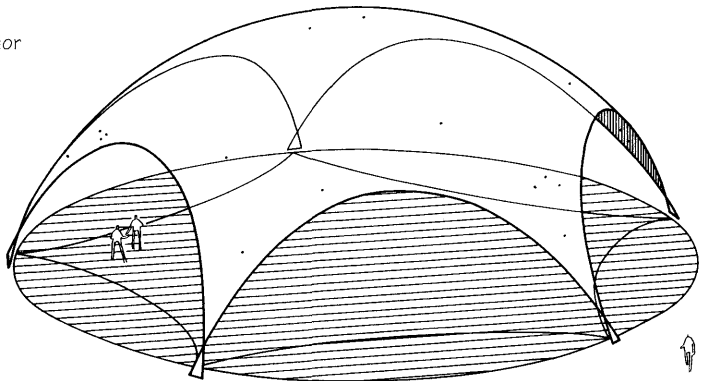
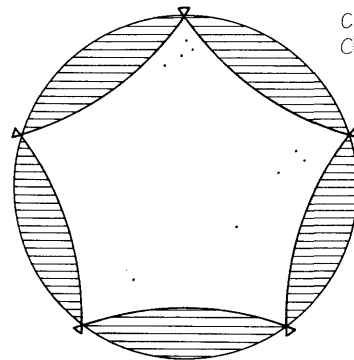
Sistemas de configuração espacial com uma superfície esférica



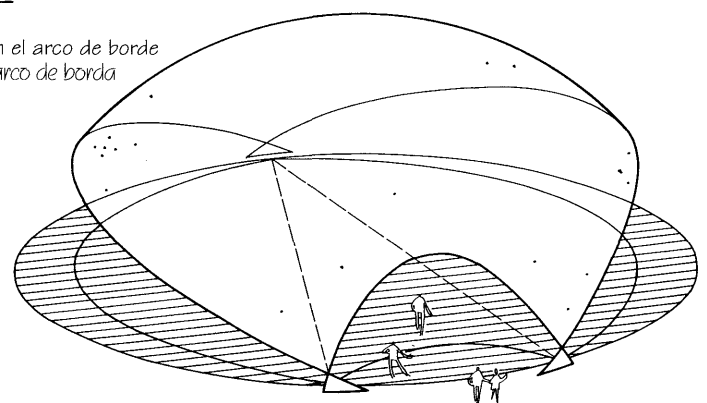
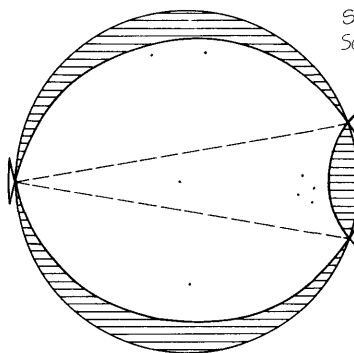
Tres arcos perimetrales inclinados hacia el exterior  
Três arcos de borda inclinados para fora



Cinco arcos perimetrales inclinados hacia el interior  
Cinco arcos de borda inclinados para dentro



Segmentos inclinados de apoyo anular unidos con el arco de borde  
Segmentos inclinados com base anular ligados a um arco de borda

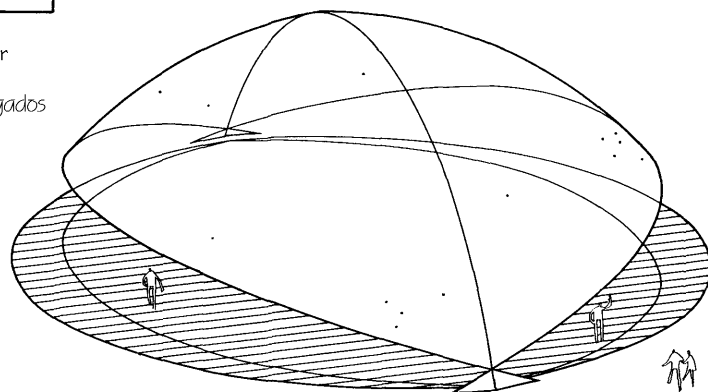
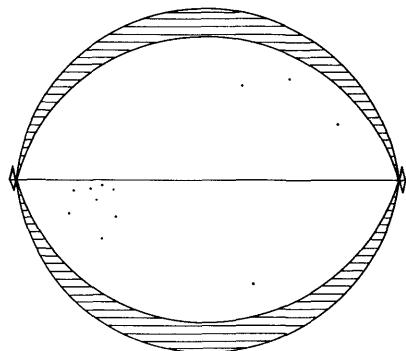


Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con pliegue en la cumbrera

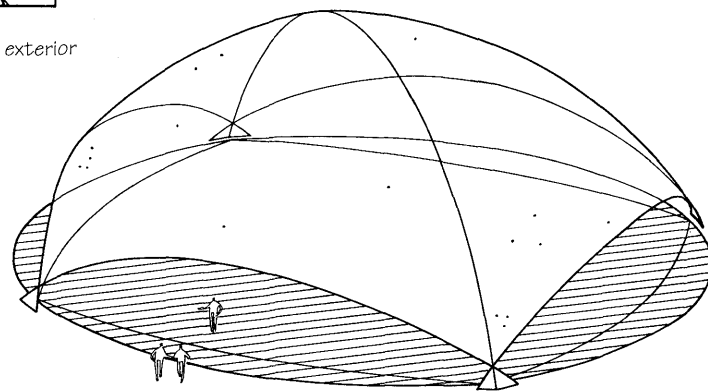
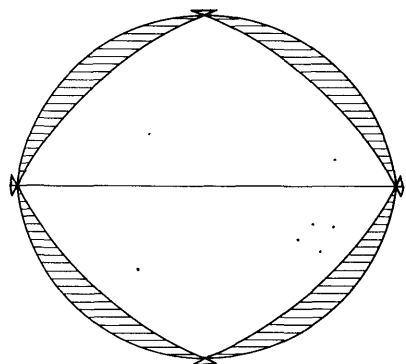
Sistemas de configuração espacial com duas superfícies esféricas unidas em cumeeira



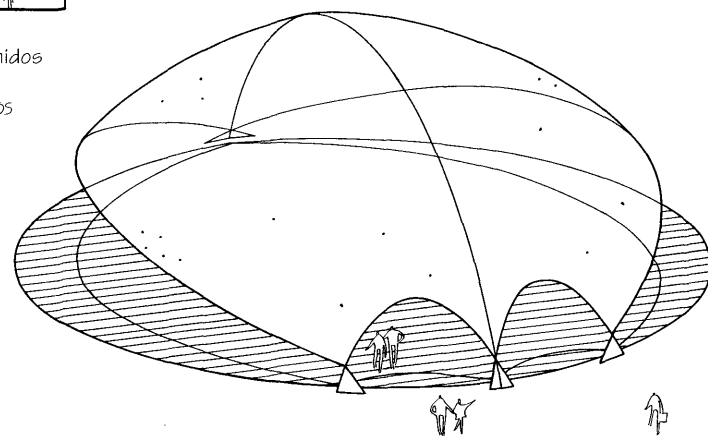
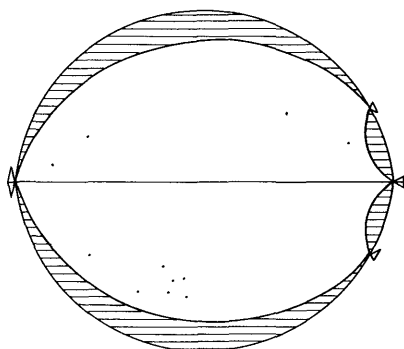
Dos segmentos inclinados de apoyo anular unidos en la cumbrera  
Dois segmentos inclinados com base anular ligados na linha de cumeeira



Cuatro arcos de borde inclinados hacia el exterior  
Quatro arcos de borda inclinados para fora

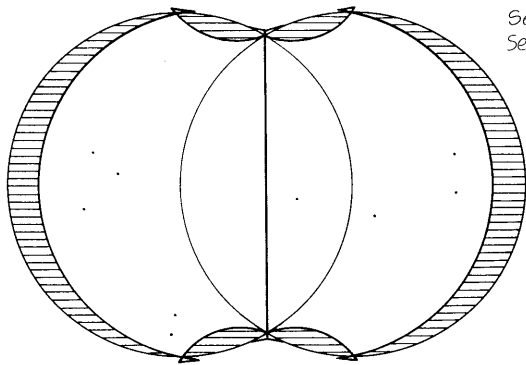
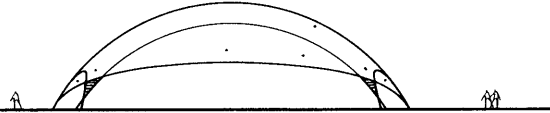
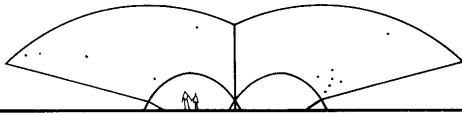


Segmentos inclinados de apoyo anular unidos mediante arcos de borde  
Segmentos inclinados com base anular ligados com arcos de borda

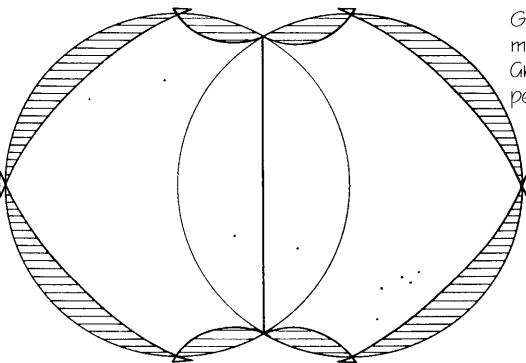
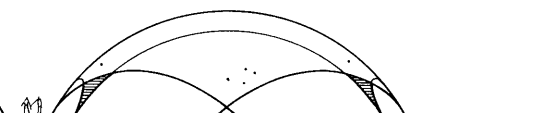
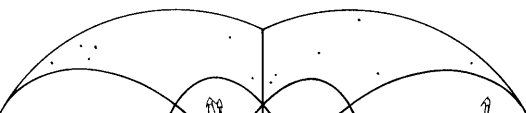
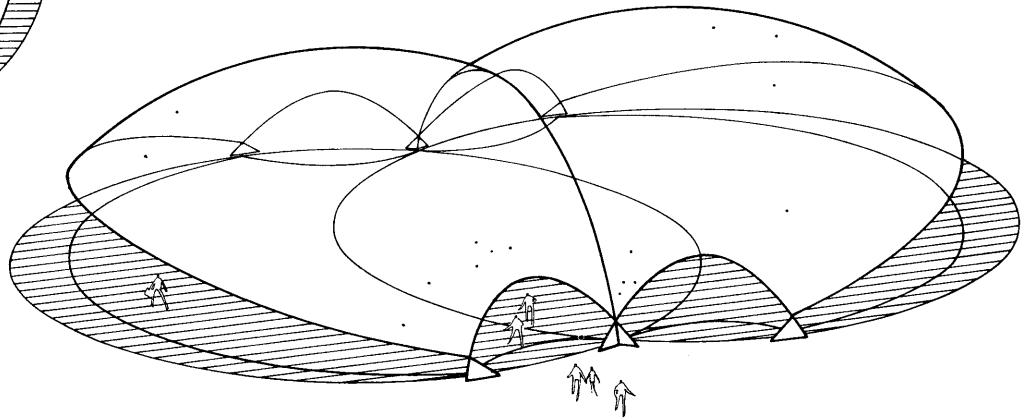


Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con unión acanalada

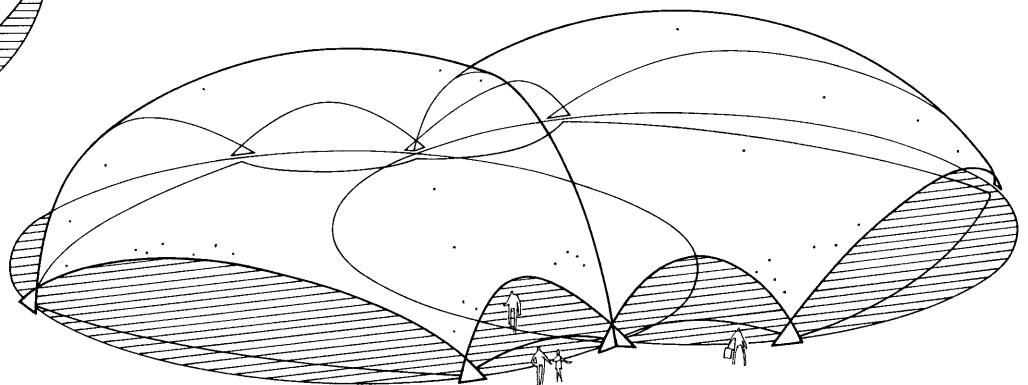
Sistemas de configuração espacial com duas superfícies esféricas unidas em água furtada



Segmentos inclinados de apoyo anular unidos mediante arcos de borde  
Segmentos inclinados com base anular ligados com arcos de borda

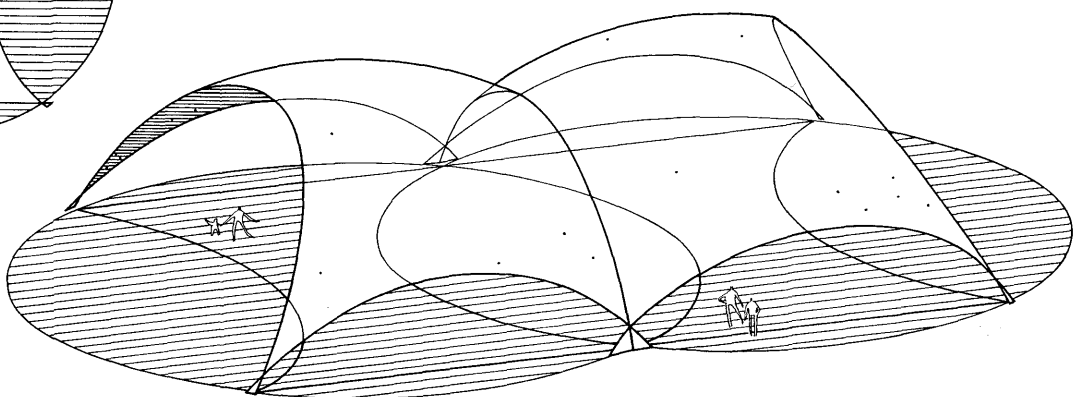
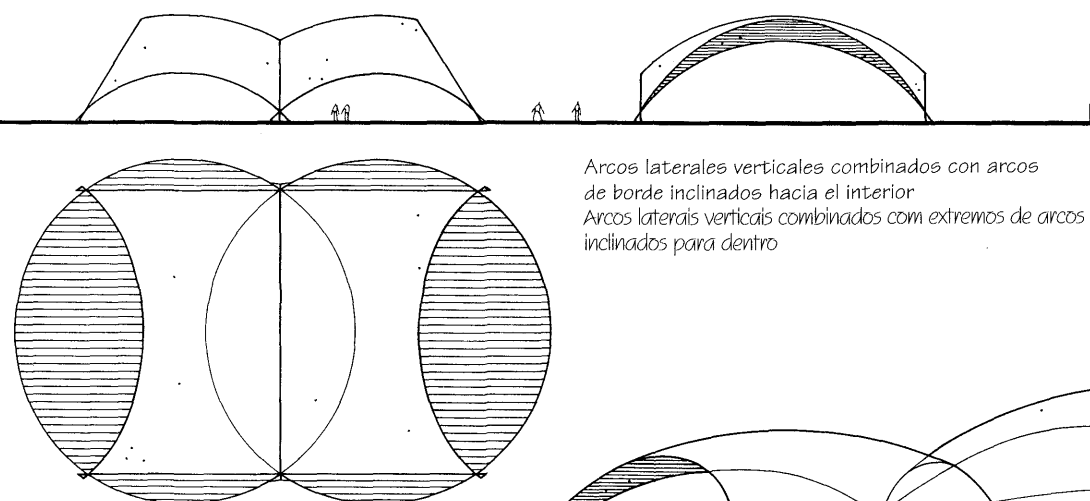
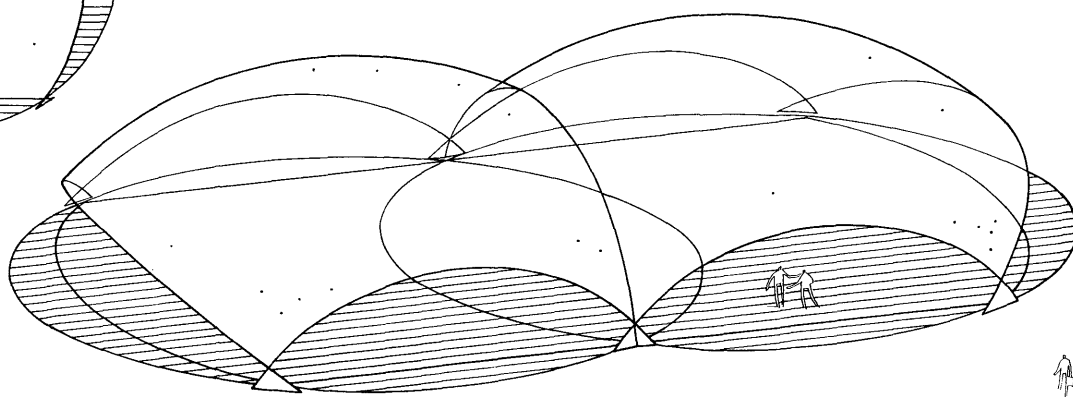
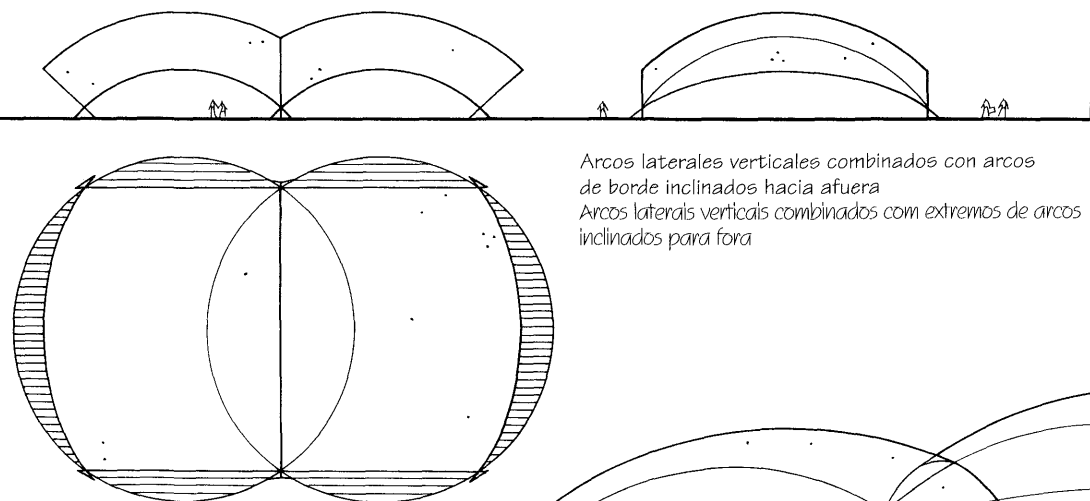


Grandes arcos de borde inclinados hacia el exterior unidos mediante arcos pequeños  
Grandes arcos de borda inclinados para fora e combinados com pequenos arcos



Sistemas de definición de espacios con dos superficies esféricas con pliego en la limahoya

Sistemas de configuração espacial com duas superfícies esféricas unidas em água furtada



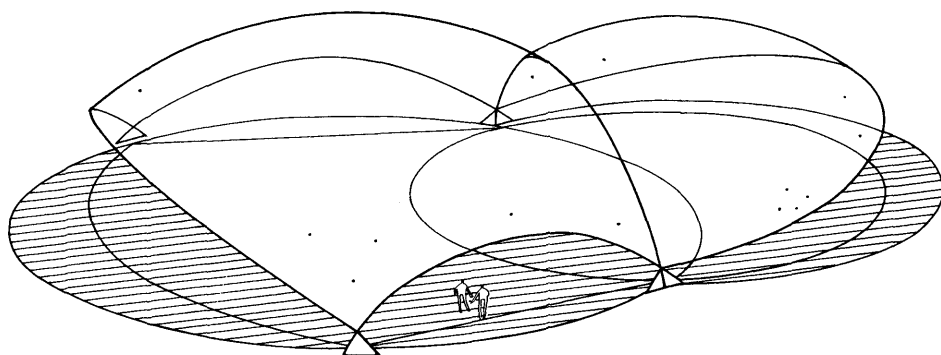
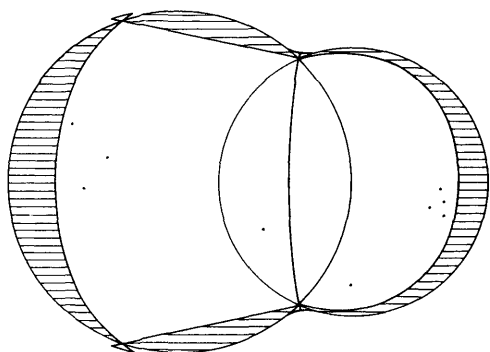


Sistemas de definición de espacios con superficies  
esféricas de diferente curvatura

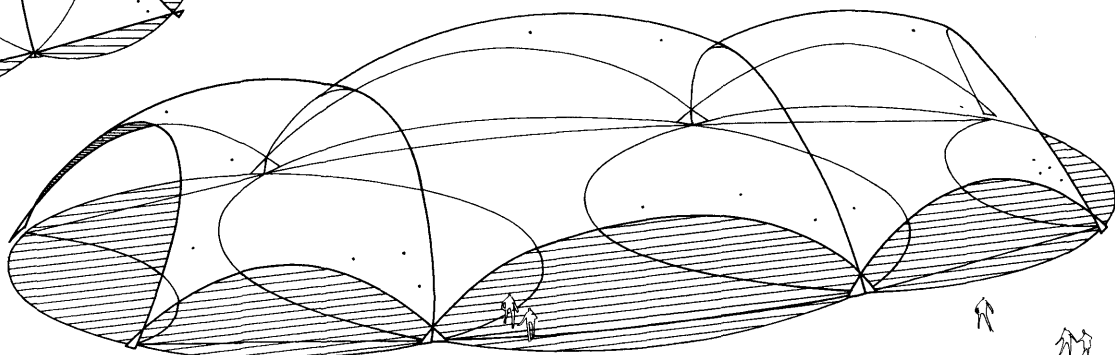
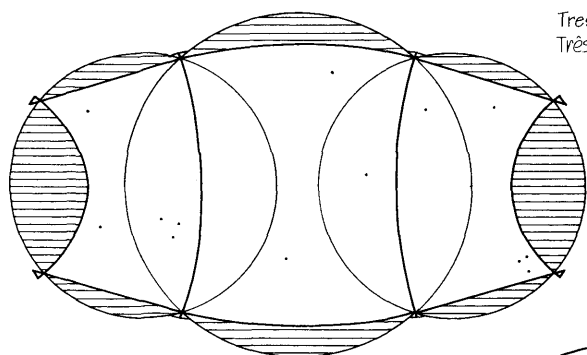
Sistemas de configuração espacial com duas superficies  
esféricas de diferentes curvaturas



Dos superficies esféricas con arcos laterales verticales y segmentos  
inclinados de apoyo anular  
Duas superficies esféricas com arcos verticais laterais e segmentos inclinados  
com base anular

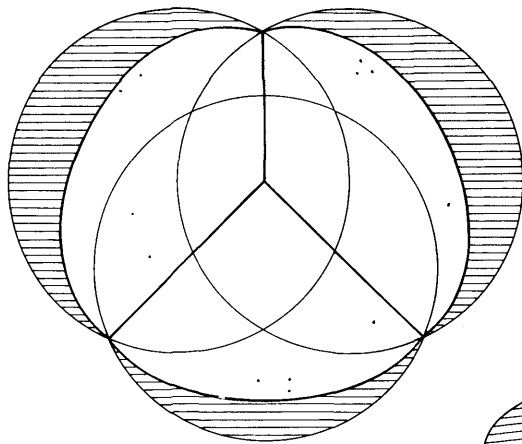
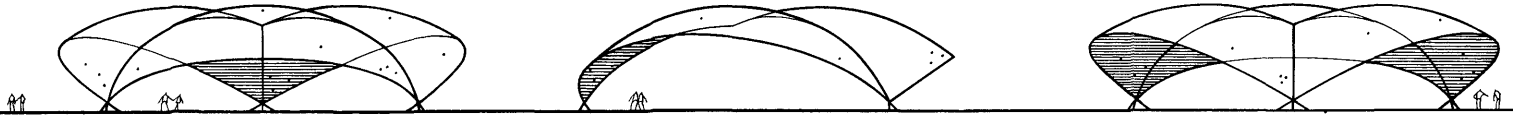


Tres superficies esféricas con arcos de borde verticales e inclinados  
Três superficies esféricas com arcos de borda verticais e inclinados

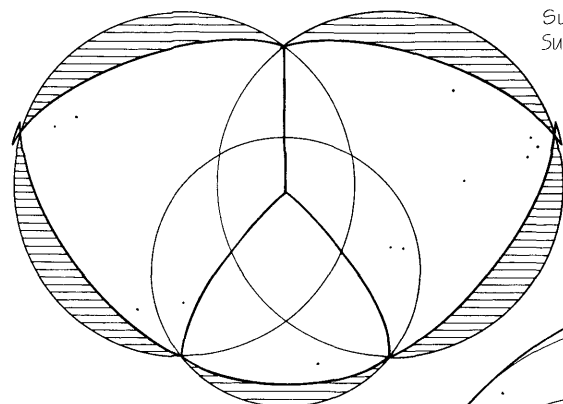
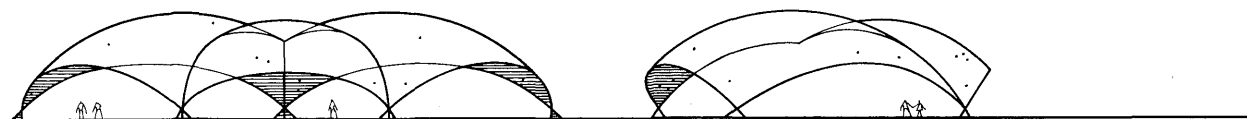
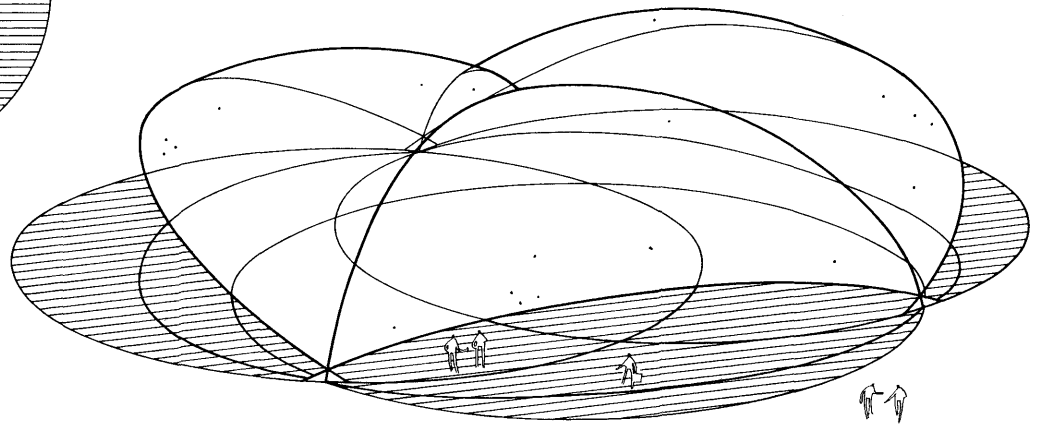


Sistemas de definición de espacios con tres superficies esféricas con unión en la limahoya

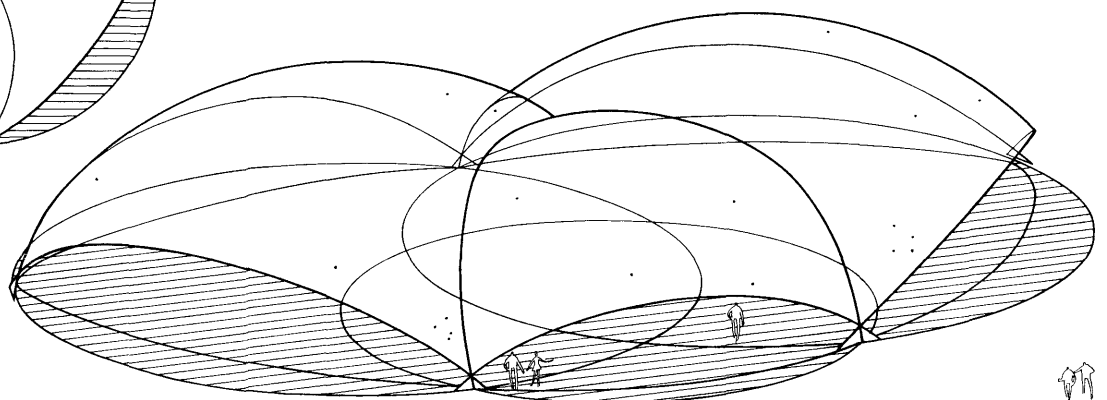
Sistemas de configuração espacial com três superfícies esféricas unidas em água furtada



Superfícies esféricas de igual curvatura y segmentos de apoyo anular inclinados  
Superfícies esféricas de igual curvatura e segmentos inclinados com base anular

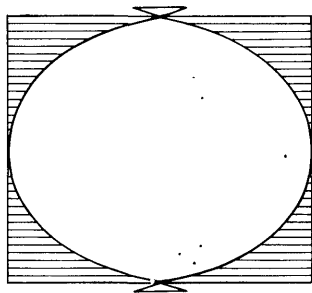
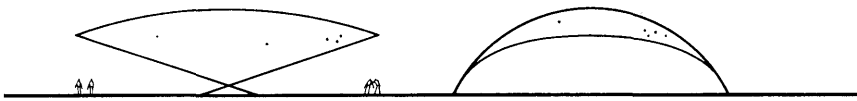
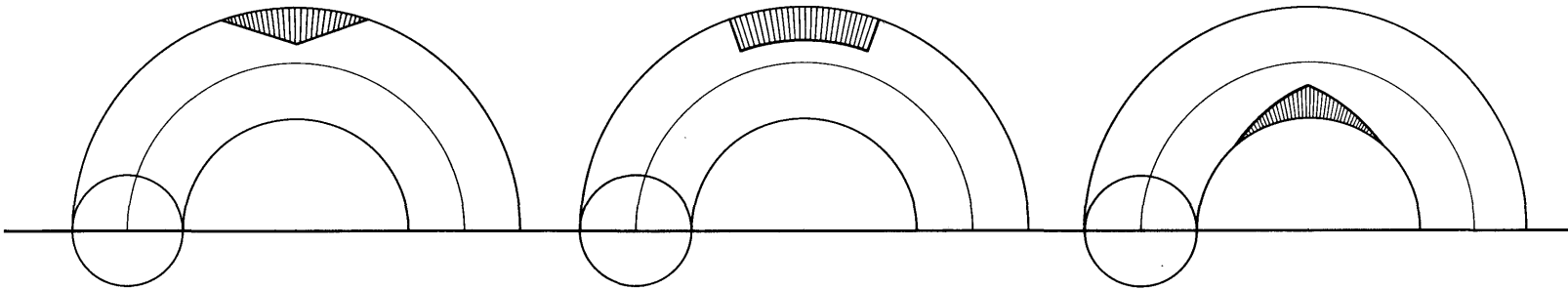


Superfícies esféricas de diferente curvatura y segmentos de apoyo anular inclinados hacia el interior  
Superfícies esféricas de diferente curvatura e arcos de borda inclinados para fora

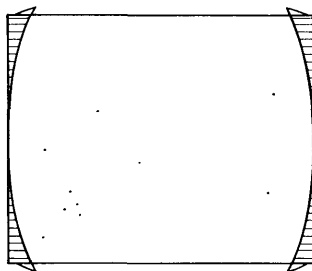
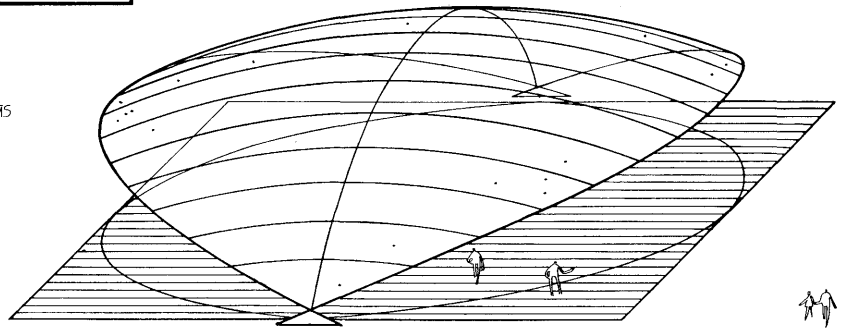


Secciones toroidales para plantas de geometría especial

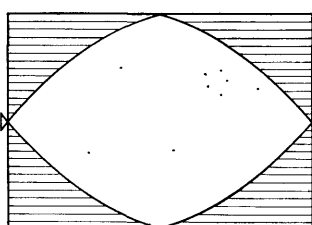
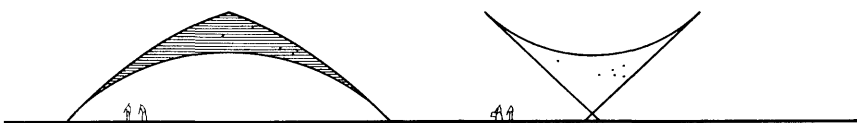
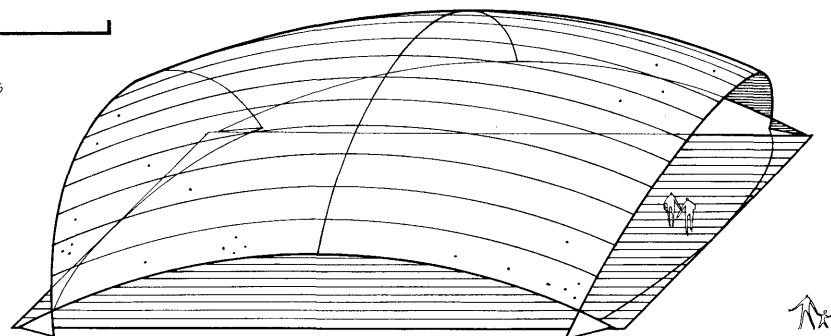
Seções toróides para plantas geométricas especiais



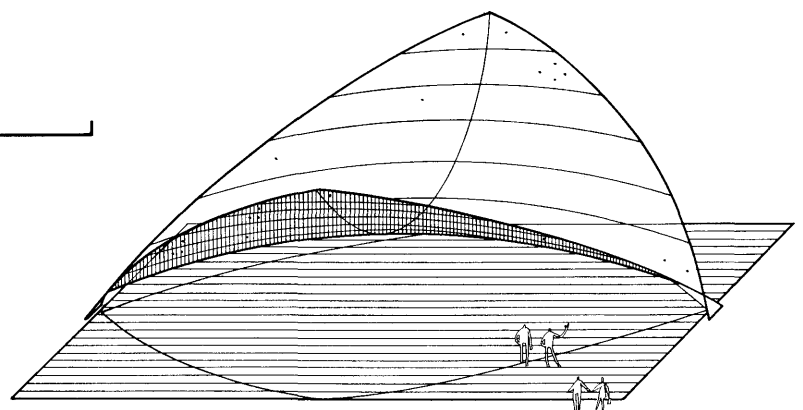
Sección oval con curvaturas  
descendentes de igual dirección  
Seção oval com curvaturas inclinadas  
para baixo



Sección rectangular con curvaturas  
descendentes de igual dirección  
Seção quadrangular com curvaturas  
inclinadas para baixo



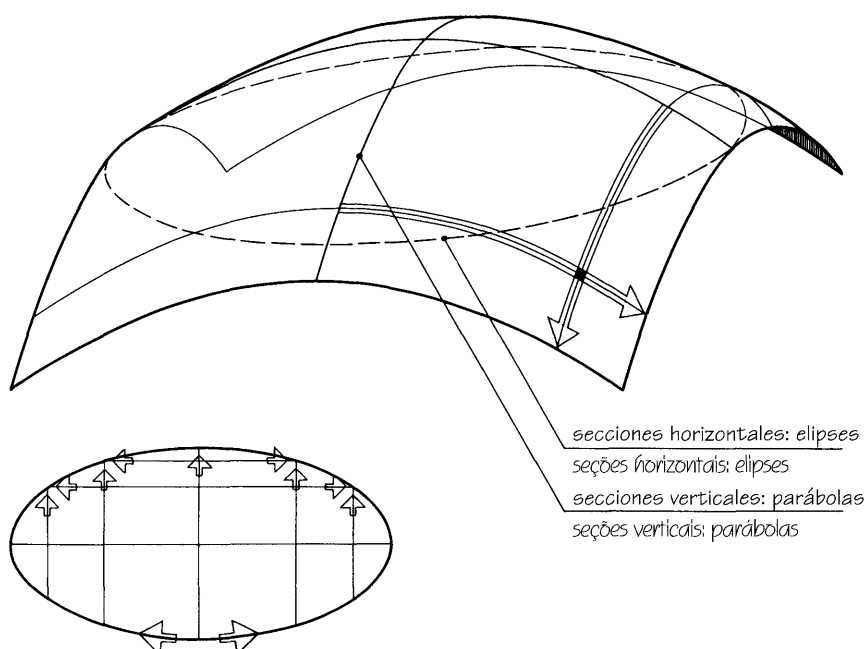
Sección romboidal con curvaturas  
de dirección opuesta  
Seção rômbrica com curvaturas opostas



## Geometría y mecanismo portante de las membranas de traslación

Generación de la superficie: una superficie de traslación se genera haciendo girar una curva plana (generatriz), en paralelo a ella misma, alrededor de otra curva plana (directriz), cuyo plano suele ser perpendicular a la generatriz.

Geração da superfície: uma superfície de translação é gerada pelo movimento de uma curva plana (geratriz) paralela a si mesma ao longo de outra curva plana (diretriz), que usualmente se encontra em plano perpendicular ao plano da geratriz.



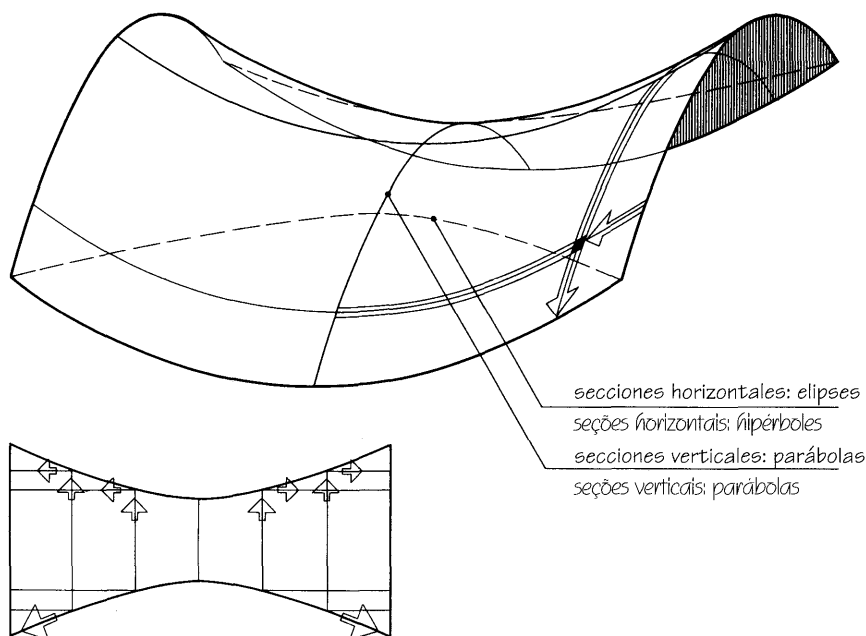
Parabolóide elíptico

Parabolóide elíptico

superficie sinclástica (=curvatura de igual dirección)  
superficie sinclástica (= curvaturas na mesma direção)

Las cargas se transmiten a través de dos ejes a los bordes por mecanismo de arco. Por lo tanto, los bordes se han de rigidizar para poder absorber el empuje de los arcos. Si el perímetro inferior es horizontal, el borde ha de absorber la resultante de los esfuerzos de los arcos según los dos ejes. Como su forma (elipse) se aproxima al arco funicular que corresponde al peso propio de las fuerzas horizontales, apenas hay flexión en la viga de borde.

As cargas são transmitidas aos arcos de borda por meio de mecanismo de arco em dois eixos. As bordas, portanto, vão receber os empuxos do arco, e devem ser reforçadas adequadamente. No caso da extremidade horizontal da borda inferior, esta deve receber as resultantes das forças do arco de ambos os eixos. Por causa da sua forma (elíptica) aproximar-se da curva funicular de tração para as componentes horizontais resultantes do peso próprio, a viga de borda permanece amplamente isenta de tração.



Parabolóide hiperbólico

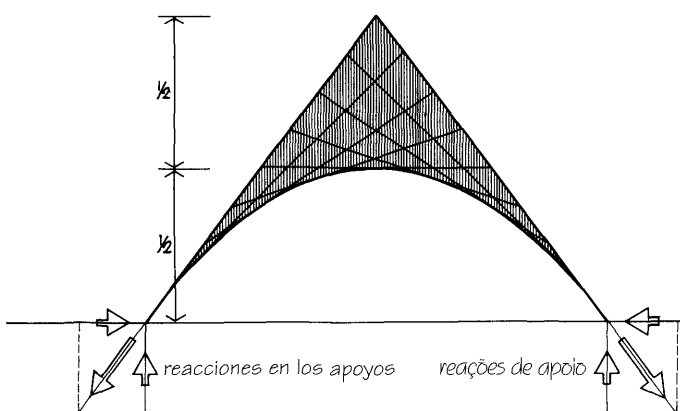
Parabolóide hiperbólico = hip

superficie anticlástica (en silla de montar; curvatura de dirección opuesta)  
superficie anticlástica (sela; curvaturas em direções opostas)

Las cargas se transmiten a los bordes por mecanismo de arco según un eje y por suspensión según el otro. Por lo tanto, el borde debe absorber el empuje del arco según un eje y la tracción de la suspensión según el otro. Si el perímetro inferior es horizontal, el borde debe absorber la resultante del empuje y de la tracción. Debido a su forma de arco (hipérbola) la viga de borde puede transmitir estos esfuerzos horizontales a las esquinas sin apenas flexión.

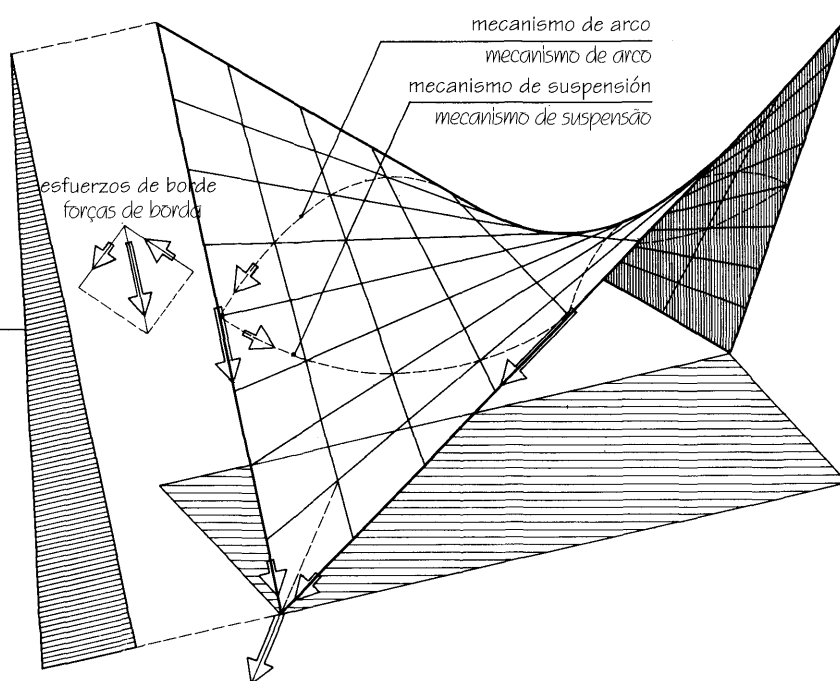
As cargas são transmitidas aos arcos de borda através de um mecanismo de arco em um eixo e mecanismo de suspensão no outro. As bordas devem receber, portanto, o empuxo do arco em um eixo e a tração de suspensão no outro. No caso de terminação horizontal da borda inferior, esta deve receber as resultantes do empuxo e da tração. Em razão da forma de seu arco, a viga de borda pode transmitir essas forças horizontais aos cantos sem maiores flexões.

### Mecanismo portante de la superficie del paraboloide hiperbólico



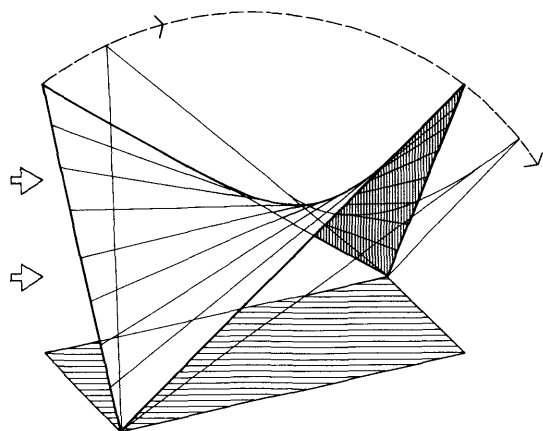
debido a la orientación inclinada de las resultantes, los apoyos han de absorber también el empuje horizontal  
por causa da inclinação da resultante final, os apoios recebem também um empuxo horizontal

### Mecanismo portante da superfície "hip" de borda reta

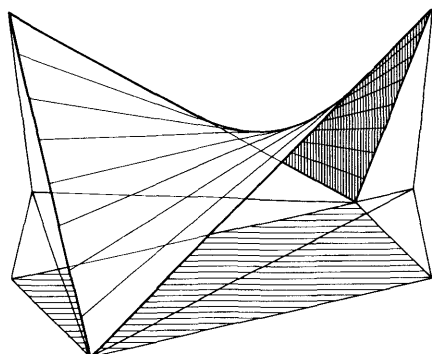


La membrana del paraboloide hiperbólico funciona a lo largo de un eje como un mecanismo de arco y, a lo largo del otro, como un mecanismo suspendido. Mientras que los esfuerzos de compresión tienden a deformar la membrana según un eje, los esfuerzos de tracción según el otro eje tienden a contrarrestar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

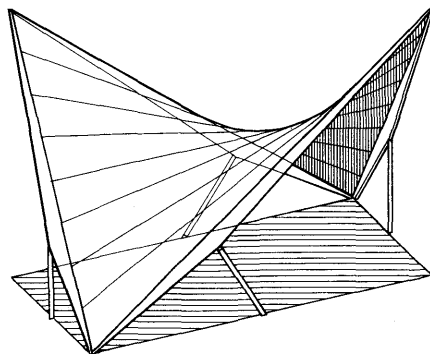
A casca "hip" funciona em um eixo como um mecanismo de arco, e no outro como um mecanismo de suspensão. Assim, enquanto em um eixo a casca deforma-se baixo esforços de compressão, e tende a ceder, é impedida por esforços de tração no outro eixo. A resultante dos esforços de superfície atua na direção da borda. Consequentemente, a borda permanece sem problemas de flexão.



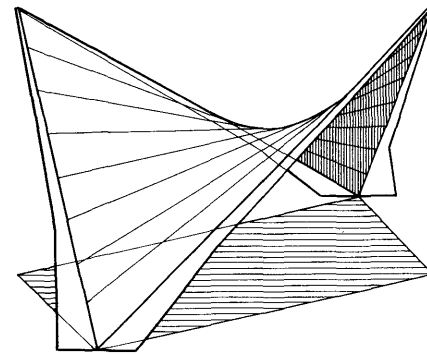
### Estabilización contra el vuelco de la membrana Estabilização contra a inclinação da casca



Atirantamiento con cables de los puntos más elevados  
Ancoragem dos pontos altos com cabos

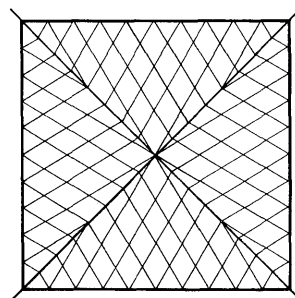
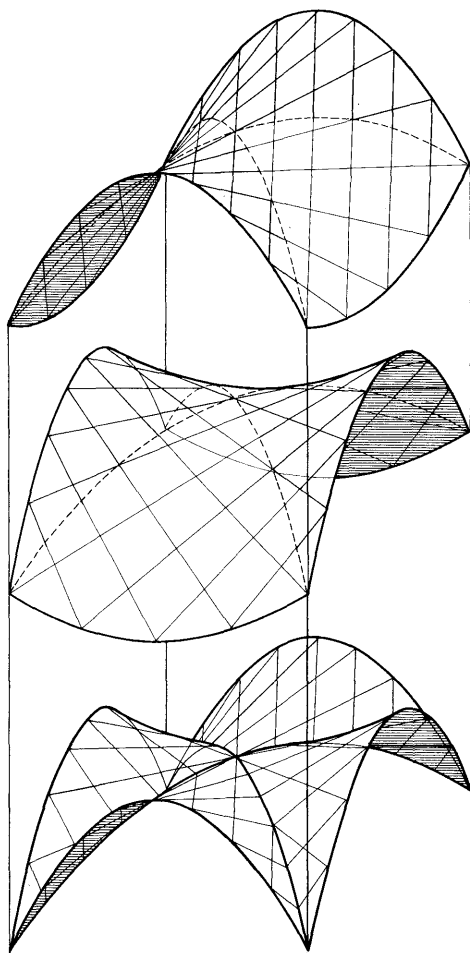


Apoyo de las vigas de borde sobre pilares  
Suporte das vigas de borda com tirantes

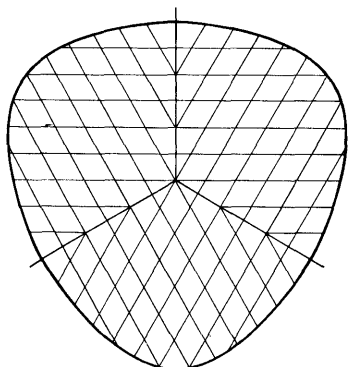
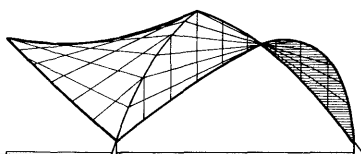
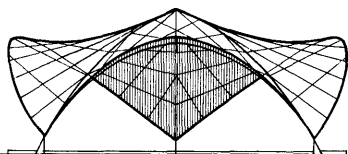
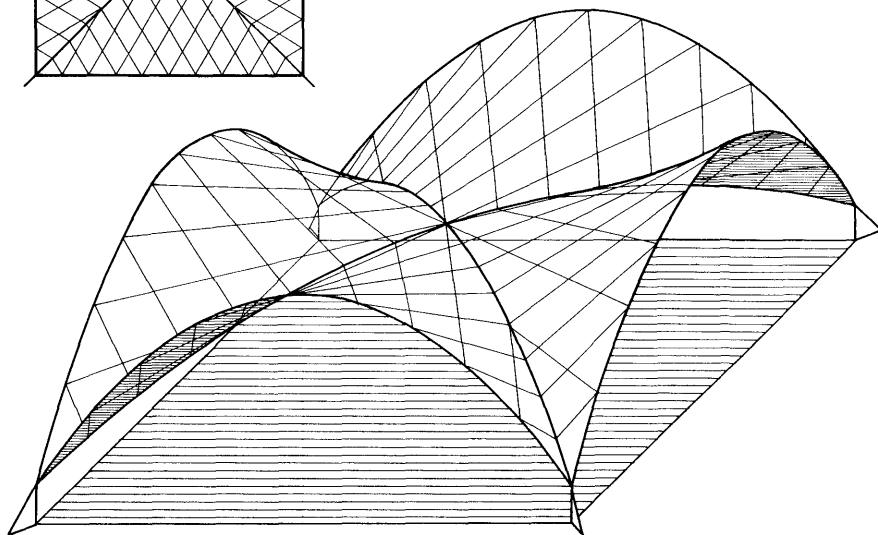


Conexión rígida de los puntos de apoyo en la cimentación  
Conexão rígida dos pontos da base com a fundação

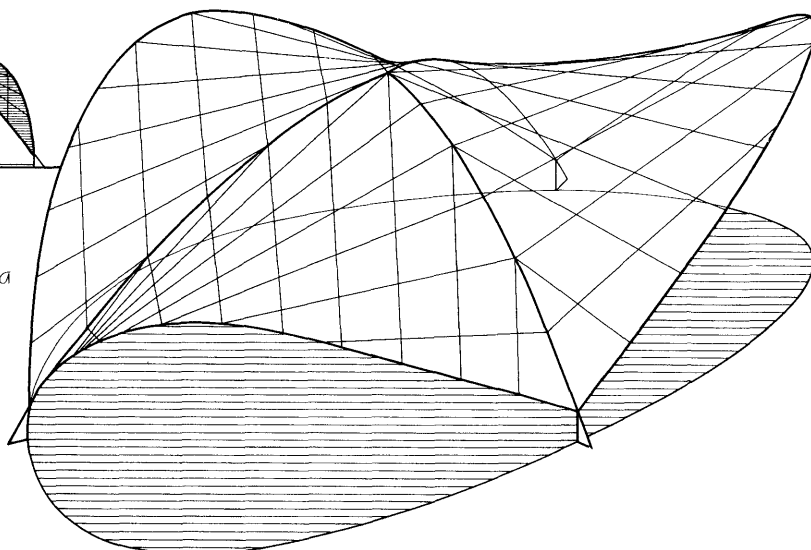
Sistemas estructurales formados a partir de la intersección de  
hiperboloídes parabólicos con bordes curvos  
Sistemas estruturais compostos por interseção de superfícies "hip"  
com bordas curvas



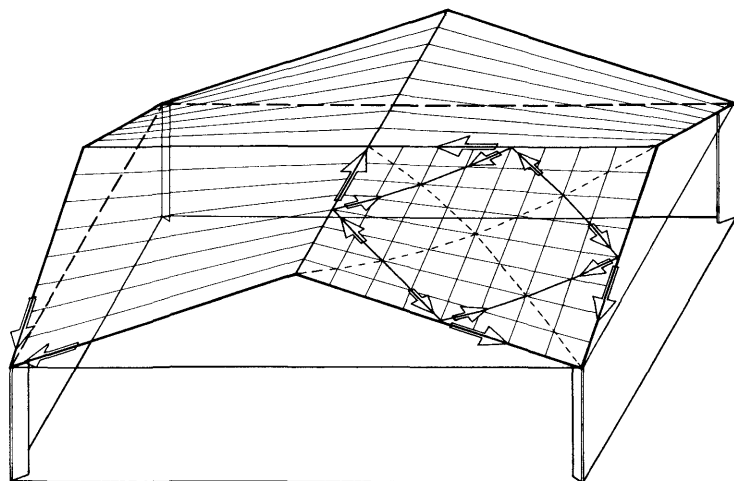
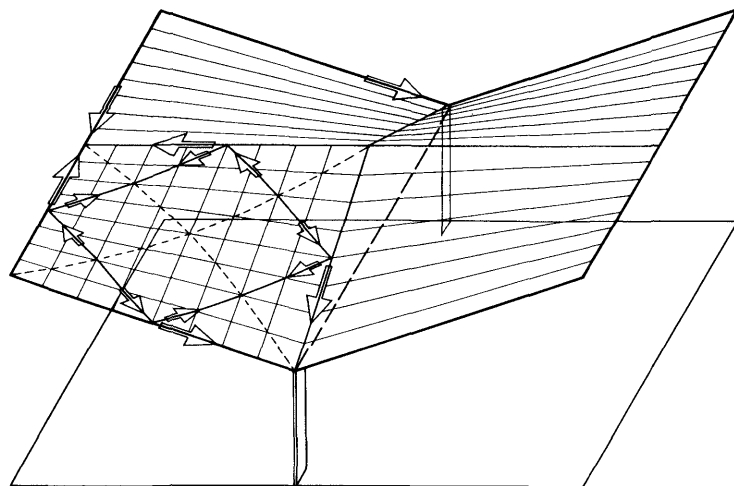
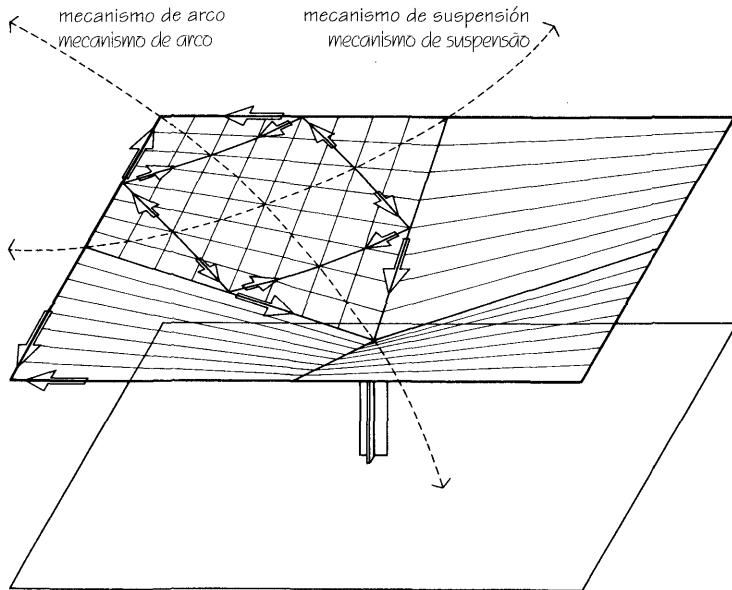
4 hiperboloides parabólicos con arcos verticales de borde  
4 superficies "hip" com arcos de borda verticais



3 hiperboloides parabólicos con  
arcos inclinados de borde  
3 superficies "hip" com arcos de borda  
inclinados



### Mecanismo portante de los sistemas formados por 4 hiperboloides parabólicos



### Mecanismo portante de sistemas compuestos de cuatro superficies "hip"

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.

As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas com tração e as dobras da parte inferior com compressão. Nos apoios, as componentes horizontais das resultantes finais compensam-se umas às outras.

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

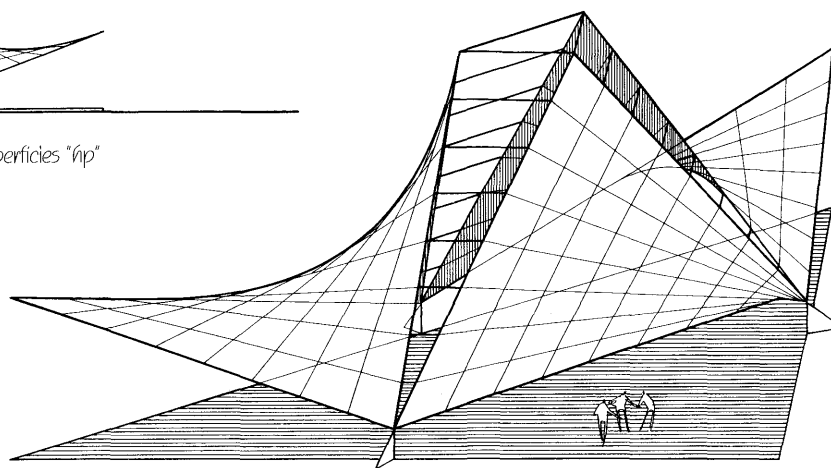
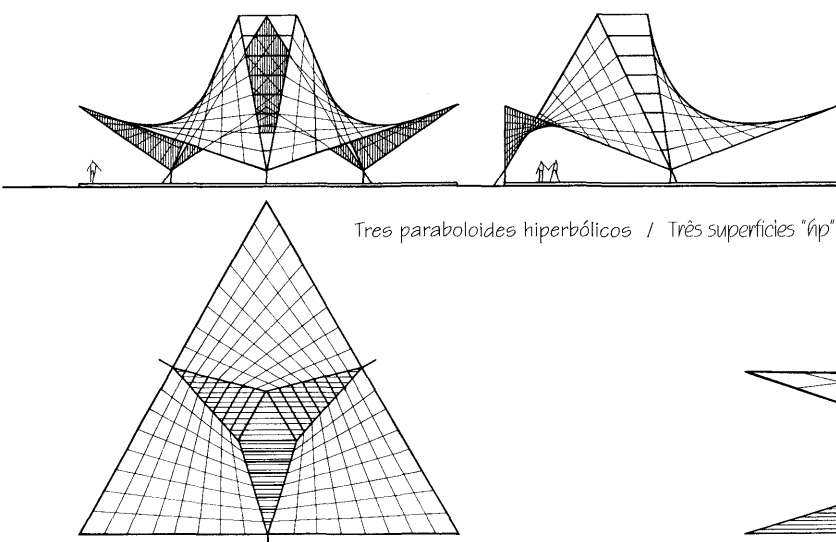
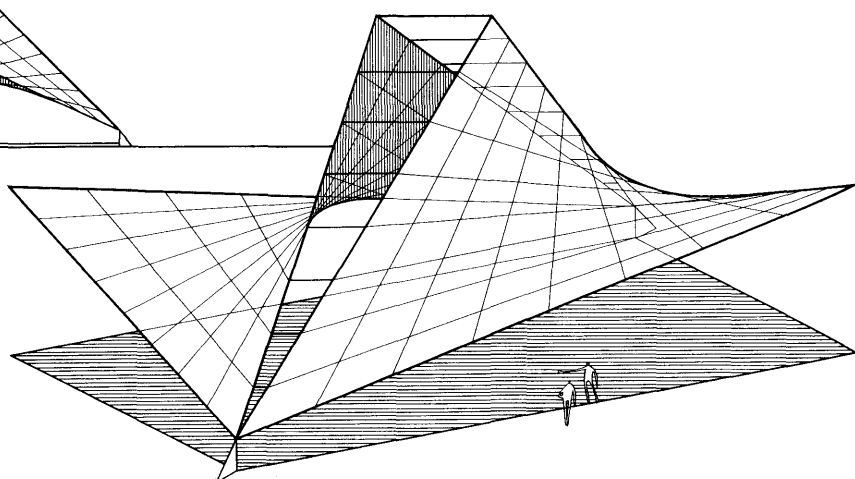
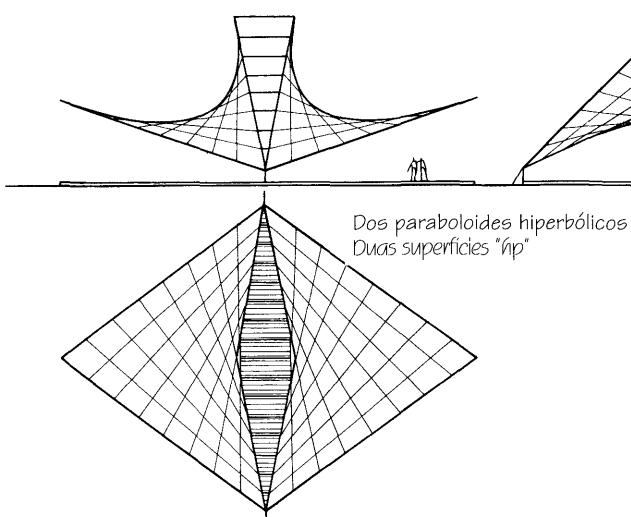
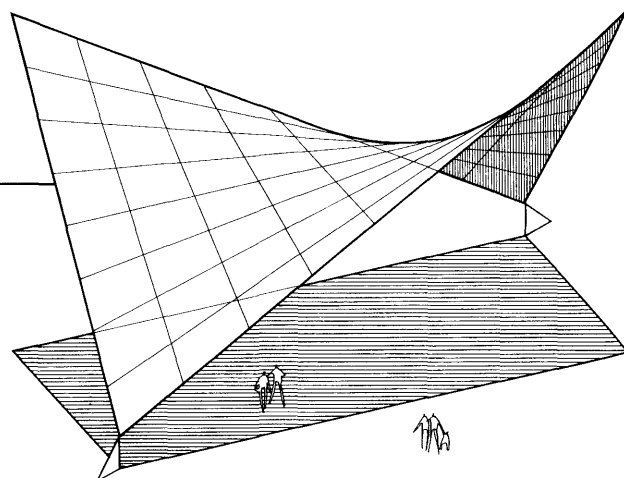
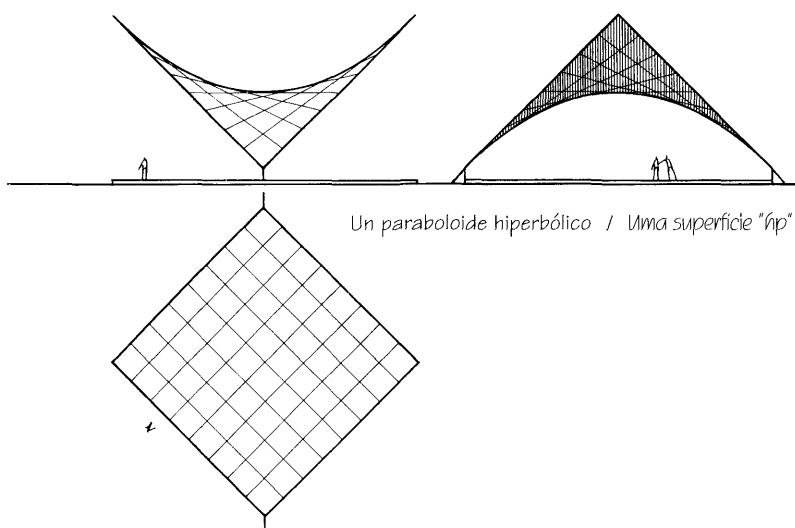
As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas e as dobras inferiores com compressão, e a dobra da cumeeira com tração. Nos apoios, uma barra fixa recebe a componente horizontal da resultante.

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

As resultantes do mecanismo de arco e do mecanismo de suspensão esforçam as bordas e as dobras da cumeeira com compressão. Nos apoios, as barras fixas recebem a componente horizontal da resultante final.

Sistemas estruturales formados por paraboloides hiperbólicos individuales de bordes rectos

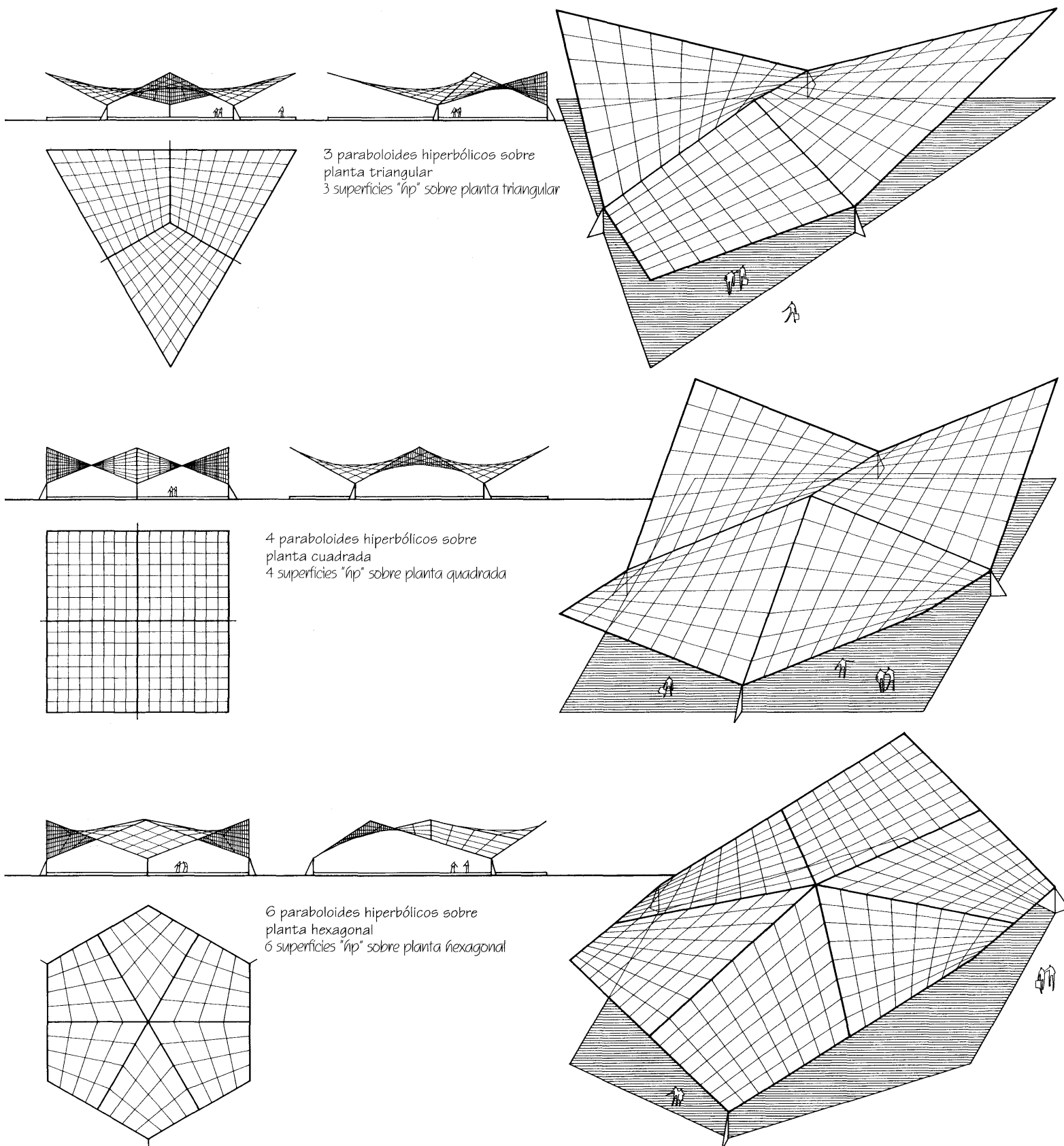
Sistemas estruturais compostos de superficies "hip" simples de borda reta



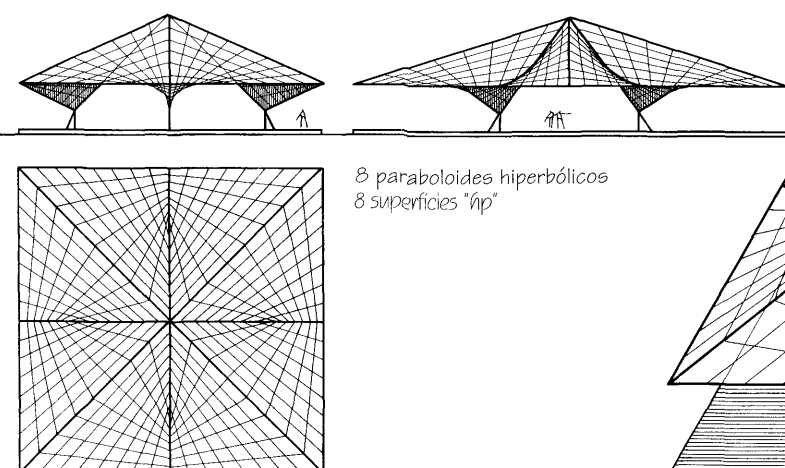
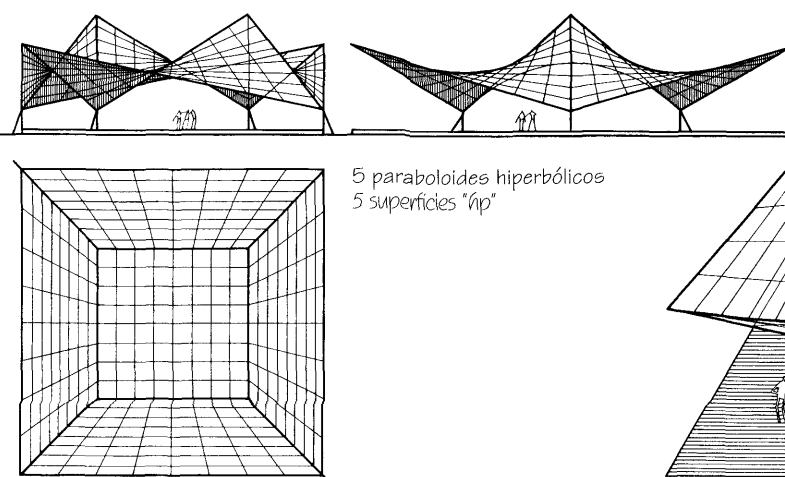
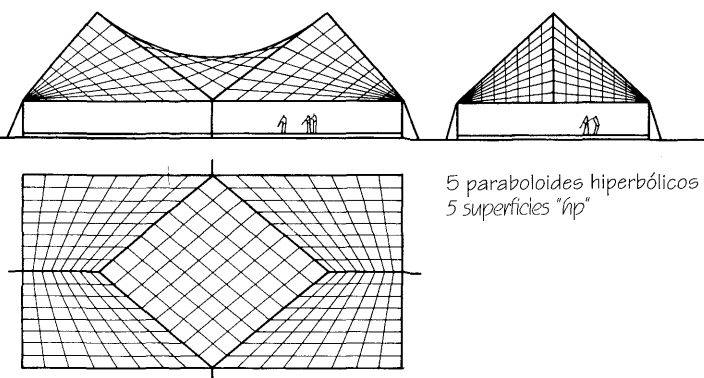


Sistemas estructurales formados a partir de la composición de paraboloides hiperbólicos de bordes rectos

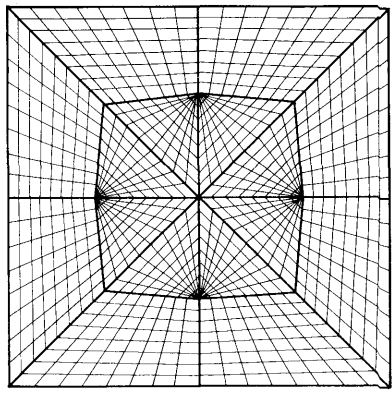
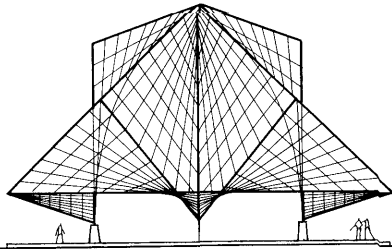
Sistemas estruturais compostos de superficies "hp" de borda reta



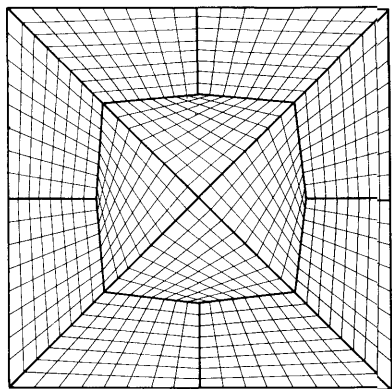
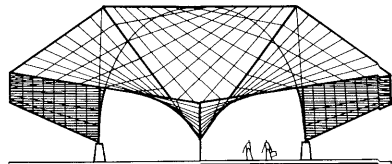
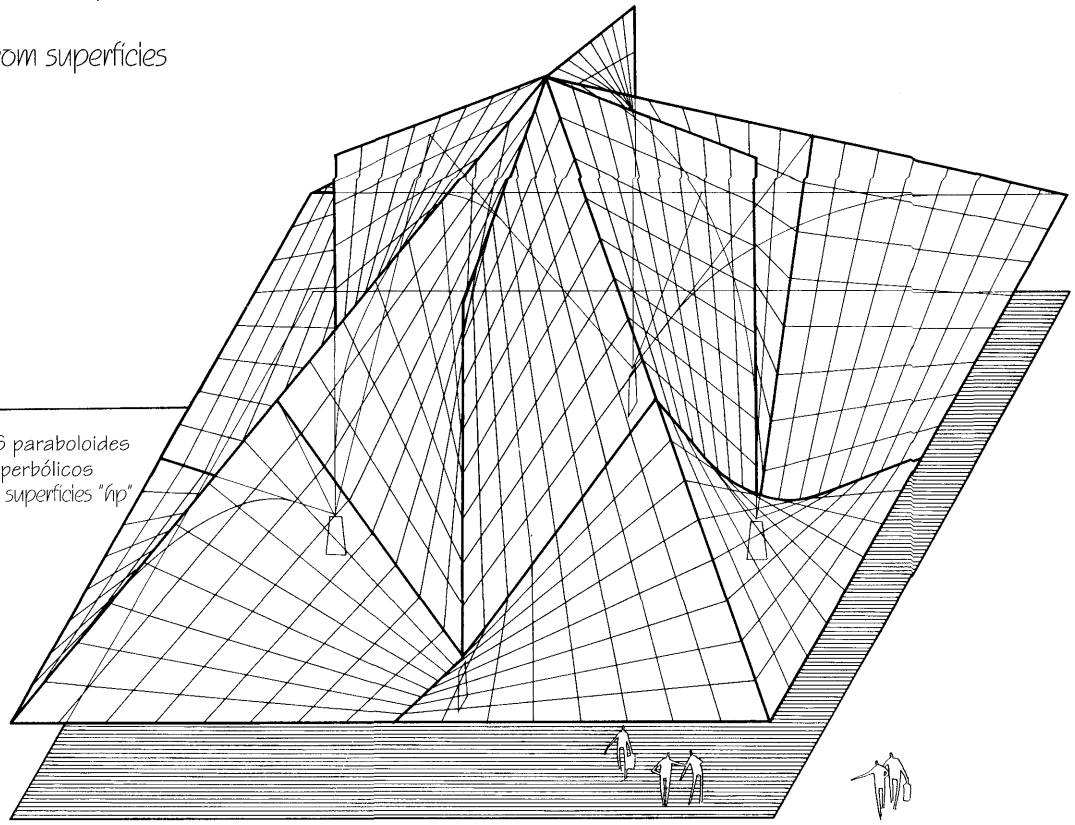
Sistemas de definición de espacios con paraboloides hiperbólicos de bordes rectos  
 Sistemas de configuração espacial com superfícies "hp" de borda reta



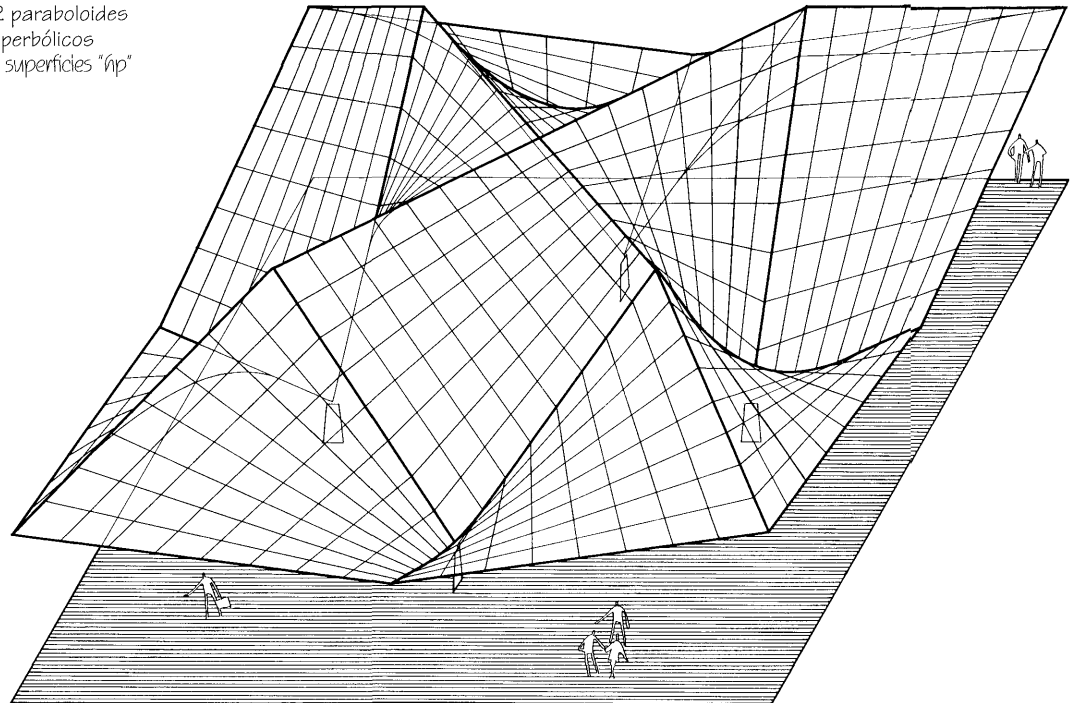
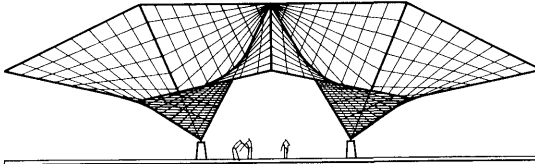
Sistemas de definición de espacios con paraboloides  
hiperbólicos de bordes rectos  
Sistemas de configuração espacial com superfícies  
"hp" de borda reta



16 paraboloides  
hiperbólicos  
16 superficies "hp"

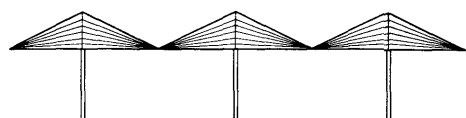


12 paraboloides  
hiperbólicos  
12 superficies "hp"



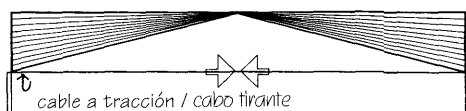
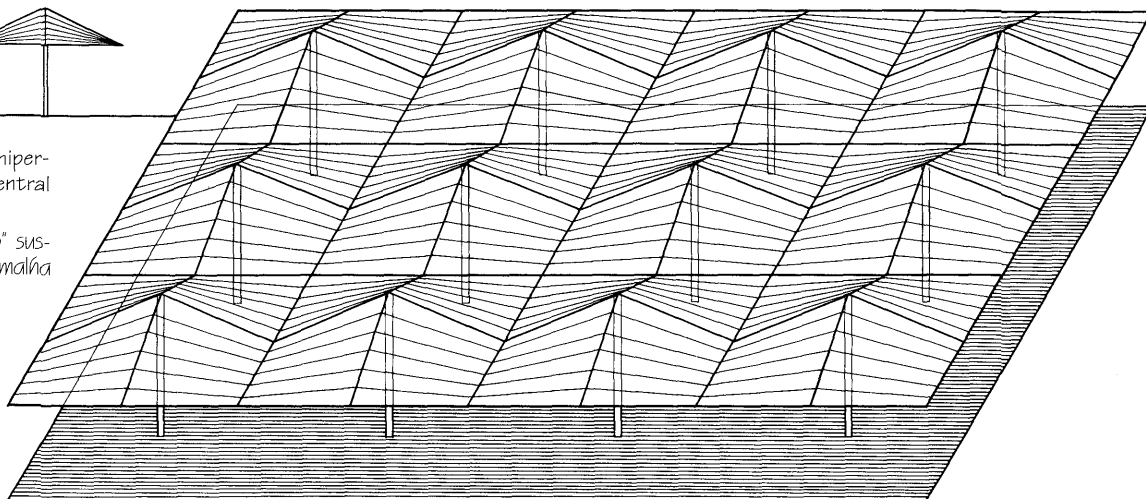
Sistemas estructurales de paraboloides hiperbólicos para cubrir grandes espacios

Sistemas estruturais "hp" para cobertura de grandes espaços



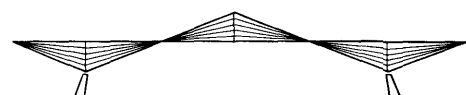
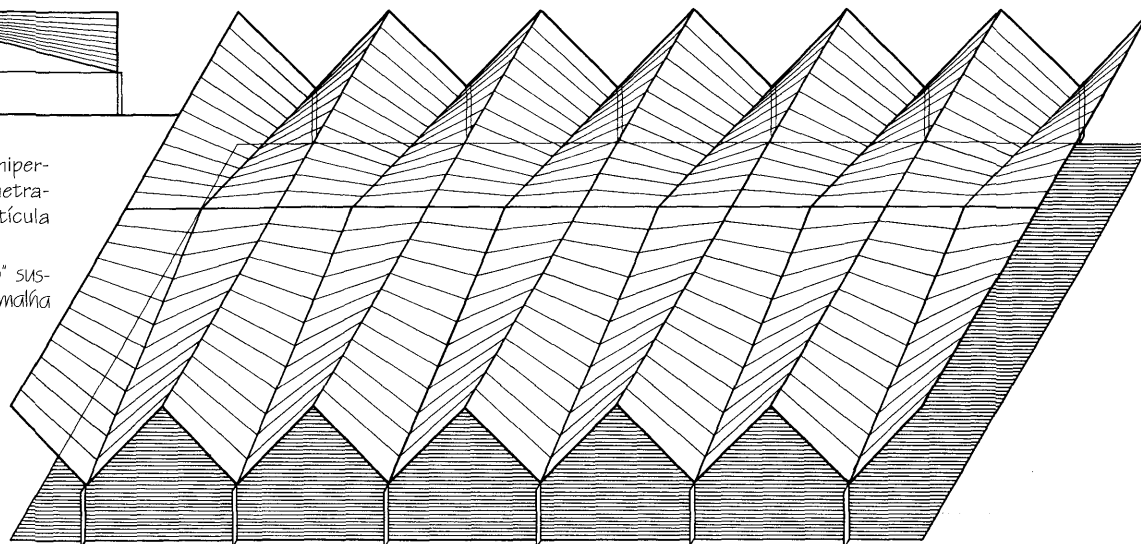
unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre un pilar central sobre una planta cuadrada

unidade formada por 4 superfícies "hp" sustentadas por um apoio central em uma malha quadrada



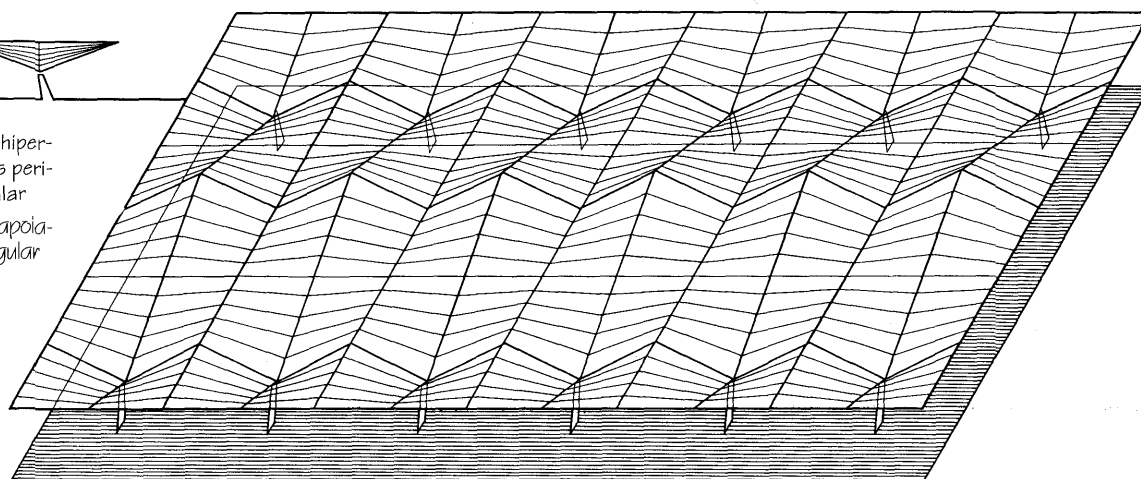
unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre pilares perimetrales con cable a tracción sobre una retícula rectangular

unidade formada por 4 superfícies "hp" sustentadas por apoios laterais em uma malha retangular



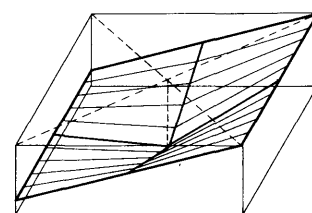
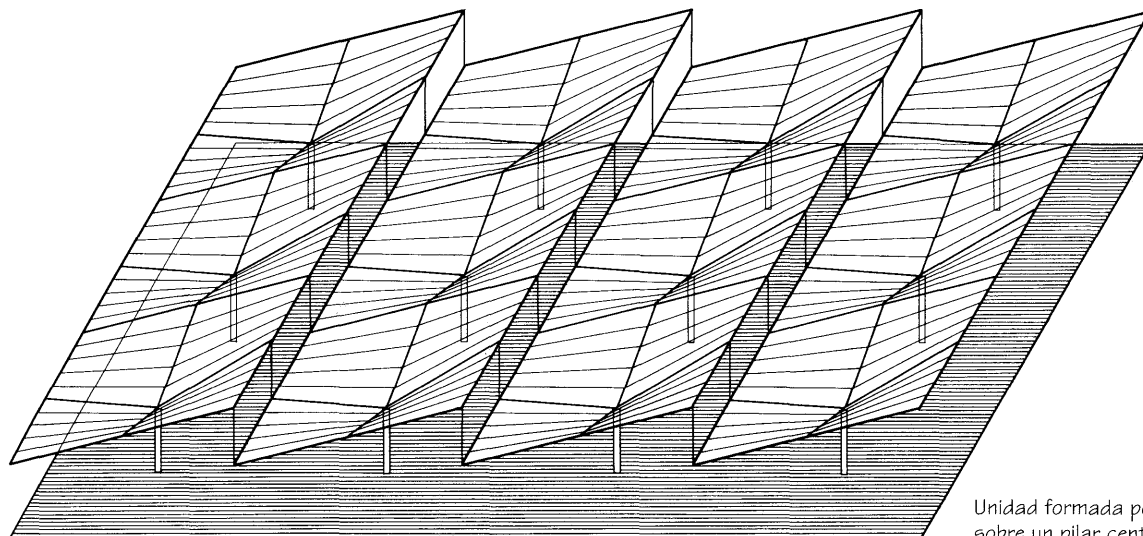
unidad formada por 8 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre contrafuertes perimetrales sobre una retícula rectangular

unidade formada por 8 superfícies "hp" apoiadas em contrafortes sobre malha retangular

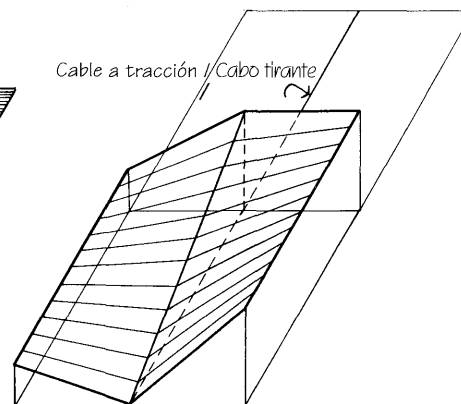
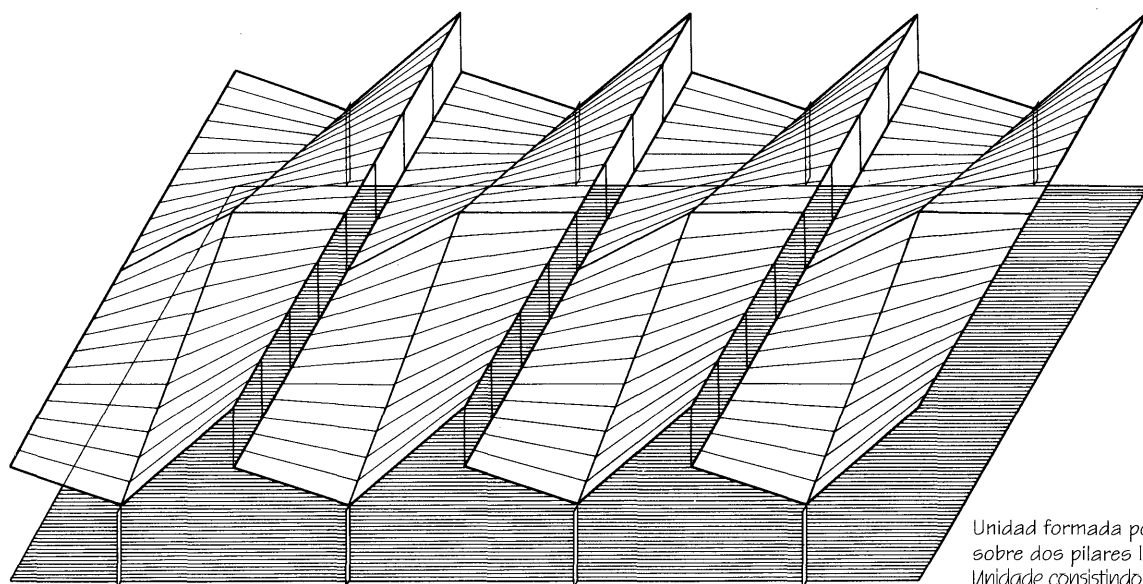


Sistemas estructurales para grandes cubiertas con lucernarios

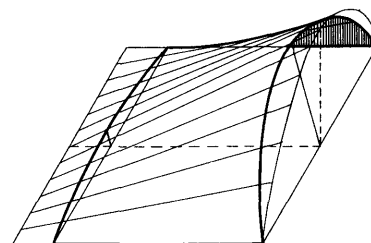
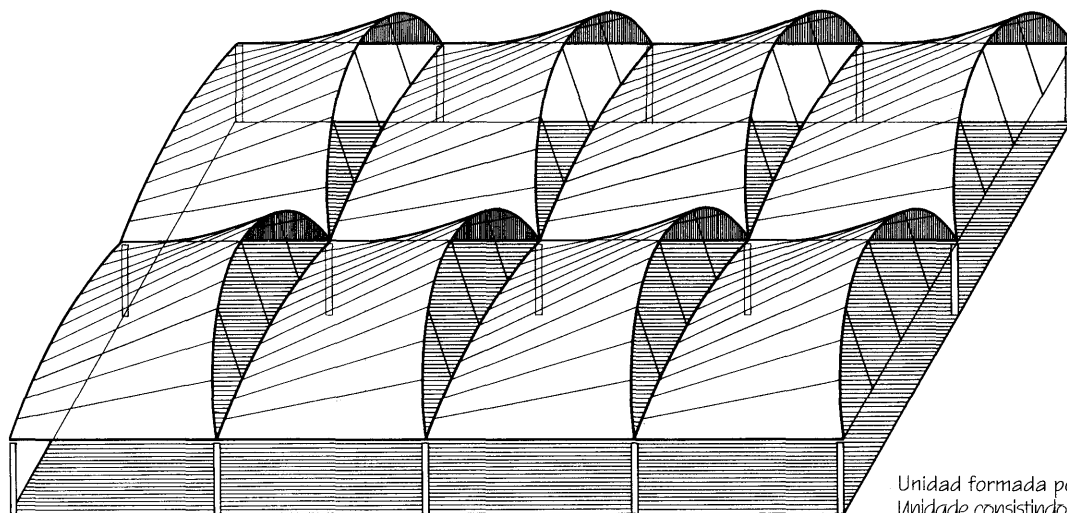
Sistemas estruturais para cobertura de grandes vãos com faixas de janelas



Unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre un pilar central  
Unidade consistindo de 4 superfícies "np" sobre um apoio central



Unidad formada por 4 paraboloides hiperbólicos apoyados sobre dos pilares laterales  
Unidade consistindo de 4 superfícies "np" sobre dois apoios laterais



Unidad formada por un conoide apoyado sobre cuatro pilares de esquina  
Unidade consistindo de uma superfície conoidal sobre quatro apoios de cantos



Sistemas de estructuras de altura activa  
Sistemas estruturais de altura-ativa

5

Os elementos sólidos rígidos que se estendem predominantemente em sentido vertical, assegurados contra esforços laterais e firmemente ancorados ao solo, podem absorver cargas desde planos horizontais, a grande altura acima do solo, e transmiti-las às fundações: sistemas estruturais de altura-ativa ou, simplesmente, arranha-céus.

Os sistemas estruturais cuja função principal é a de agrupar cargas de planos horizontais colocados uns sobre os outros, e transmiti-las verticalmente à base são os sistemas estruturais de altura-ativa, e por conseguinte os arranha-céus.

Os arranha-céus caracterizam-se pelos sistemas particulares de agrupamento de cargas, transmissão destas e estabilização lateral.

Os arranha-céus empregam, na redistribuição e transmissão de forças, sistemas de mecanismos de forma-ativa, vetor-ativo, seção-ativa ou superfície-ativa. Não possuem mecanismos de trabalho próprio.

Os arranha-céus não são uma sequência de sistemas de uma planta empilhados, nem podem ser considerados, devido ao seu comportamento estrutural, um superbalanço em altura. São sistemas homogêneos com problemas únicos e soluções únicas.

Devido a sua extensão em altura e, por consequência, sua múltipla susceptibilidade à carga horizontal, a estabilização lateral é um componente essencial no projeto de sistemas estruturais de altura-ativa. A partir de uma certa altura acima do solo, a redistribuição das forças horizontais pode tornar-se o fator determinante da forma do projeto.

Os sistemas estruturais de altura-ativa são um instrumento e uma ordem para a construção de edifícios de grande altura. Sob esse aspecto, são determinantes na formação de modernas construções e cidades.

Os sistemas estruturais de altura-ativa são o requisito e o veículo para a utilização da terceira dimensão da altura no planejamento urbano. Futuramente, o uso dos sistemas estruturais de altura-ativa não se limitará, portanto, só a edifícios isolados, mas ampliar-se-á para tornar acessível, também em extensão, o grande espaço urbano.

Os sistemas estruturais de altura-ativa requerem continuidade dos elementos que transportam a carga à base, e, portanto, necessitam da concordância dos pontos de agrupamento de carga para cada planta. A distribuição dos pontos coletores de carga deve ser determinada não apenas por considerações de eficiência estrutural, mas também pelas de utilização do pavimento.

Os arranha-céus podem ser distinguidos pelos diferentes sistemas de captação de carga em planta. Nos sistemas modulares, os pontos de união são distribuídos uniformemente em todo o plano do pavimento; nos sistemas de vão livre, são dispostos perifericamente, nos sistemas em balanço, a zona de absorção ou agrupamento de carga situa-se no centro, e nos sistemas em ponte os pontos de absorção são direcionados a uma estrutura separada sobreposta.

Nos edifícios altos, os sistemas de absorção de carga são intimamente relacionados com a configuração e a organização da planta. A interdependência é tal que os sistemas de absorção de carga propriamente ditos produzem sistemas correspondentes de plantas para edifícios altos.

Com a finalidade de proporcionar condições adequadas para uma planta flexível, e boas possibilidades de reorganização posterior de compartimentos individuais em cada planta, o projeto de sistemas estruturais de altura-ativa tem como meta a maior redução possível de elementos verticais de transmissão de carga, tanto em seção quanto em número.

Por causa da continuidade necessária à transmissão vertical das cargas, os sistemas estruturais de altura-ativa caracterizam-se geralmente por barras verticais contínuas, que, por sua vez, têm conduzido a fachadas não articuladas na sua extensão em altura. A articulação em altura ainda é um dos problemas não resolvidos dos sistemas estruturais de altura-ativa.

Os sistemas estruturais de altura-ativa, apesar da lógica vertical das partes que transmitem a carga, podem ser projetados com economia também com elementos não verticais. Isso significa que a monotonia da linha reta vertical do alçado do contorno não é uma qualidade intrínseca dos sistemas estruturais de altura-ativa.

A investigação das possibilidades para a diferenciação e articulação da geometria vertical das

estruturas de edifícios elevados é uma tarefa importante e atual. Aqui, um amplo potencial inusitado do projeto de edifícios altos ainda deve ser descoberto.

Os arranha-céus requerem para a transmissão da carga vertical um considerável volume na seção de coluna, que limita a área útil de planta. Através da suspensão dos pavimentos, ao invés de apoiá-los sobre elementos transitórios, pode-se conseguir uma considerável redução da seção dos elementos que transmitem a carga. Essa transmissão indireta da carga necessita, porém, de um sistema de estrutura sobreposto para o transporte final da carga até a base.

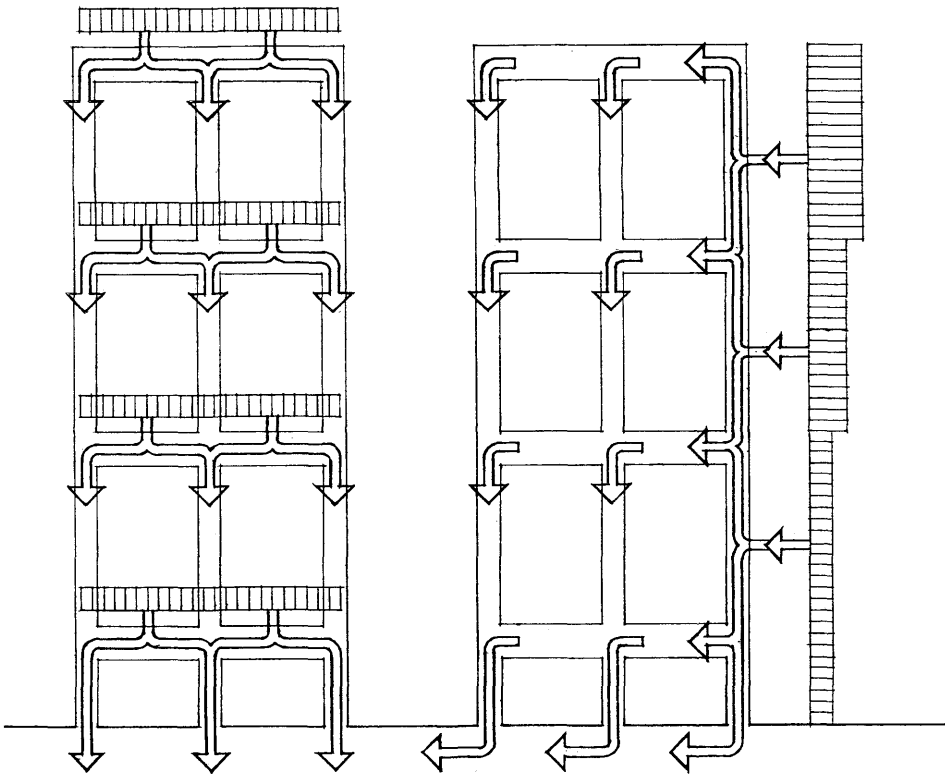
Os sistemas estruturais de altura-ativa, em que os planos horizontais, para reduzir a massa seccional dos elementos de transmissão de carga, são sobrepostos e/ou suspensos formam uma superestrutura específica muito semelhantes aos sistemas construtivos de pontes, em que o agrupamento final da carga, bem como seu transporte, são feitos por pilotis: arranha-céus tipo ponte.

Em razão da necessidade de limitar a seção dos elementos transmissores de carga, para otimizar o uso da área de planta, todos os elementos verticais que configuram espaços necessários para a função do edifício alto são seções estruturais potenciais: vãos de escadas, poços de elevadores, ductos de instalações, revestimentos externos.

O projeto ideal dos sistemas estruturais de altura-ativa integra todas as seções materiais dos compartimentos circulatórios verticais, que são componentes básicos do organismo de um grande edifício. Os sistemas estruturais de altura-ativa encontram-se, portanto, intimamente ligados à origem técnico-dinâmica dos edifícios altos.

O projeto dos sistemas estruturais de altura-ativa pressupõe, pois, um amplo conhecimento, não só dos mecanismos de todos os sistemas de estrutura, mas também, por causa da interdependência com a organização da planta e da integração do equipamento técnico do edifício, um conhecimento das interrelações de todos os fatores determinantes de uma construção.





La característica de los rascacielos no depende sólo de un MECANISMO específico para transmitir las cargas como en las 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.

### 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.

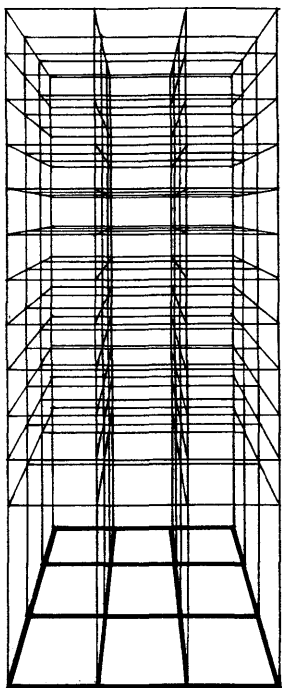
### Função dos sistemas estruturais de altura-ativa

Os sistemas estruturais de altura-ativa são mecanismos para o controle de cargas em altura, isto é, sua recepção, sua transmissão para a base, e a sua descarga (= carga transmitida ao solo):

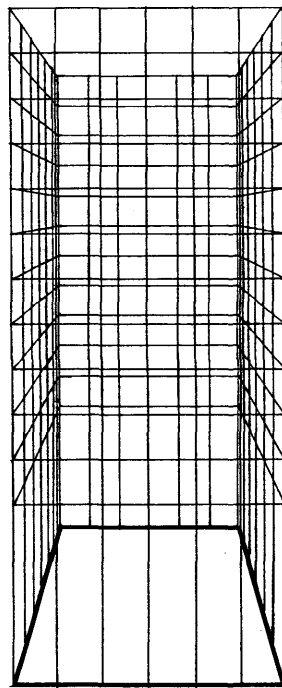
- 1 As cargas verticais incidem na elevação, isto é, na superfície do solo: cargas de cobertura e cargas de pavimento.
- 2 As cargas horizontais são efeito da extensão em altura: cargas de vento e cargas de vibração.

Cargas de altura incidem em todos os edifícios. Quanto maior altura do edifício, maior influência da estrutura portante na forma do edifício.

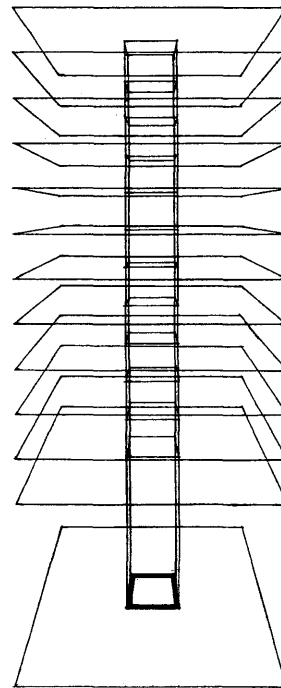
A distinção das estruturas de arranha-céu não depende de um MECANISMO específico de reorientação das forças como nas outras 4 "familias" de estruturas, mas na FUNÇÃO predominante das estruturas de arranha-céu (ver acima). Para o desempenho desta função os edifícios altos usam mecanismos das outras 4 "familias" de estruturas.



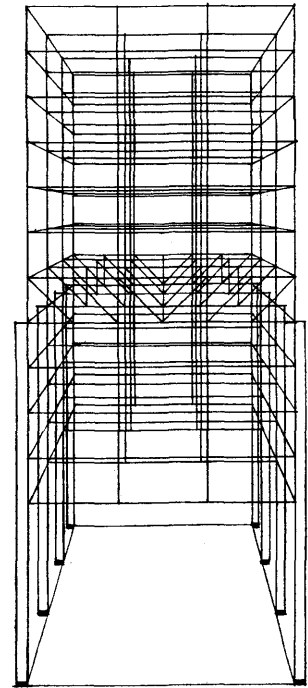
1



2



3



4

Clasificación de los sistemas estructurales de altura activa / Prototipos  
Classificação dos sistemas estruturais de altura-ativa / Protótipos

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

Arranha-céus em MALHA  
Arranha-céus de VÃO LIVRE  
Arranha-céus em BALANÇO  
Arranha-céus em PONTE

## Definición / Definição

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

Os sistemas estruturais de altura-ativa são sistemas estruturais de elementos sólidos e rígidos em extensão predominantemente vertical, nos quais a reorientação de forças -isto é, a absorção e transmissão das CARGAS DE ALTURA (= cargas de pavimento e cargas de vento)- é efetuada através da típica composição de elementos resistentes a altura, ARRANHA-CÉUS

## Fuerzas / Forças

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

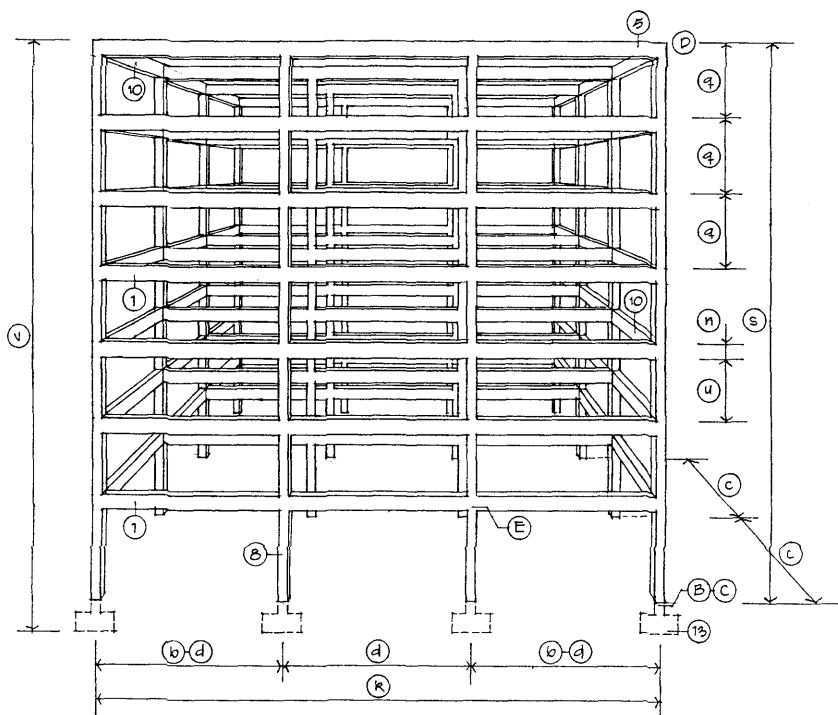
Os membros do sistema, isto é, os transmisores e estabilizadores de carga, como regra estão sujeitos a um complexo de forças diversas e mutáveis:  
SISTEMAS EM CONDIÇÃO COMPLEXA DE ESFORÇOS

## Características

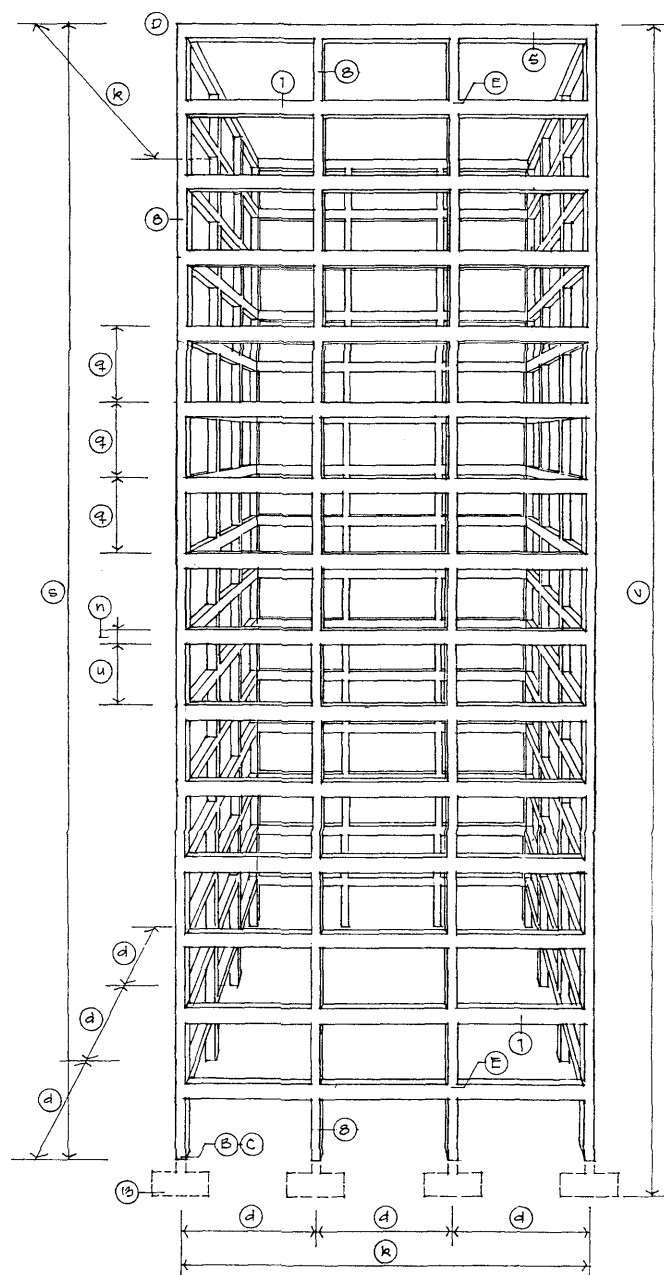
Las características típicas de la estructura son: CONCENTRACIÓN DE CARGAS / CIMENTACIÓN DE LAS CARGAS / ESTABILIZACIÓN

As características típicas das estruturas são:  
ABSORÇÃO DE CARGAS / TRANSFERÊNCIA DE CARGAS PARA A BASE / ESTABILIZAÇÃO

## Componentes y denominaciones / Componentes e denominações



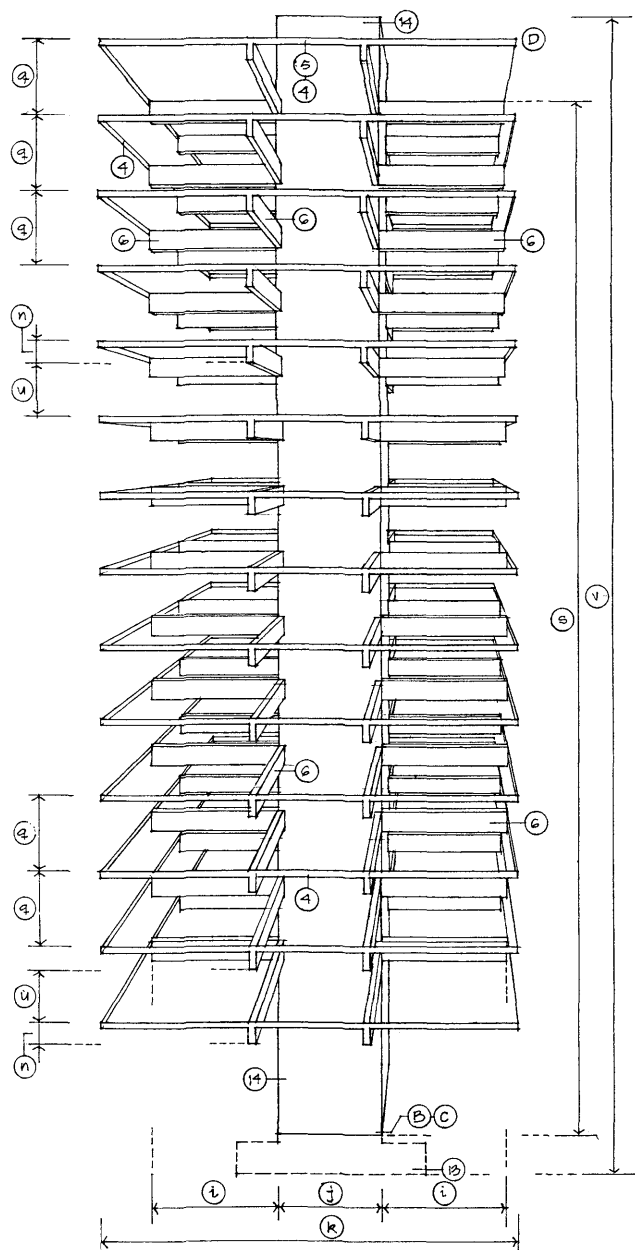
5.1 Rascacielos reticulares / Arranha-céus tipo modular



5.2 Rascacielos perimetrales / Arranha-céus de vão livre

## Puntos topográficos del sistema / Sistema topográfico de pontos

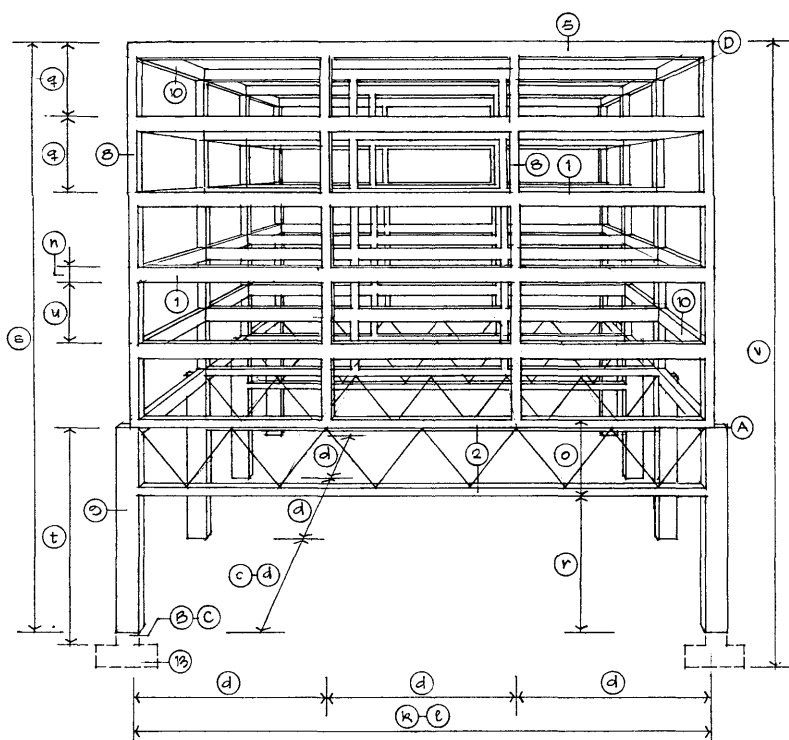
- |                          |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|
| (A) Punto de apoyo       | Ponto de apoio, ponto de suporte |
| (B) Apoyo, punto de base | Ponto base                       |
| (C) Empotramiento final  | Ponto extremo                    |
| (D) Esquina del alero    | Aresta do beiral                 |
| (E) Nudo de pórtico      | Ponto de cruzamento da malha     |



5.3 Rascacielos nucleares / Arranha-céus em balanço

## Elementos del sistema / Elementos do sistema

- |                                           |                                   |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| ① Viga / jácena                           | Viga                              |
| ② Jácena-puente                           | Viga ponte                        |
| ③ Jácena de planta                        | Viga pavimento                    |
| ④ Jácena de testero / jácena de antepecho | Viga de amarração, viga parapeito |
| ⑤ Jácena de alero                         | Viga de beiral                    |
| ⑥ Voladizo, jácena en voladizo            | Balanço, viga em balanço          |
| ⑦ Zuncho                                  | Tirante                           |
| ⑧ Pilar                                   | Coluna, apoio                     |
| ⑨ Pilón                                   | Pilótis                           |
| ⑩ Pórtico de estabilización               | Pórtico de estabilização          |
| ⑪ Malla de estabilización                 | Treliça de estabilização          |
| ⑫ Apoyo                                   | Suporte, apoio                    |
| ⑬ Cimentación                             | Fundação, base                    |
| ⑭ Núcleo                                  | Núcleo, pilar estrutural central  |

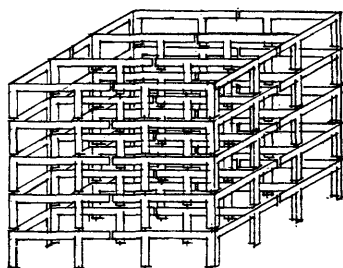


5.4 Rascacielos puente / Arranha-céus tipo ponte

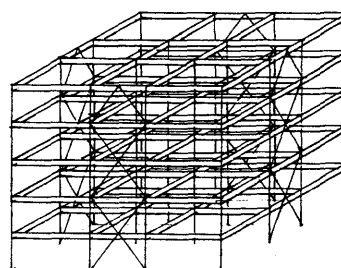
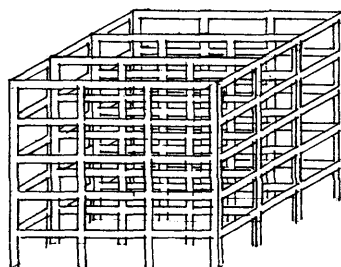
## Dimensiones del sistema / Dimensões do sistema

- |                                                     |                                                    |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| ① Separación entre vigas                            | Espaçamento entre vigas                            |
| ② Luz de las vigas, longitud del pórtico            | Vão de viga, dimensão do módulo                    |
| ③ Separación entre pórticos                         | Espaçamento entre pórticos                         |
| ④ Separación entre pilares                          | Espaçamento entre columnas                         |
| ⑤ Dimensión de la retícula (rectangular)            | Medida do módulo (quadrado)                        |
| ⑥ Anchura de la retícula / longitud de la retícula  | Espessura do módulo / altura do módulo             |
| ⑦ Diámetro de la carcasa / luz de la carcasa        | Diâmetro do vão livre, vão livre                   |
| ⑧ Anchura de la carcasa / profundidad de la carcasa | Espessura do vão livre / profundidade do vão livre |
| ⑨ Longitud del voladizo                             | Comprimento do balanço                             |
| ⑩ Anchura del núcleo / profundidad del núcleo       | Espessura do núcleo / profundidade do núcleo       |
| ⑪ Anchura del sistema / profundidad del sistema     | Espessura do sistema / profundidade do sistema     |
| ⑫ Longitud del puente / luz del puente              | Vão da ponte                                       |
| ⑬ Separación entre puentes                          | Espaçamento entre pontes                           |
| ⑭ Canto de la jácena                                | Profundidade da viga                               |
| ⑮ Canto del puente                                  | Profundidade da ponte                              |
| ⑯ Canto total de la estructura                      | Profundidade total da construção                   |
| ⑰ Altura de planta                                  | Altura do pavimento                                |
| ⑱ Altura del puente                                 | Altura da ponte                                    |
| ⑲ Altura del alero                                  | Altura do beiral                                   |
| ⑳ Altura de los pilones, longitud de los pilones    | Altura dos pilótis, comprimento dos pilótis        |
| ㉑ Altura libre                                      | Altura livre                                       |
| ㉒ Altura del sistema                                | Altura do sistema                                  |

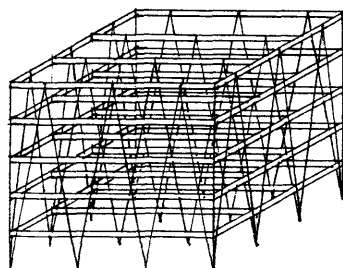
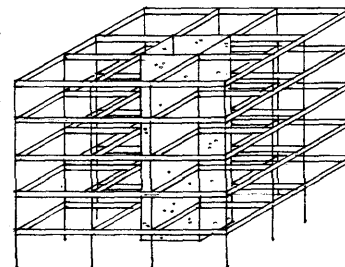
## 5.1 Rascacielos reticulares / Arranha-céus tipo modular



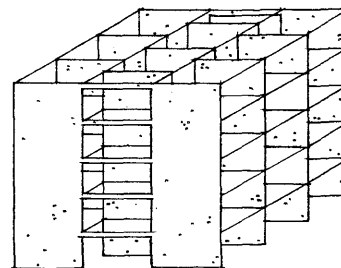
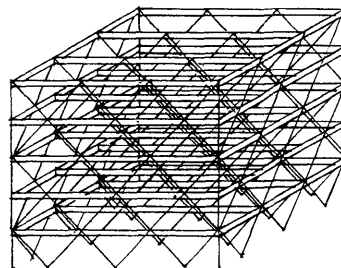
Retículas de pórticos  
Sistemas modulares de pórticos



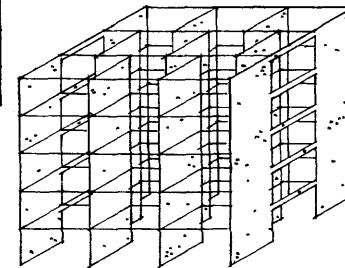
Retículas de pilares rigidizados  
Sistemas modulares de pilares estabilizados



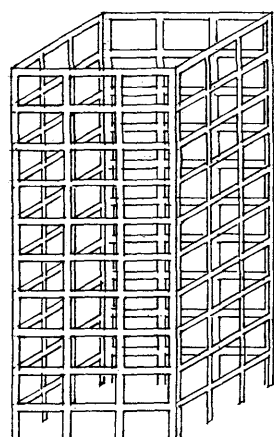
Retículas de celosias  
Sistemas modulares entrelaçados



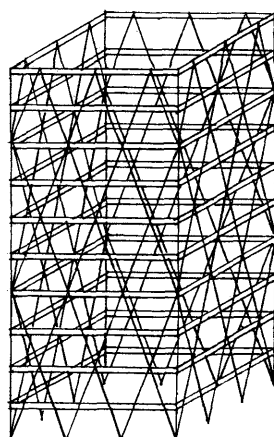
Retículas de lâminas  
Sistemas modulares de paredes cisalhadas



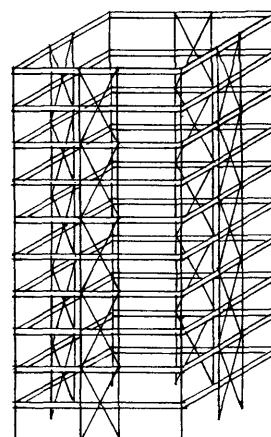
## 5.2 Rascacielos perimetrais / Arranha-céus de vão livre



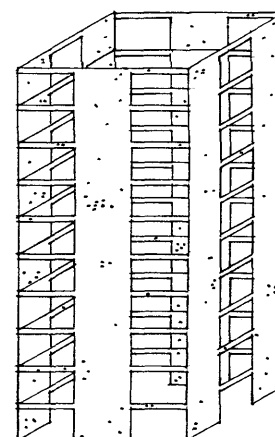
Perímetro de pórticos  
Sistemas de pórticos de vão livre



Perímetro de celosias  
Sistemas entrelaçados de vão livre

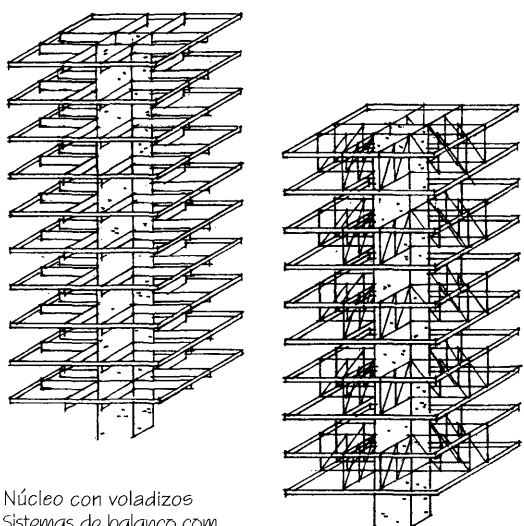


Perímetro de pilares rigidizados  
Sistemas de vão livre de pilares estabilizados

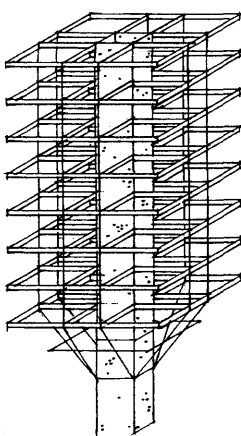


Perímetro de lâminas  
Sistemas de vão livre de parede cisalhada

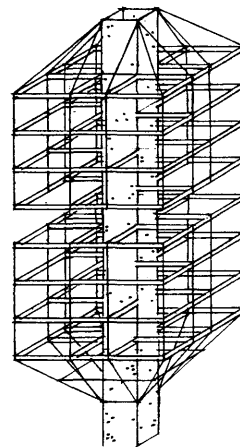
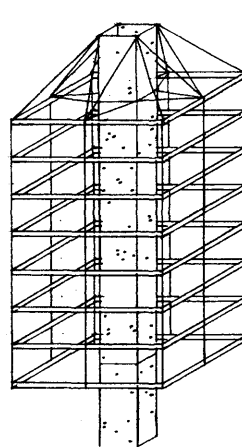
### 5.3 Rascacielos con núcleo / Arranha-céus em balanço



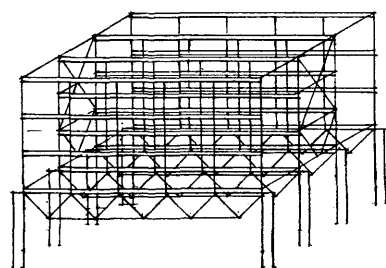
Núcleo con voladizos  
Sistemas de balanço com um núcleo



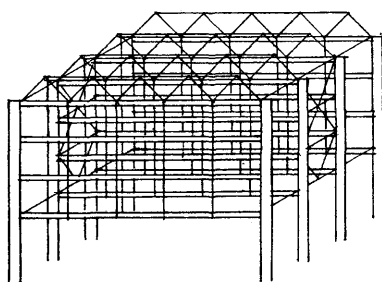
Núcleo portante indirecto  
Sistemas de núcleo portante com cargas indirectas



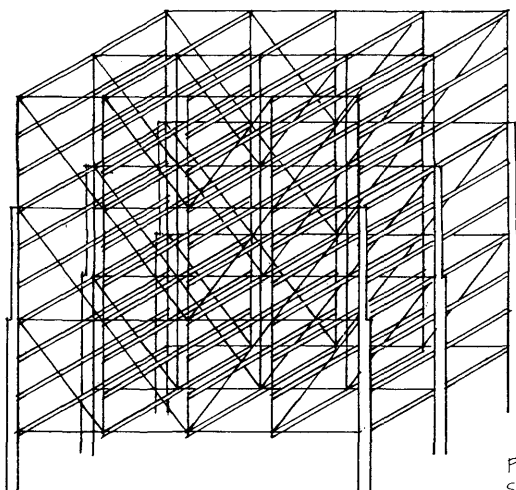
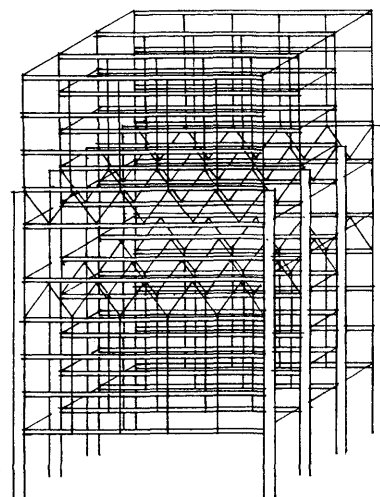
### 5.4 Rascacielos puente / Arranha-céus tipo ponte



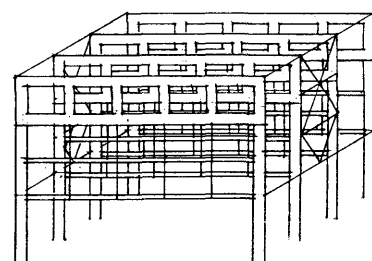
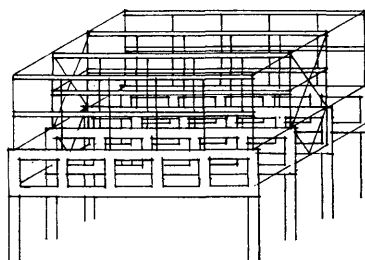
Puentes de jácenas  
Sistemas de viga tipo ponte

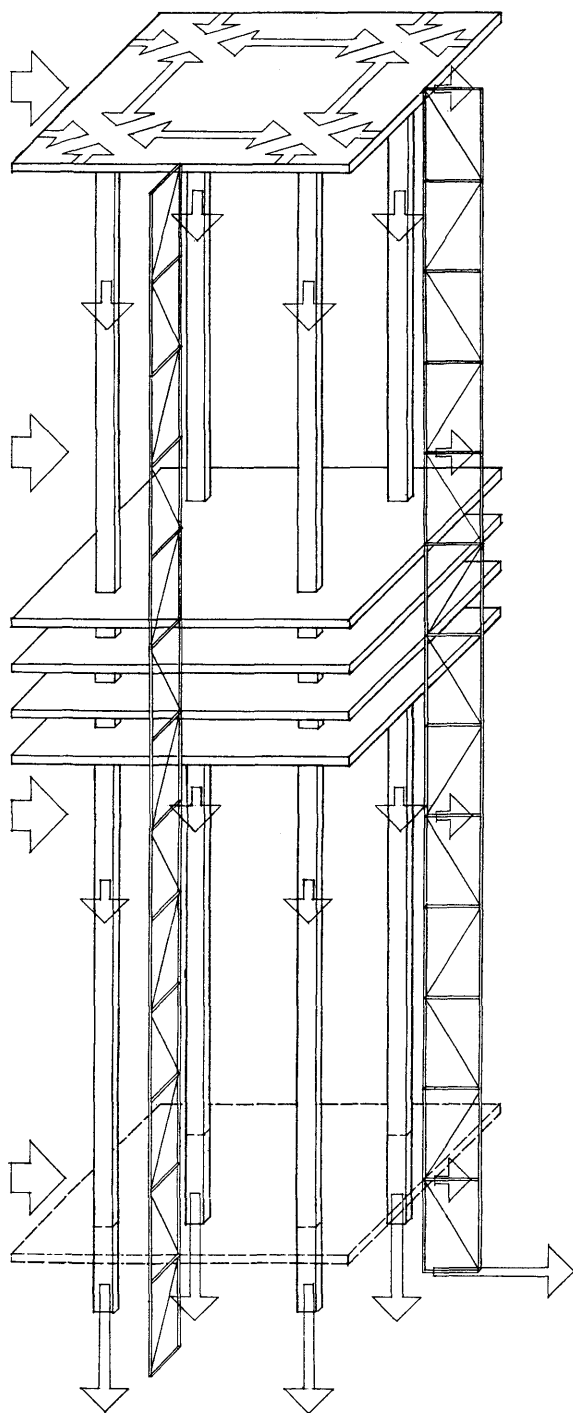


Puentes de planta  
Sistemas de pavimento tipo ponte



Puentes de varias plantas  
Sistemas de vários pavimentos tipo ponte





Diseño de estructuras de altura activa a partir de 3 operaciones  
Projeto de estruturas de altura-ativa como sistemas de desenvolvimento de 3 operações

- 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)

- Sistema de absorção de carga horizontal nos pavimentos: ABSORÇÃO DE CARGAS
- 1 Subdivisão da superfície com distribuição da carga
  - 2 Fluxo horizontal das cargas
  - 3 Geometria dos pontos de absorção de carga
  - 4 Estrutura (secundária)

- 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

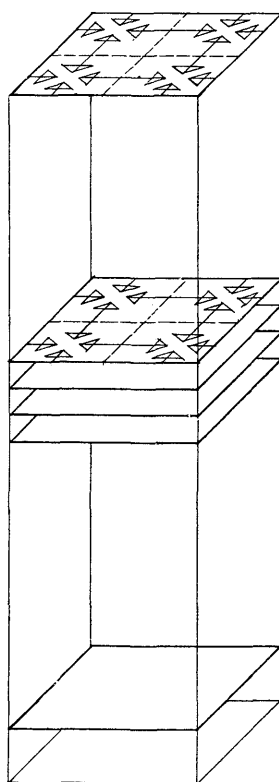
- Sistema de carga vertical transferida a partir dos pavimentos: TRANSFERÊNCIA DE CARGAS PARA A BASE
- 1 Topografia dos pontos de transferência de carga
  - 2 Fluxo vertical das cargas dos pavimentos
  - 3 Estrutura (primária)
  - 4 Descarga de carga através das fundações

- 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

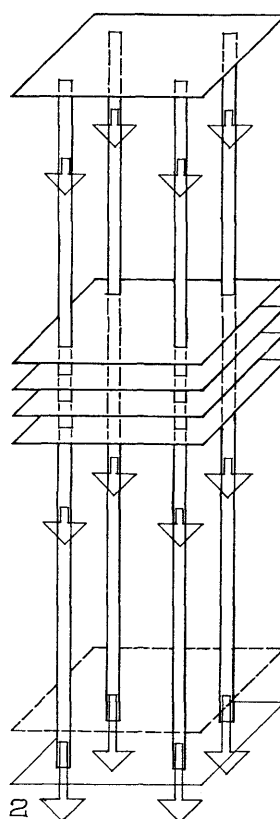
- Sistema de reforço lateral contra as cargas horizontais: ESTABILIZAÇÃO
- 1 Estabilização do próprio corpo da estrutura: adicional / integrada / combinada
  - 2 Mecânica de redistribuição de carga
  - 3 Fluxo vertical das cargas horizontais
  - 4 Descarga de carga através das fundações

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.

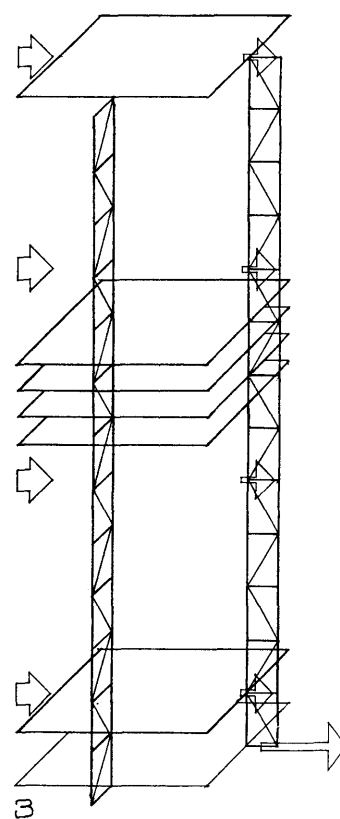
O objetivo no projeto de estruturas de altura-ativa é conseguir a máxima integração dos 3 sistemas no sentido de que um sistema só será eficiente quando cumpra funções de um ou mais sistemas simultaneamente ou, idealizando, um sistema que desenvolva todas as 3 operações.



1  
Concentración de cargas  
Absorção de carga



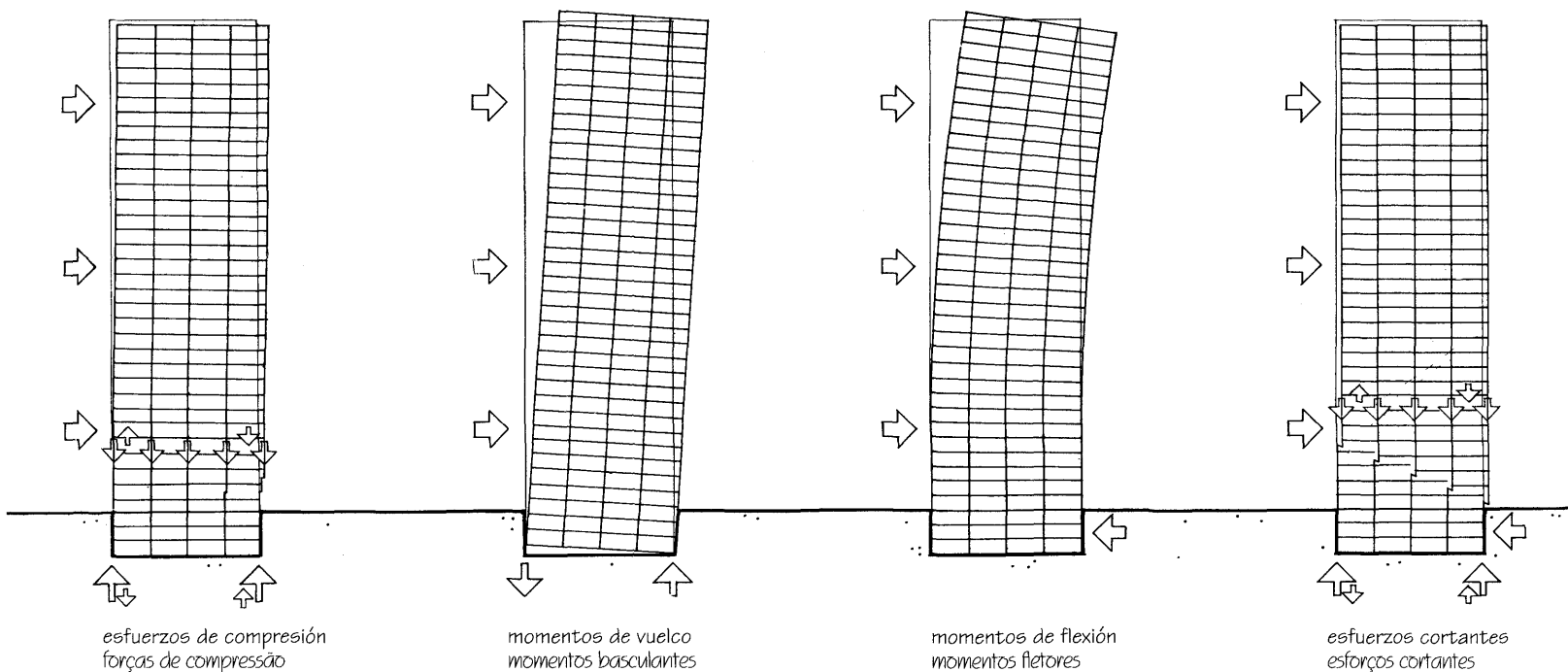
2  
Transmisión de cargas  
Transferência de carga para a base



3  
Rigidización lateral  
Estabilização lateral

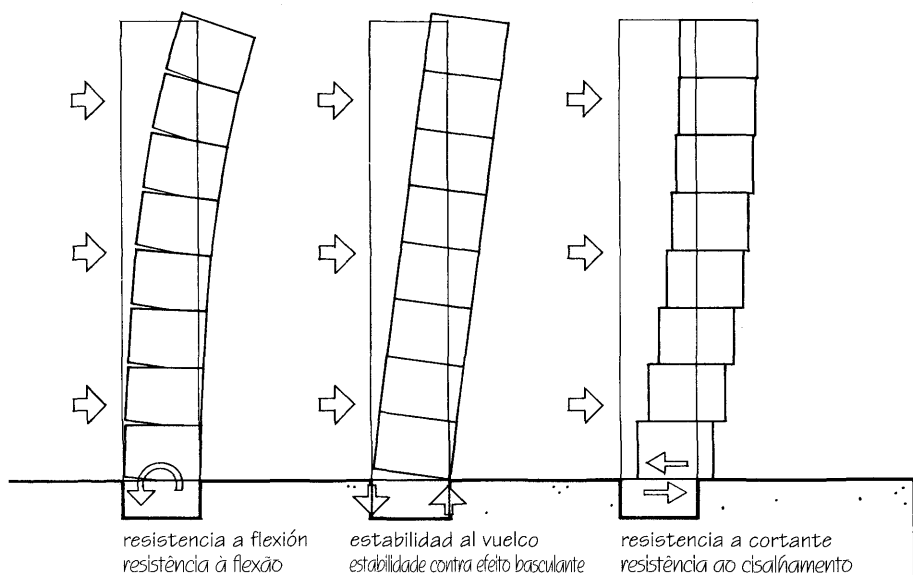
## Sobrecargas y deformaciones críticas

## Cargas críticas e deflexões



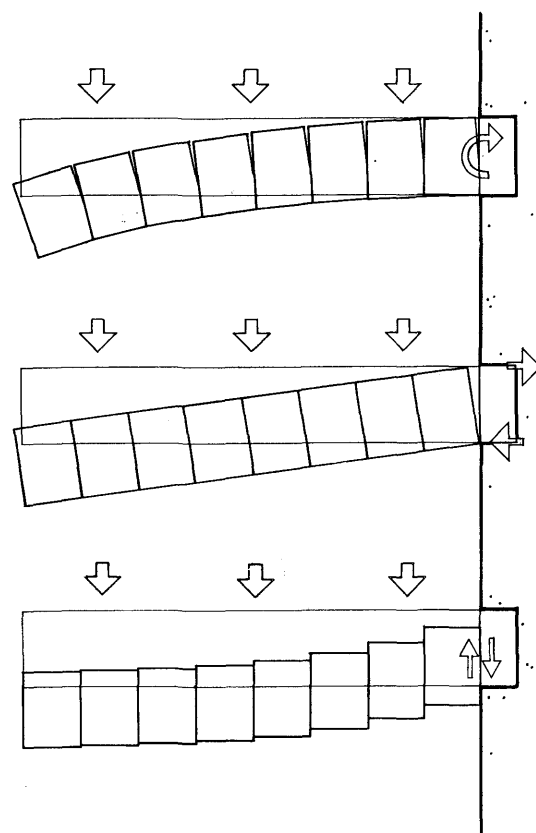
Las sobrecargas decisivas para el proyecto de una estructura vertical se obtienen superponiendo el peso propio, la sobrecarga de uso y la presión del viento. La resultante de todas ellas es una fuerza inclinada que es tanto más difícil transmitir a la cimentación cuanto menor sea su ángulo con la horizontal.

As cargas decisivas para o projeto de um sistema estrutural vertical resultam da sobreposição do peso próprio, carga permanente e vento. Estas combinam-se em uma força oblíqua. Quanto menor for o ângulo de inclinação dessa força, maior será a dificuldade de transmissão da carga para a base.

Mecanismo portante para cargas laterales  
Mecanismo portante para cargas lateraisComparación con el mecanismo de una viga en voladizo  
Comparação com o mecanismo de uma viga em balanço

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.

A pressão do vento por unidade de área aumenta com a altura da construção. Seu impacto sobre a estrutura torna-se predominante em relação ao causado pelas cargas verticais. A estrutura vertical é submetida a esforços causados pelo vento como uma viga em balanço e sujeita a esforços de carga vertical contínua.



### Deformación de rascacielos homogéneos bajo la acción de cargas horizontales

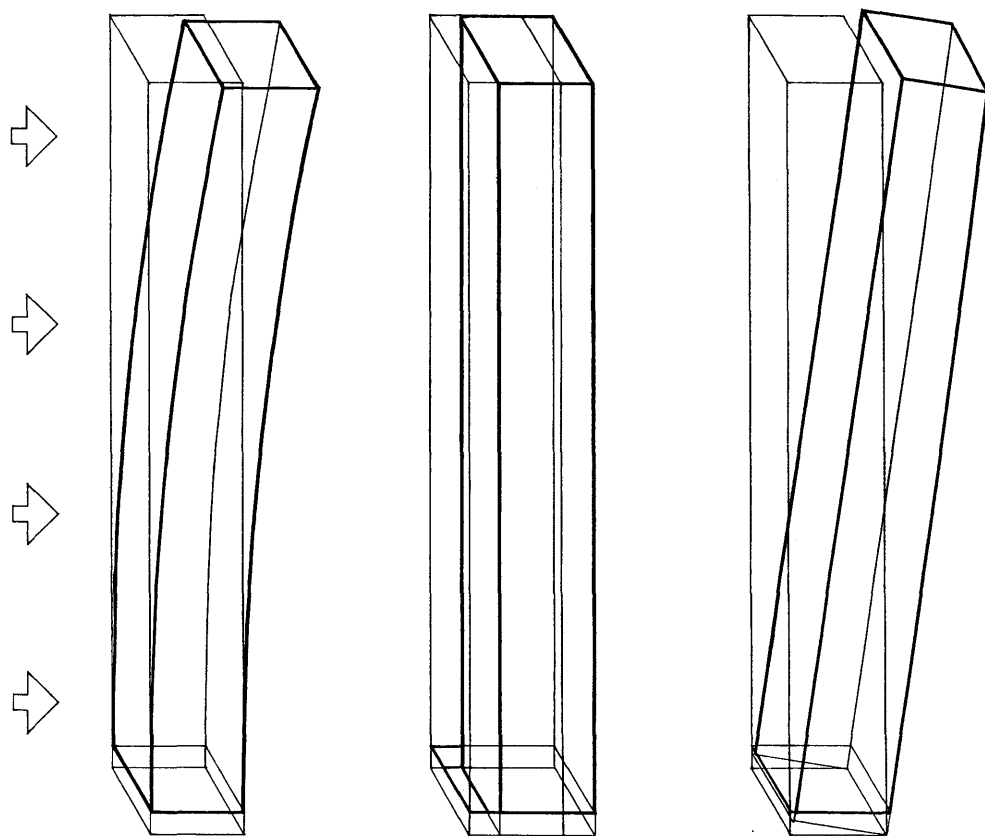
Las cargas horizontales ocasionadas por el viento o por un terremoto producen diferentes movimientos y deformaciones, de considerable complejidad, en los edificios de gran altura.

Rigidizar el edificio frente a estas alteraciones es una de las principales tareas del diseño de sistemas de estructuras de altura activa e incluso puede llegar a definir la forma del edificio.

### Deflexões de edifícios altos homogêneos sob ação de cargas horizontais

As forças horizontais, causadas por vento ou terremoto, produzem diferentes e complexos movimentos e deflexões em edifícios com predominância de extensão em altura.

A estabilização da estrutura do edifício contra estas deformações é uma das principais tarefas no projeto de estruturas de altura-ativa, o que pode inclusive definir a própria forma do edifício.

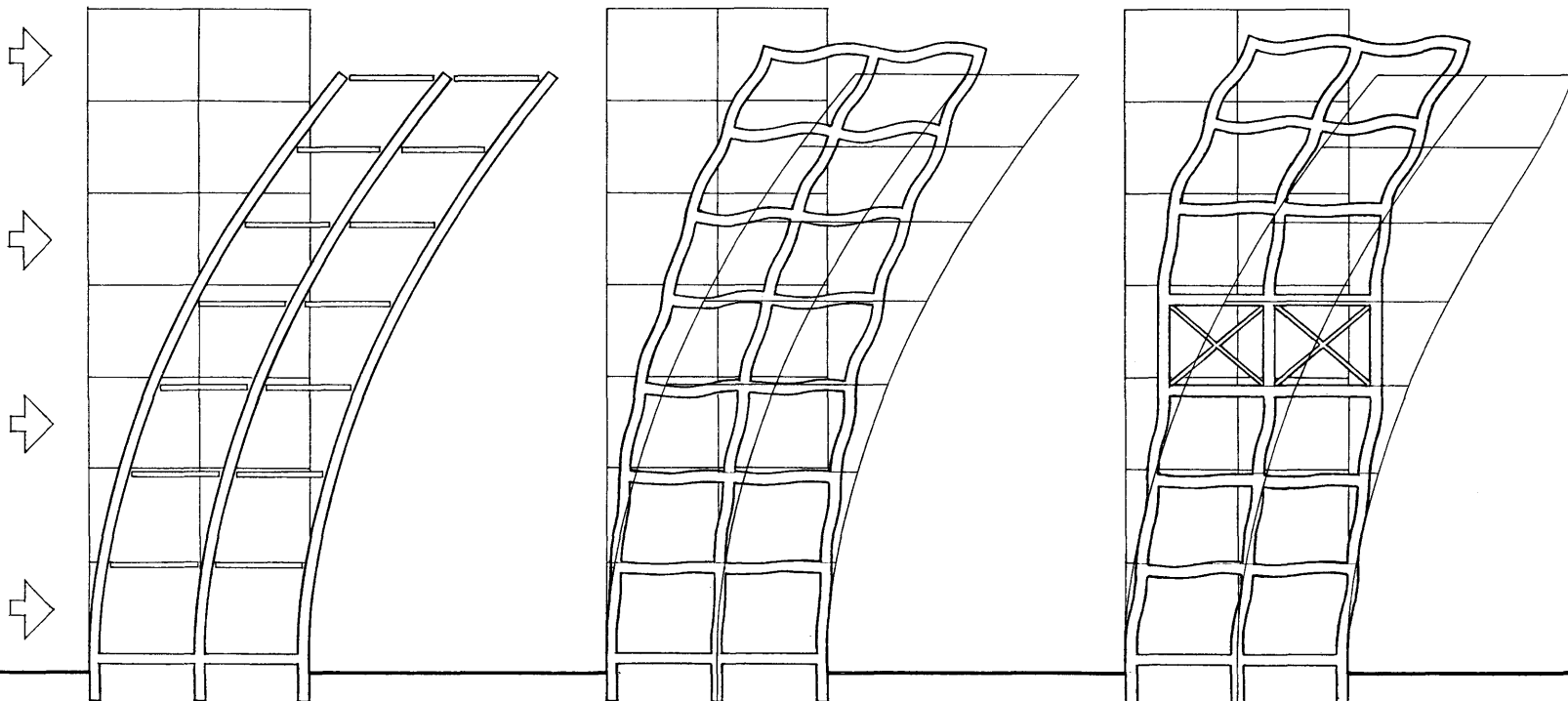


flexión / flexão

desplazamiento / deslizamento

vuelco / basculamento

### Deformación y rigidización en rascacielos de entramados rectangulares bajo la acción de cargas horizontales

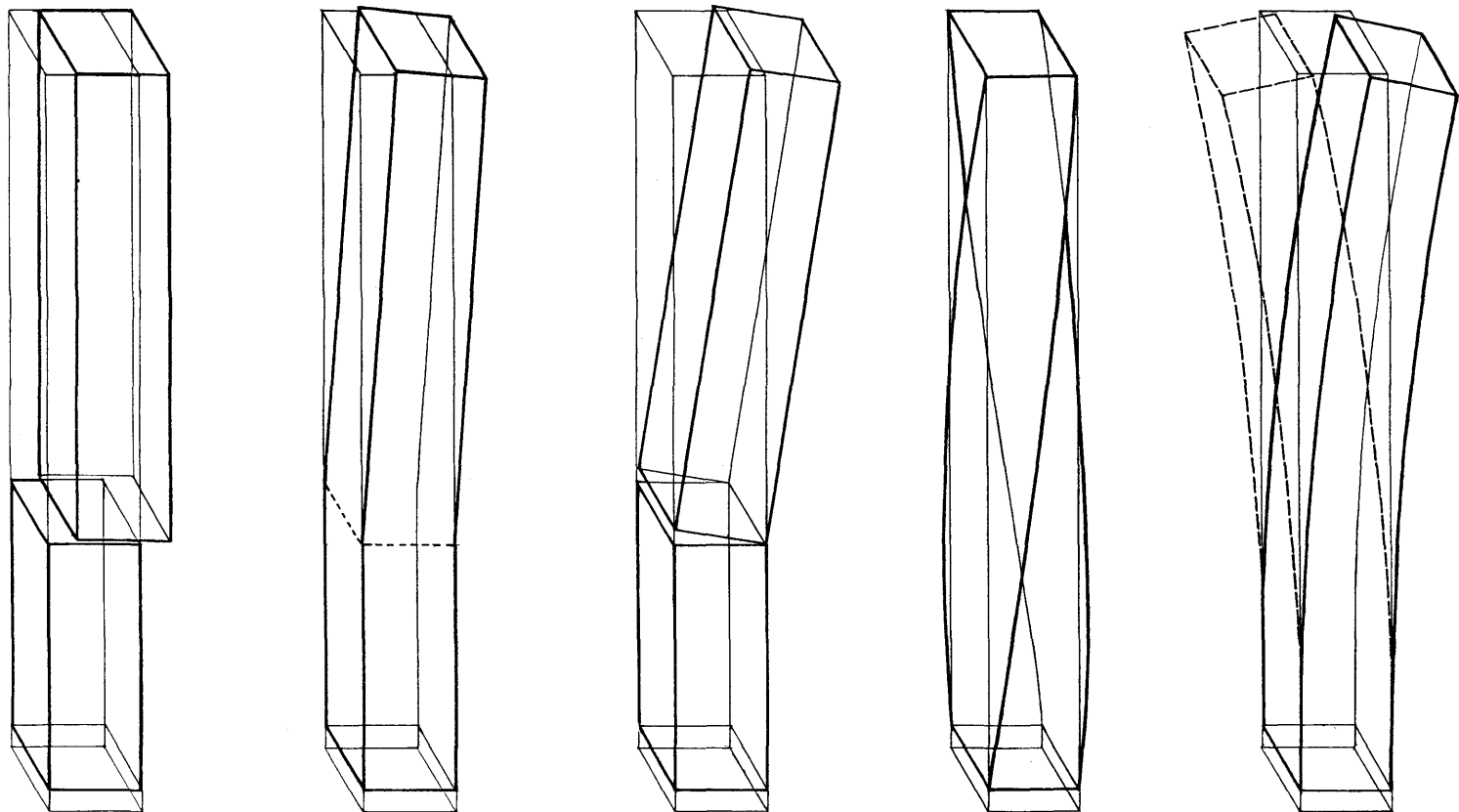


Pilares empotrados con jácenas articuladas  
Suportes de extremo fixo com vigas conectadas

Entramado continuo de pórticos rígidos  
Estrutura de pórticos rígidos continuos

Entramado de pórticos con rigidización  
en la planta central  
Estrutura de pórticos rígidos com pavimento  
reforçado a meia altura





cortadura / cisalhamento

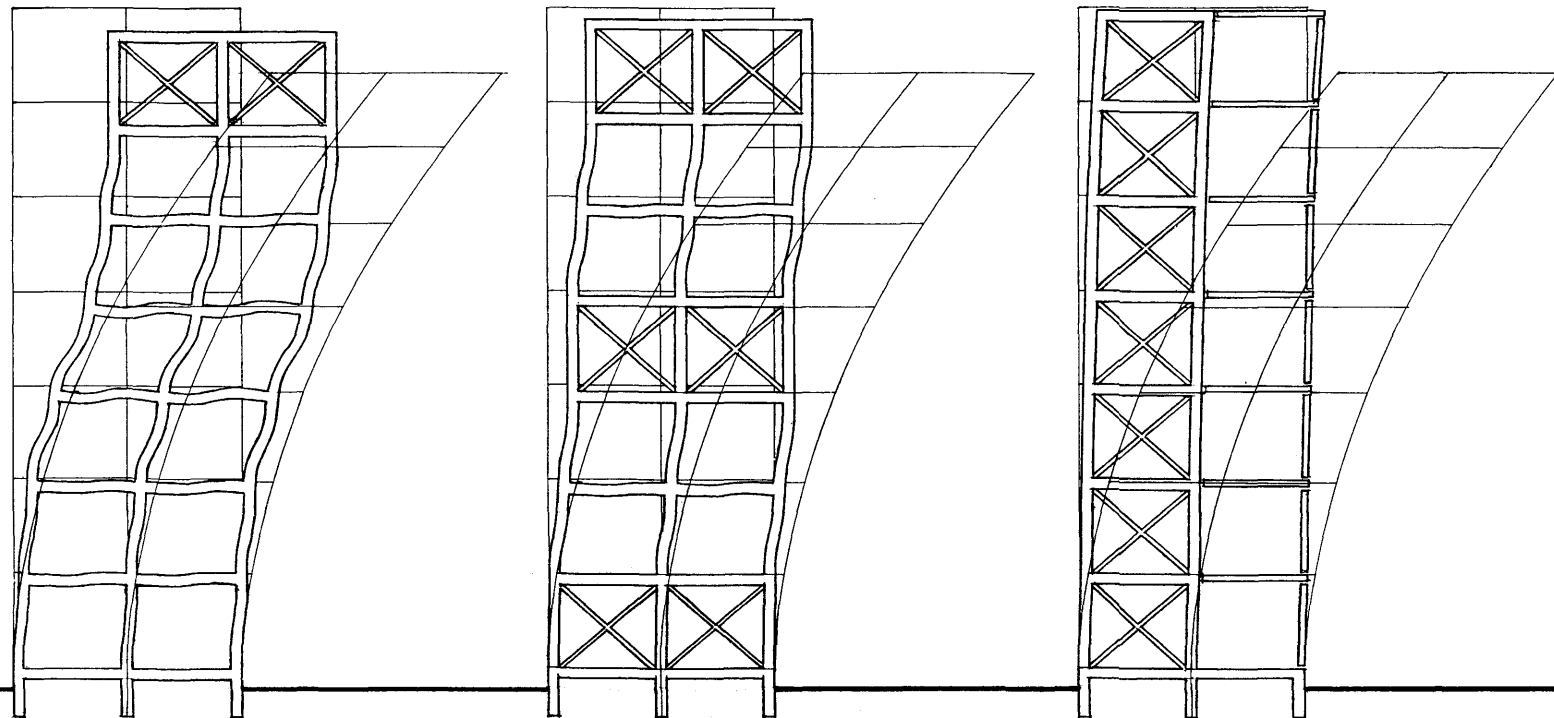
doblado / flambagem

rotura / quebra

torsión / torsão

vibración / vibração

Deflexão e reforço em edifícios altos de estrutura retangular sob cargas horizontais



Entramado de pórticos con rigidización en la última planta  
Estrutura de pórticos rígidos com reforço no pavimento superior

Entramado de pórticos con rigidizaciones en varias plantas  
Estrutura de pórticos rígidos com reforço intermitente nos pavimentos

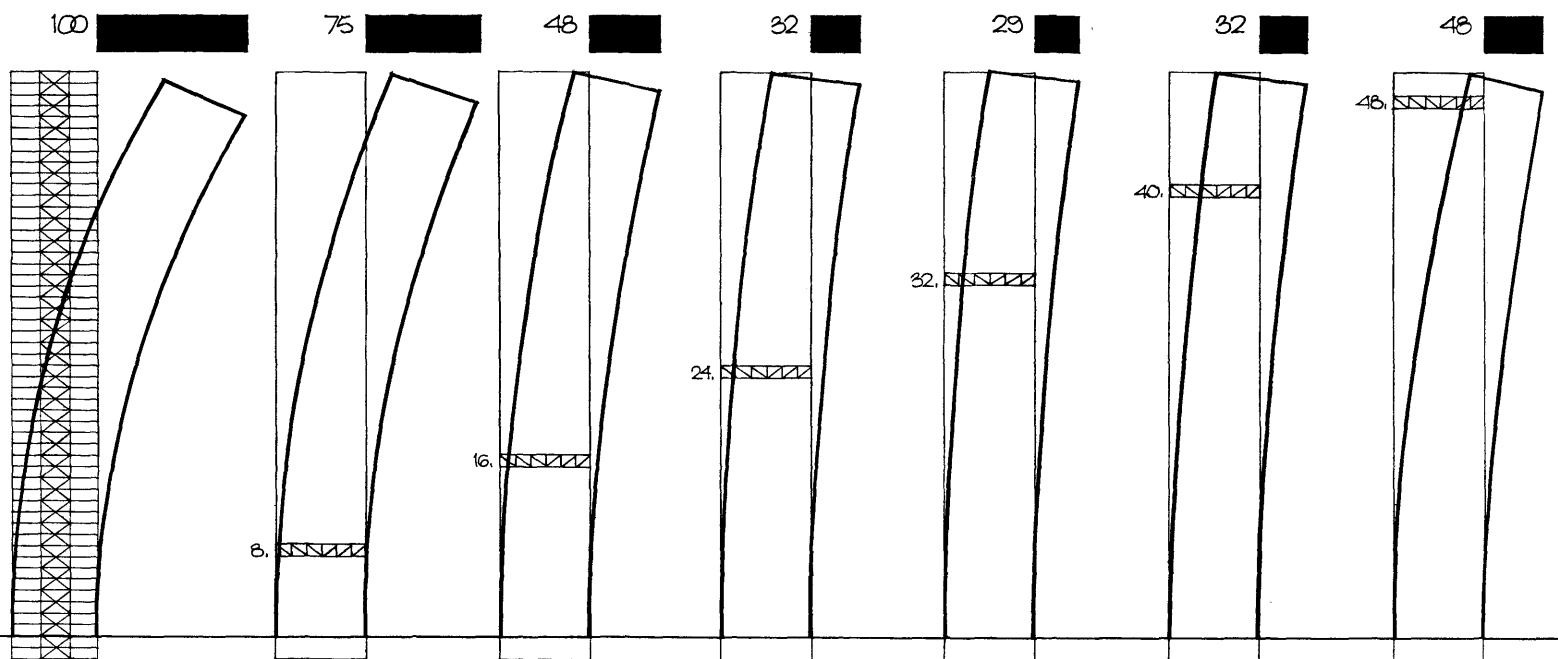
Entramado de pórticos con rigidizaciones en todas las plantas  
Pórticos rígidos com reforços verticais em todos os pavimentos

Influencia de la altura de las plantas rigidizadas en la rigidez relativa de los rascacielos

Ejemplo: rascacielos de 50 plantas con diferentes rigidizaciones (según Büttner y Hampe: Bauwerk Tragwerk Tragstruktur)

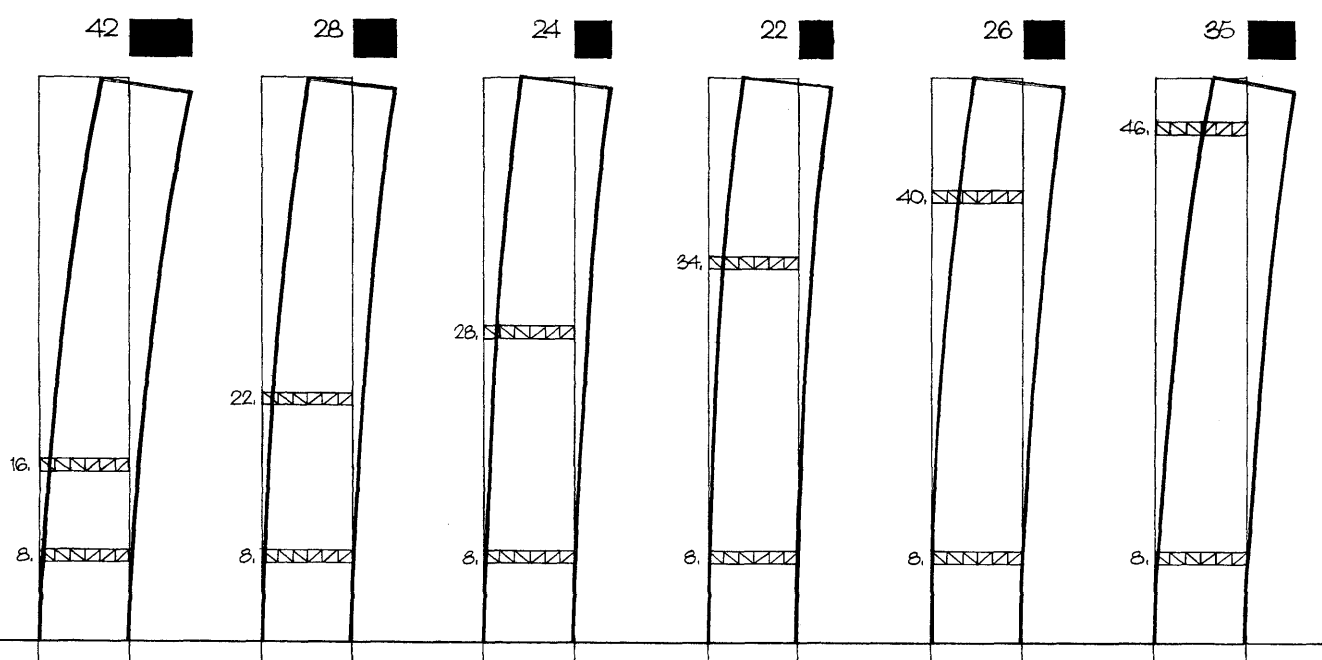
Influência dos enrijecedores de pavimentos em elevações variadas sobre a relativa rigidez dos edifícios altos

Exemplo: edifício de 50 pavimentos com módulo único de reforço entrelaçado (segundo Büttner / Hampe: "Bauwerk Tragwerk Tragstruktur")



En un rascacielos de 50 plantas, la altura óptima de la planta rigidizada (mínima deformación de la planta superior) se sitúa en la zona de la planta treinta, es decir, aproximadamente a 3/5 de la altura total del edificio.

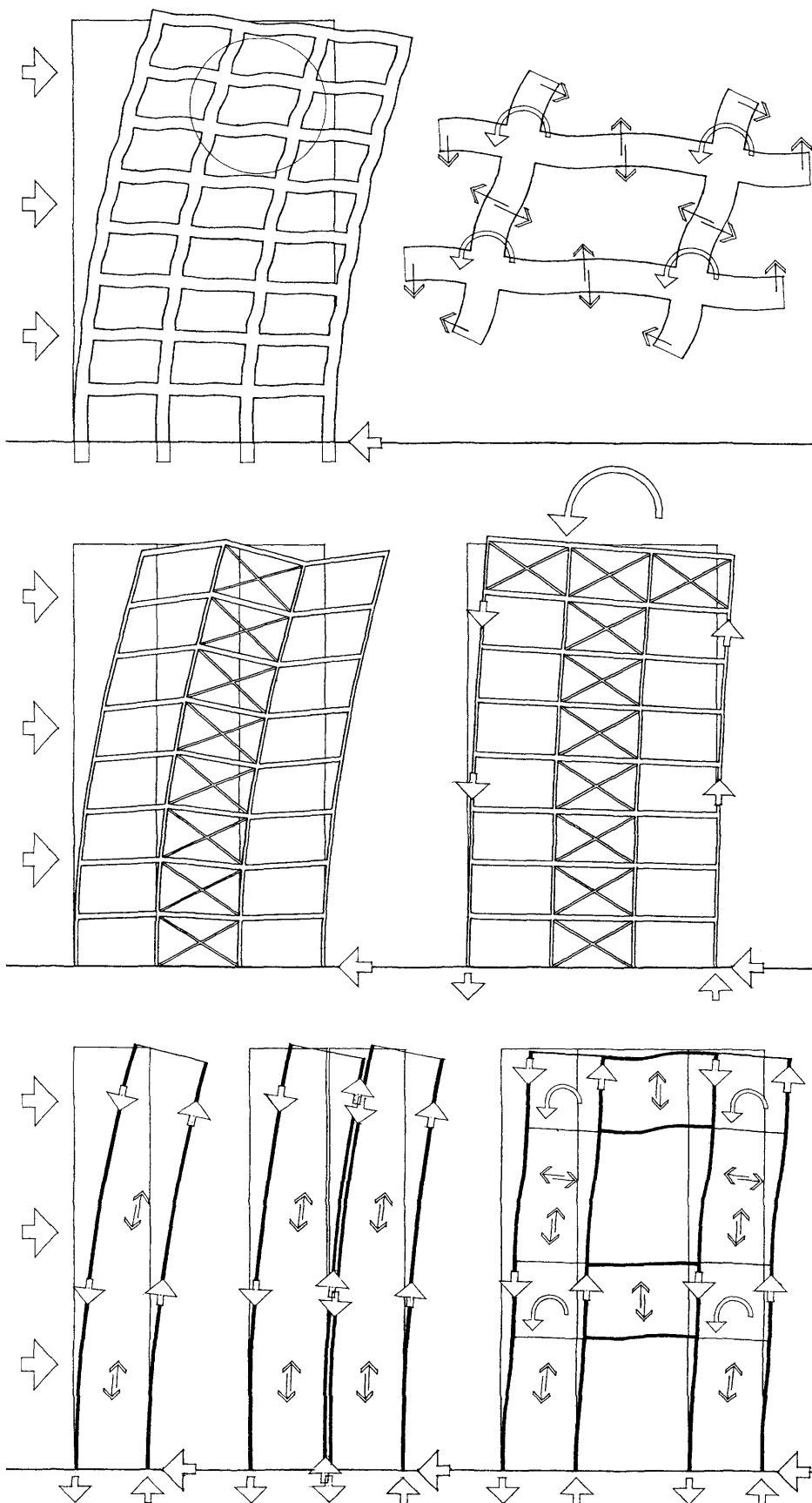
Em arranha-céus de 50 pavimentos a eficiência máxima do reforço de pavimento (= mínima deriva no pavimento mais alto) é mobilizada em uma elevação próxima ao 30º pavimento, isto é, em aproximadamente 3/5 da altura da extensão vertical total.



Rigidizando una segunda planta (en la 8ª planta) se aumenta considerablemente la rigidez del rascacielos (reducción de la deformación de la última planta). La máxima eficacia vuelve a estar en la planta 30.

Com a introdução de um segundo reforço de pavimento (8º pavimento) a rigidez estrutural será consideravelmente aumentada (redução da deriva no pavimento mais alto). Novamente a eficiência máxima é mobilizada numa elevação próxima ao 30º pavimento.

## Mecanismo resistente de los sistemas más típicos de rigidización



## Mecânicas de sistemas de reforços verticais típicos

## Sistema de pórticos rígidos

El sistema de pórticos rígidos como rigidización lateral (frente al viento y a los sismos) se basa en la rigidez a flexión de los elementos del pórtico (pilares y vigas) y en la rigidez a flexión de los nudos.

Al deformarse debido a la acción de cargas laterales, aparecen fuerzas transversales en los pilares y en las vigas. Como consecuencia, se originan momentos de giro en los nudos debido a su rigidez que se oponen a la deformación.

## Sistema de pórtico rígido

O sistema de pórtico rígido para reforço lateral (contra o vento e terremoto) consiste na resistência à flexão dos elementos do pórtico (vigas e colunas) e na sua conexão rígida.

A deflexão devido às cargas laterais gerará forças cortantes transversais nas vigas e colunas do pórtico. Por causa da rigidez de conexão estas forças produzirão momentos rotativos nas juntas que reagem à deflexão.

## Sistema de rigidización superior

Rigidizando la última planta y uniéndola con la pared de arriostramiento se aumenta el mecanismo de rigidización.

Toda deformación de la pared de arriostramiento debido a la acción de cargas horizontales origina esfuerzos en los pilares exteriores. Los esfuerzos de tracción y compresión desarrollan –además de su resistencia directa– un momento opuesto que reduce considerablemente los esfuerzos de flexión y la deformación.

## Sistema de reforço de cabeça

Ao reforçar o pavimento mais alto e amarrá-lo com a parede cisalhada, a mecânica do reforço é consideravelmente aumentada..

Por meio do reforço de cabeça, cada deflexão da parede cisalhada forçará simultaneamente os suportes exteriores (devido à carga lateral). As forças de compressão e tensão resultantes desenvolvem –além de sua resistência direta– um momento oposto que reduzirá consideravelmente a deriva e os esforços de flexão.

## Sistema de tubos

La construcción de las paredes exteriores de manera que sean resistentes a los esfuerzos cortantes, así como la unión rígida entre ellas, es el principio en el que se basan las estructuras de tubos empotrados. Este sistema estructural es especialmente eficaz frente a las cargas horizontales debido a:

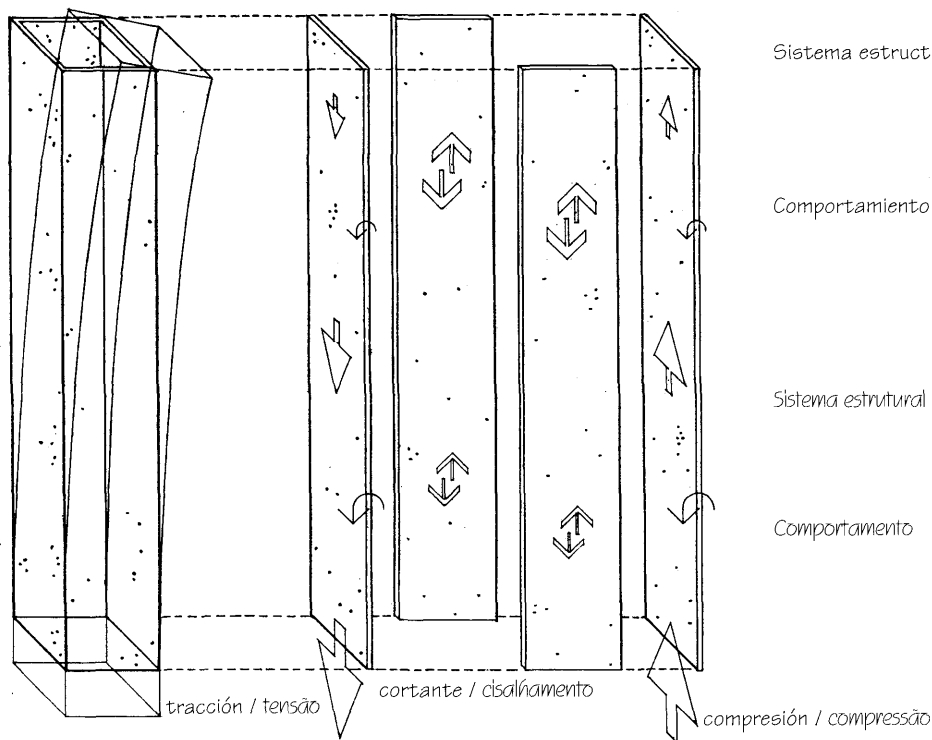
- 1 Participación de todos los pilares, nudos, antepechos, etc., en la resistencia lateral al viento.
- 2 Distribución óptima de los planos eficaces de resistencia.

## Sistema tubular

A construção de paredes exteriores resistentes ao cisalhamento e suas interconexões rígidas constituem os princípios fundamentais dos tubos de extremo fixo. Em relação ao carregamento lateral este sistema é particularmente efetivo devido a:

- 1 Inclusão de todos os apoios, juntas, unidades de amarração, etc., das paredes exteriores dentro do mecanismo de resistência lateral.
- 2 Ótima dispersão dos planos de resistência operativos.

## El principio de los tubos de rigidización vertical O princípio tubular de reforço vertical



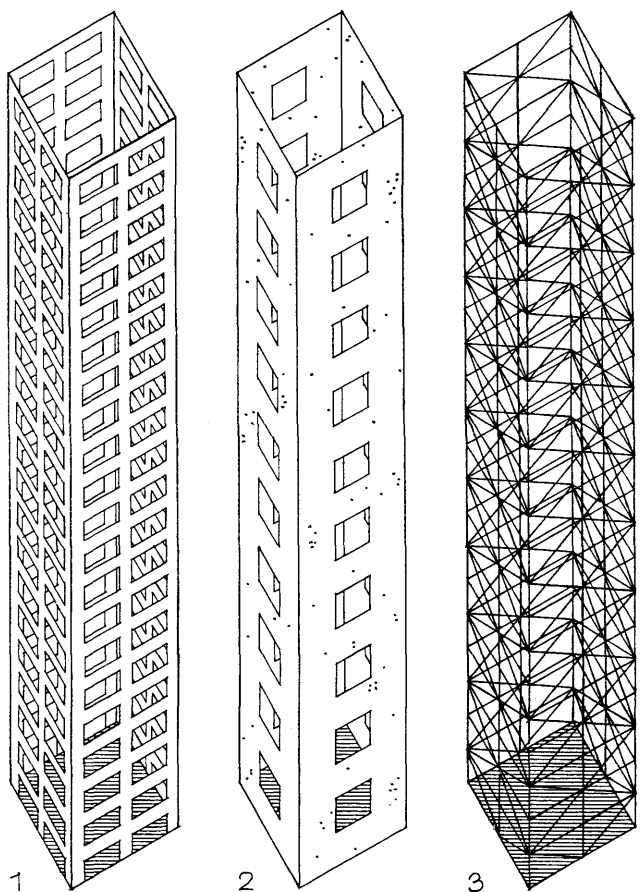
- Sistema estructural**
- 1 Construcción de todas las paredes exteriores como viga en voladizo vertical resistente a esfuerzos cortantes, de compresión y de tracción.
  - 2 Unión rígida de todas las paredes exteriores para formar una única carcasa vertical portante = tubos en voladizo.

**Comportamiento** Las dos paredes exteriores situadas en la dirección del viento están sometidas a esfuerzos cortantes, las otras dos actúan como elementos a compresión o tracción y resistentes a flexión. Es decir, la estructura de los pilares exteriores para transmitir las cargas verticales se incorpora por completo al mecanismo resistente frente a las cargas horizontales.

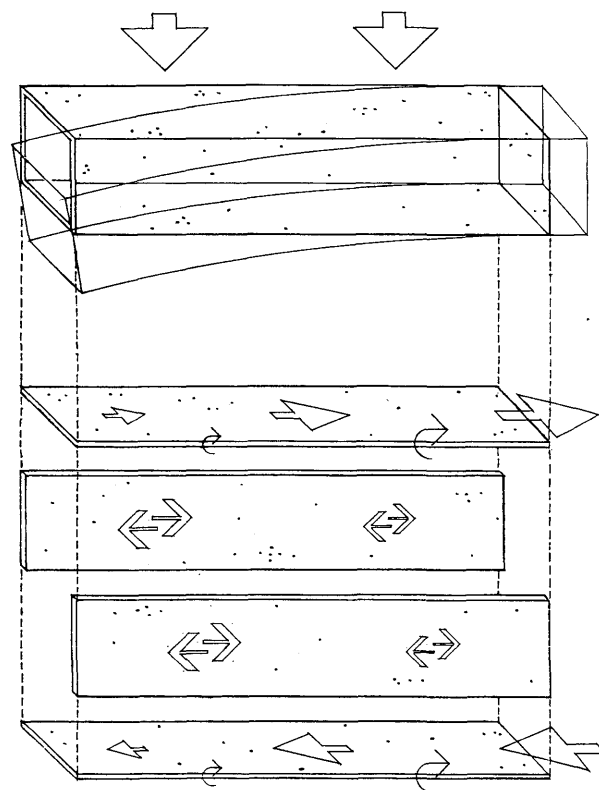
- Sistema estrutural**
- 1 Construção de cada parede externa como uma viga vertical em balanço resistente a cisalhamento e esforços de compressão e tensão.
  - 2 Conexão rígida das paredes externas para formar uma carcaça vertical = tubo em balanço.

**Comportamento** As paredes externas resistem na direção de atuação do vento como paredes cisalhadas, as outras duas como elementos de compressão ou tensão, também como agentes resistentes à flexão, isto é, as colunas externas para transmissão de cargas verticais também estão completamente integradas dentro dos mecanismos de resistência contrários às forças laterais.

## Estructuras típicas de tubos / Estruturas tubulares típicas



- 1 Pórticos de tubos
- 2 Láminas de tubos
- 3 Celosías de tubos



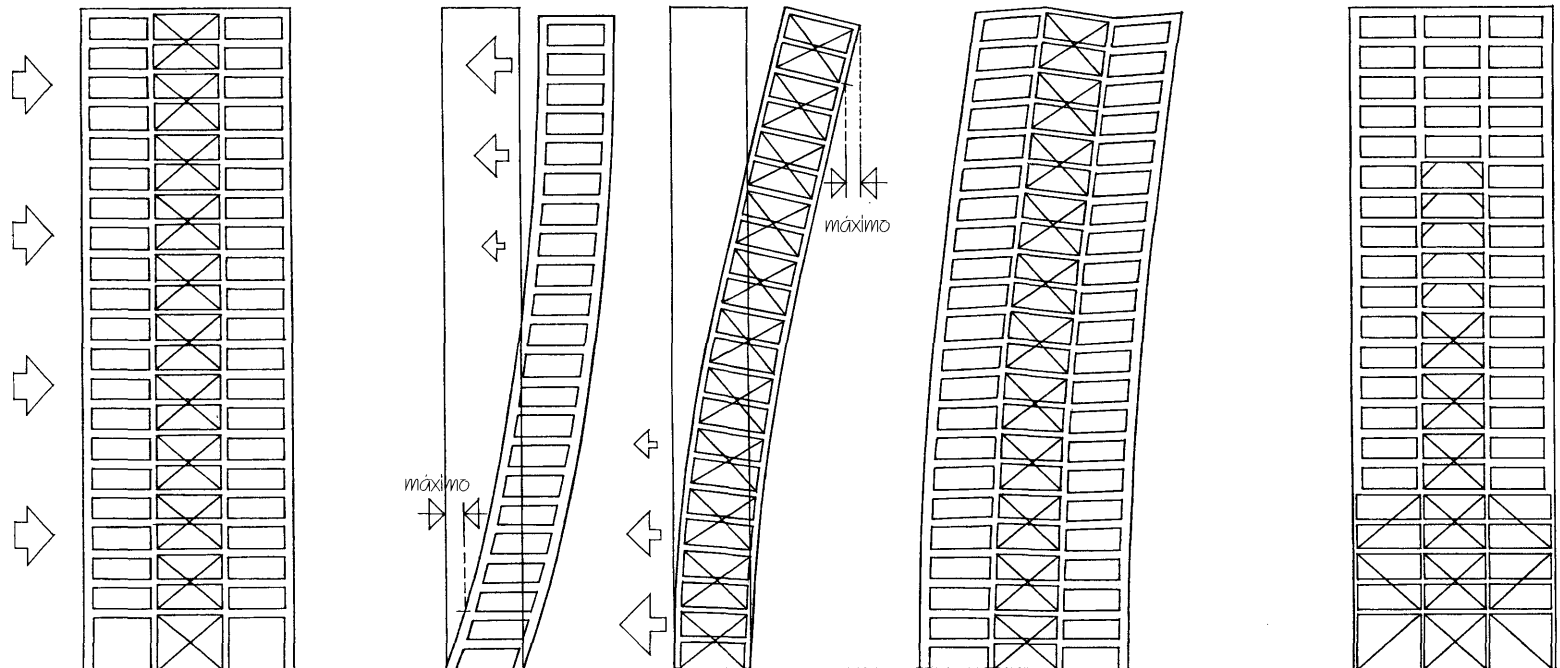
El comportamiento estructural de los rascacielos construidos con tubos es similar al de una viga en voladizo de sección rectangular bajo cargas verticales.

A ação mecânica do arranha-céu tubular é idêntica ao comportamento de uma viga horizontal em forma de caixa em balanço sob carga horizontal.

- Torre de pórticos rígidos  
Torre de placa estrutural  
Torre entrelaçada

Mecanismo de rigidización de las estructuras combinadas de pórticos y paredes resistentes a esfuerzos cortantes

Estabilização mecânica combinada de pórtico e parede cisalhada



Estructura de pórticos y paredes resistentes a esfuerzos cortantes  
Sistema de pórtico e parede cisalhada

Comportamiento de los pórticos y de las paredes resistentes a esfuerzos cortantes y su rigidización mutua  
Comportamento de pórtico rígido e parede cisalhada e sua mútua estabilização

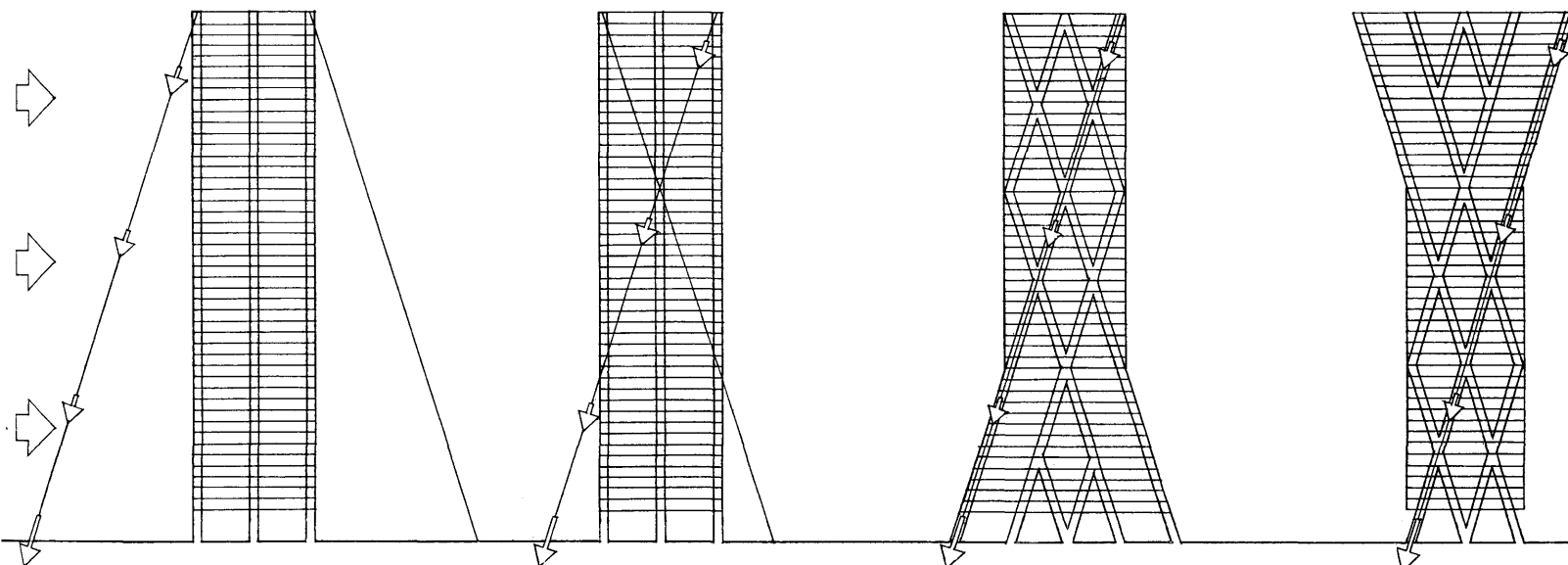
Desenho idealizado de uma estrutura  
Desenho idealizado de estrutura

En las estructuras de PORTICÓS RÍGIDOS aparecen grandes deformaciones horizontales debidas al esfuerzo cortante, cuyo máximo valor se da en la base. La rigidez de la estructura depende de la parte superior.  
En las estructuras con PAREDES RESISTENTES A ESFUERZOS CORTANTES, el momento flector produce un desplazamiento, de valor máximo en el plano más alto. La rigidez de la estructura depende de la parte inferior.  
En las estructuras COMBINADAS las deformaciones de signo opuesto se contrarrestan. Ello reduce en gran medida la deformación global.

Nas estruturas de PÓRICO RÍGIDO desenvolvem-se grandes empuxos horizontais de deformação, de valor máximo na base. O sistema de reforço, assim, está na parte mais alta.  
Em estruturas de PAREDE CISALHADA desenvolvem-se grandes flexões de deformações horizontais, de valor máximo no topo. O sistema de reforço, assim, está na parte mais baixa.  
Através da COMBINAÇÃO, as duas deformações opostas afetam-se mutuamente. A deformação total da estrutura, por este motivo, será consideravelmente reduzida.

Rigidización mediante mecanismos de atirantamiento  
Estructuras de pilares atirantados

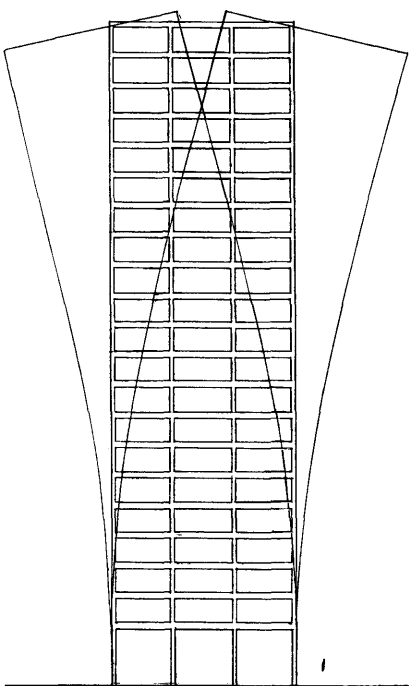
Estabilização por mecanismo de suspensão  
Sistema de pilares atirantados



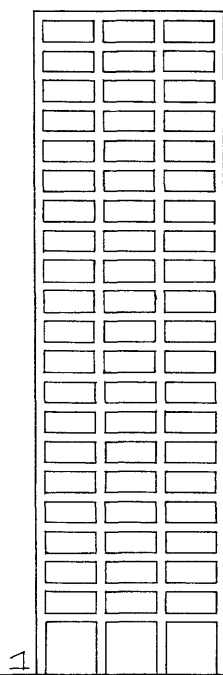
Introduciendo un mecanismo de rigidización mediante cables de atirantado en el sistema de transmisión vertical de las cargas se crean las estructuras de PILARES ATIRANTADOS, los cables pretensionados dentro de pilares inclinados impiden la deformación crítica.

Incorporar mecanismos de estabilização por cabos atirantados dentro do sistema de transmissão de carga vertical conduz ao sistema de PILARES ATIRANTADOS. Cabos pretensionados dentro de colunas oblíquas bifurcadas previnem deformações críticas.

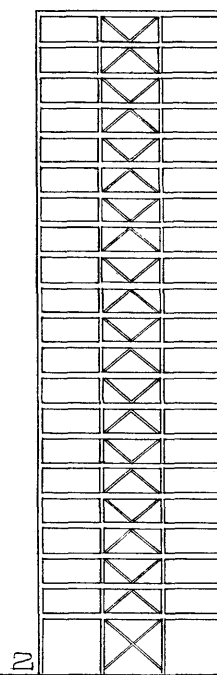
Principales mecanismos para rigidizar estructuras verticalmente



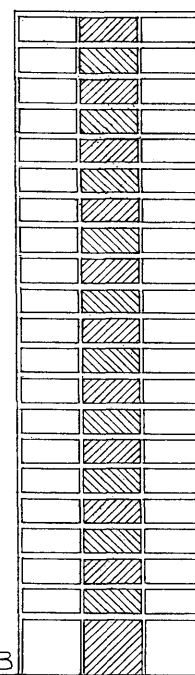
Falta de resistencia frente a cargas horizontales  
Falta de resistência contra cargas horizontais



Pórtico continuo  
Pórticos rígidos continuos



Celosía  
Armação entrelaçada



Relleno macizo  
Placas estruturais

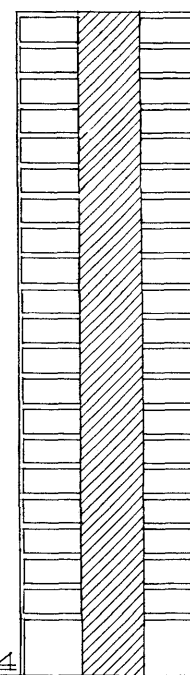
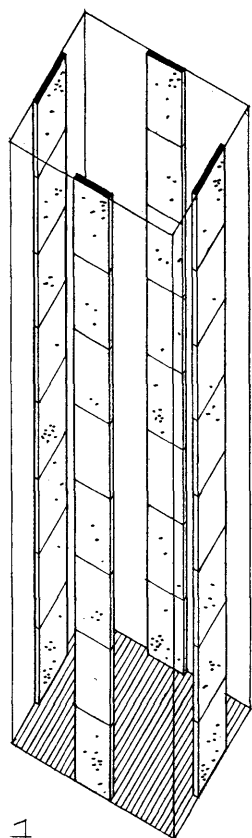
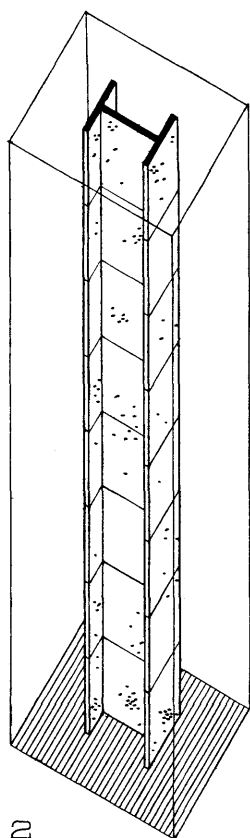


Lámina continua  
Parede cisalhada continua

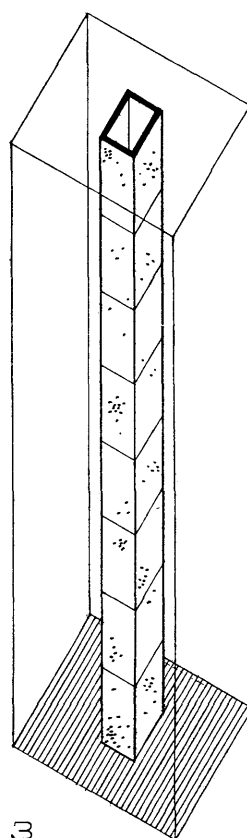
Formas normalizadas de rigidización vertical



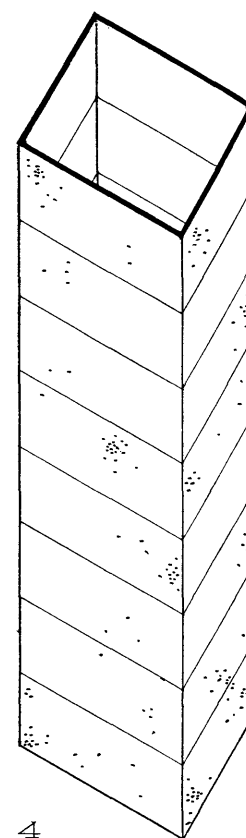
1  
Paredes exteriores resistentes a cortante  
Paredes cisalhadas exteriores



2  
Paredes interiores resistentes a cortante  
Paredes cisalhadas interiores

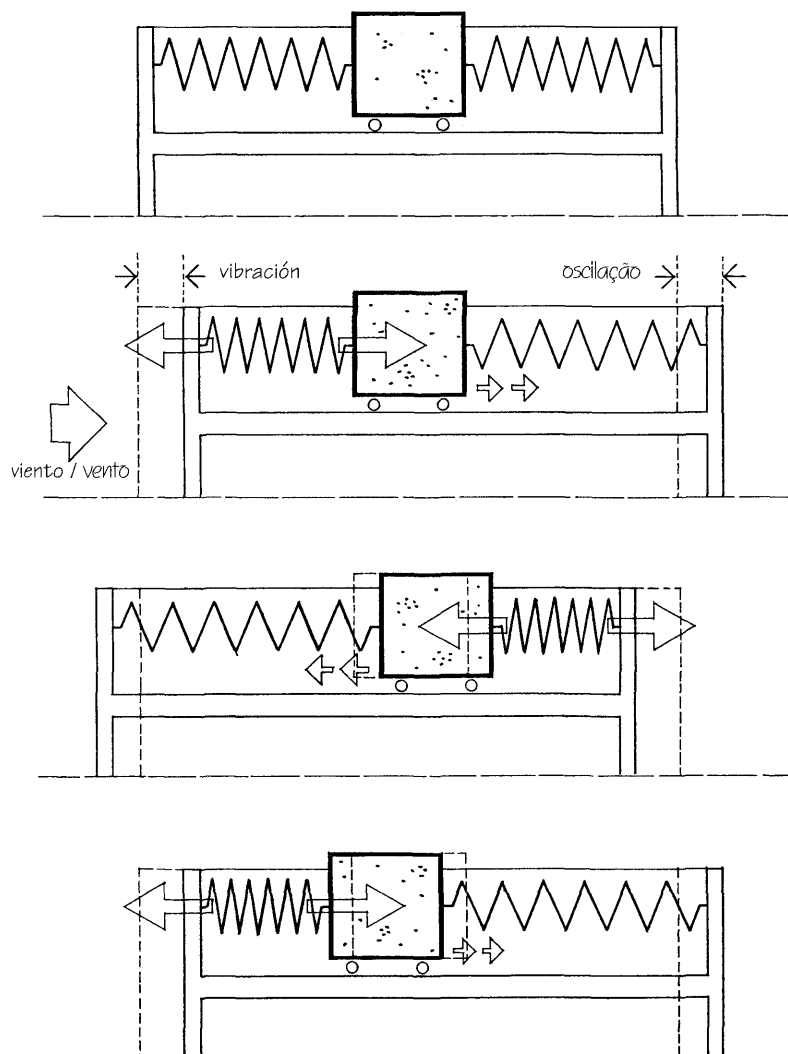


3  
Núcleo (central)  
Núcleo (central)



4  
Tubo  
Tubo

Formas padrão de sistemas de estabilização vertical



### Amortiguadores dinámicos de vibraciones en rascacielos

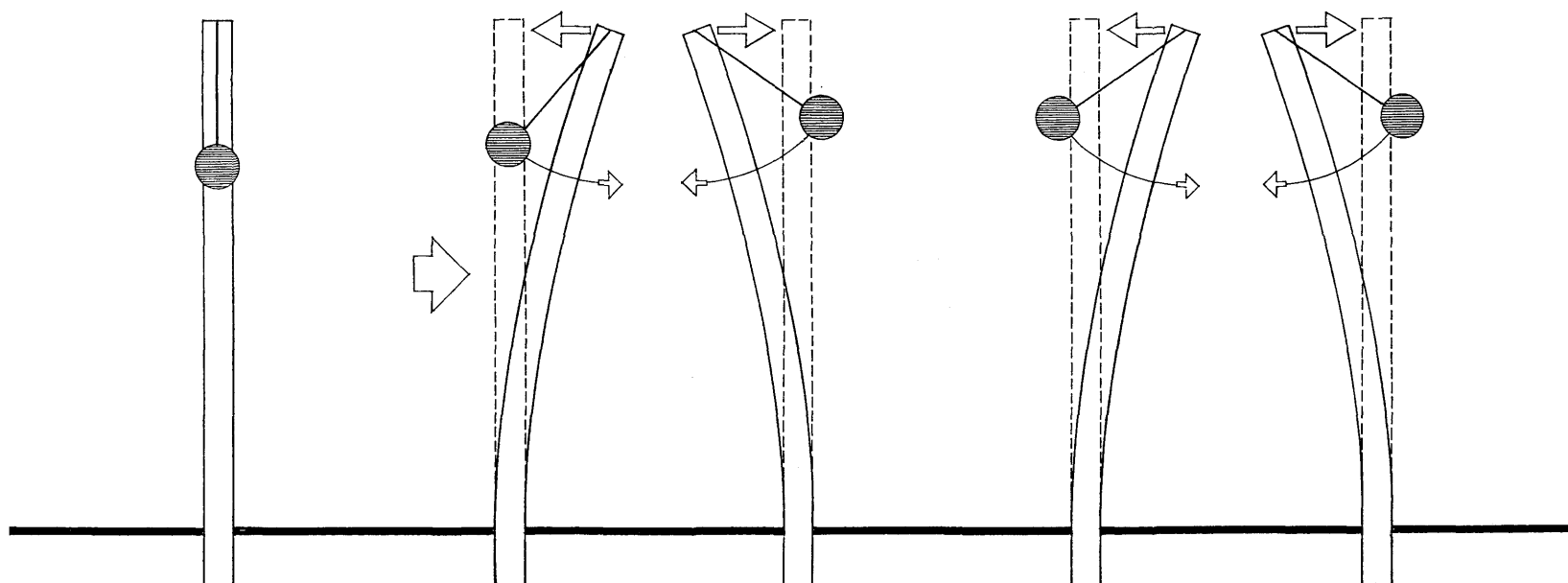
#### Amortecedores de vibração dinâmica em estruturas de arranha-céus

Un cuerpo pesado sobre apoyos móviles –unido lateralmente mediante muelles con el punto más alto del rascacielos y con el mismo período de vibración que el edificio– se comporta como estabilizador frente a las vibraciones provocadas por el viento: amortiguador de vibraciones.

Debido a la acción elástica, los movimientos del edificio hacen de masa del sólido oscilante justo en dirección opuesta –antirresonancia–. Por ello, la oscilación del edificio se reducirá o se eliminará del todo.

Um sólido pesado sobre apoios móveis –lateralmente sueltados ao topo do arranha-céus por molas e tendo igual período de oscilação que o edifício– comporta-se como um agente estabilizador contra a oscilação causada pelo vento: um amortecedor dinâmico de vento.

Devido à ação das estruturas elásticas, os movimentos do edifício fazem a massa do sólido oscilar apenas na direção oposta –anti-ressonância. Por este motivo a oscilação do edifício será reduzida ou completamente amortecida.

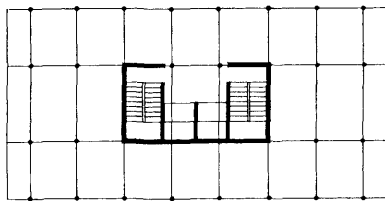


El comportamiento del amortiguador de vibraciones se puede comparar con el movimiento pendular de un cuerpo suspendido del extremo de poste. El péndulo se mueve en sentido opuesto a la vibración del poste y reduce su deformación.

O comportamento do "amortecedor dinâmico de vento" pode ser comparado com o movimento de oscilação de uma pesada massa suspensa no topo de uma barra. O pêndulo atua contrariamente à oscilação da barra reduzindo assim a deriva.

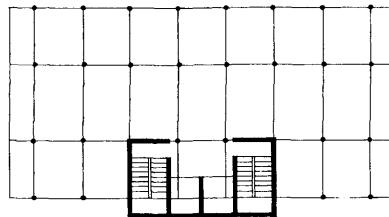
Incorporación de la rigidización frente al viento en la distribución en planta

Incorporação de mecanismo de enrijecimento contra o vento na distribuição em planta



núcleo central

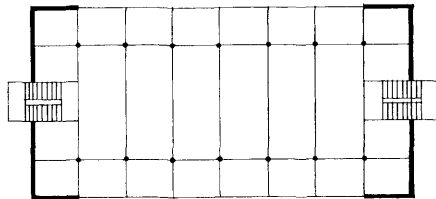
núcleo central



núcleo lateral

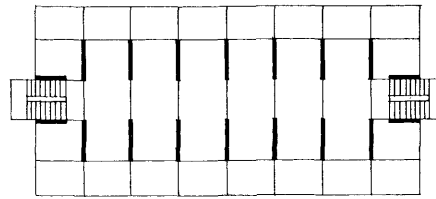
núcleo lateral

Elementos estructurales de rigidización frente al viento  
Elementos estruturais para reforços contra o vento



muros exteriores

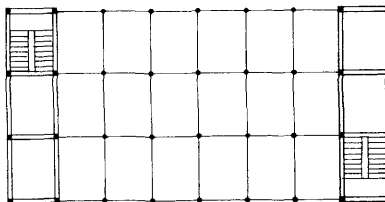
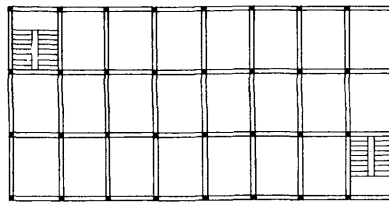
paredes exteriores



tabiques interiores

paredes divisorias

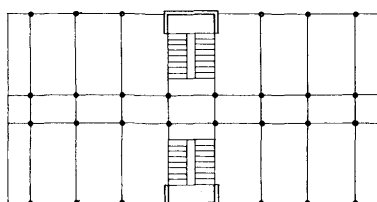
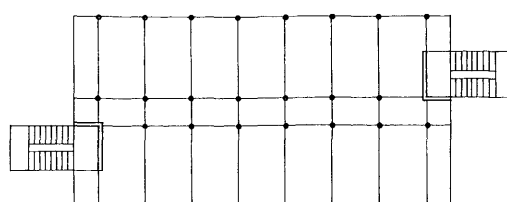
Paredes del núcleo de circulación  
Paredes do núcleo de circulação

pórticos  
en los extremospórticos  
nos extremosen todo  
el entramado

esqueleto completo

Muros exteriores o tabiques interiores  
Paredes externas ou paredes divisorias

Pilares y jácenas (pórticos)  
Pilares e vigas (pórticos)

cajas de escaleras  
centralesvãos centrais  
de escadacajas de escaleras  
en testeroescadas de final  
de parede

Partes de la caja de escalera  
Seções da caixa de escada

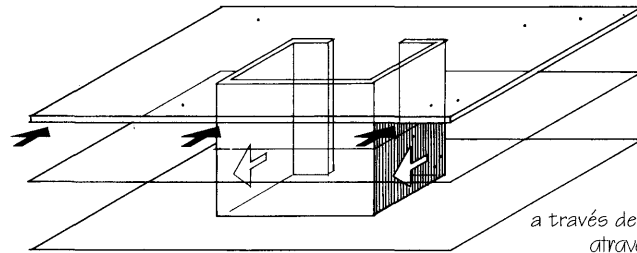
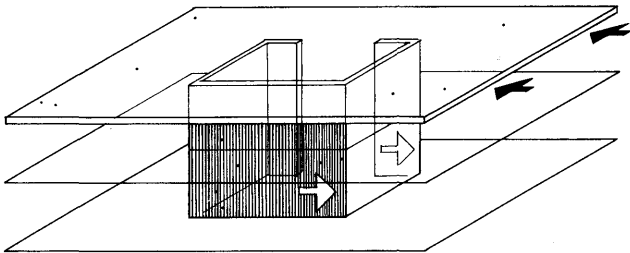


### Resistencia al viento en sentido longitudinal y transversal

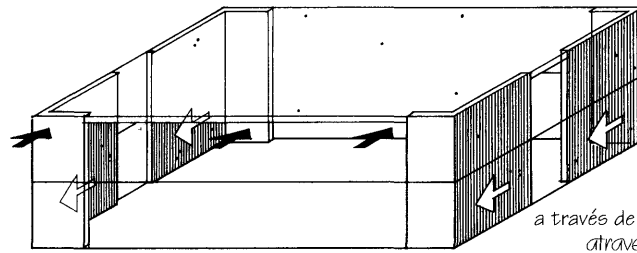
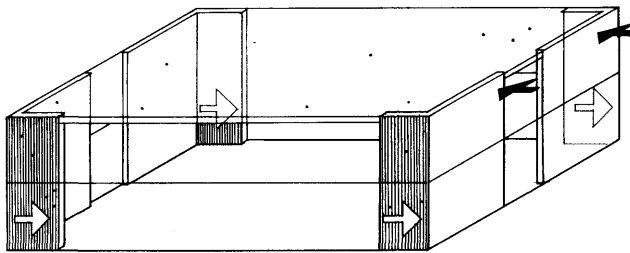
(referida a las plantas de la página anterior)

### Resistência ao vento em sentido longitudinal e transversal

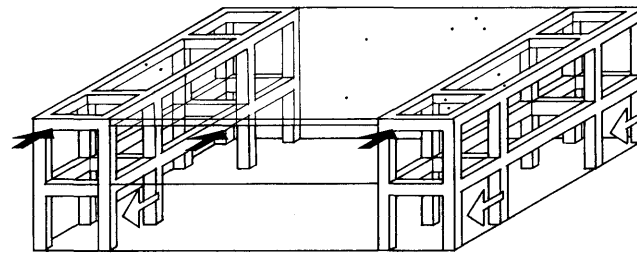
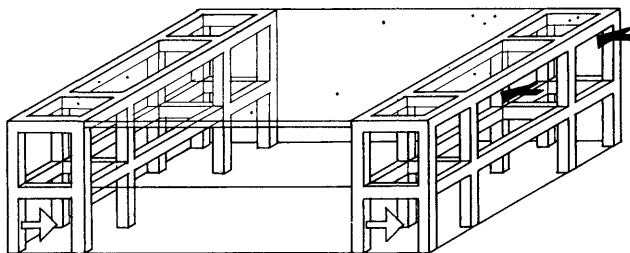
(relacionado às plantas de pavimentos da página anterior)



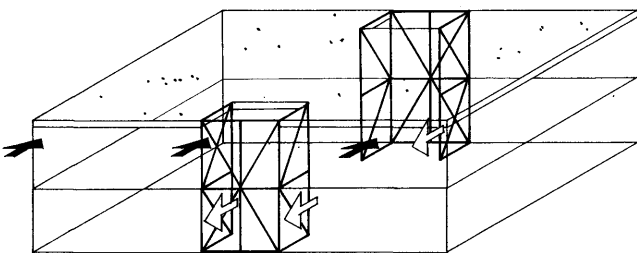
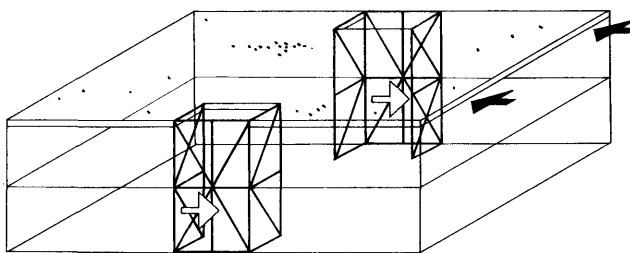
a través del núcleo de circulación  
através da circulação central



a través de las paredes exteriores  
através de paredes exteriores



a través de pórticos  
através de pórticos

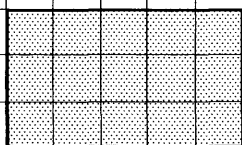


a través de celosías  
através de treliças

Sistemas reticulares para agrupar las cargas

horizontales

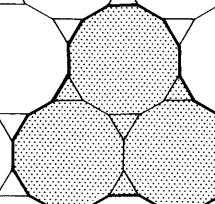
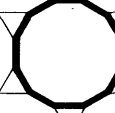
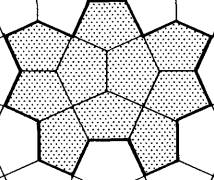
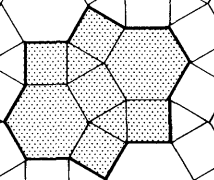
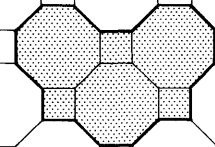
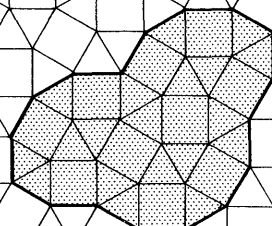
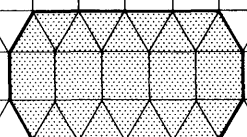
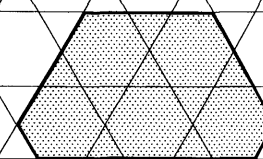
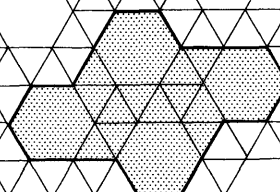
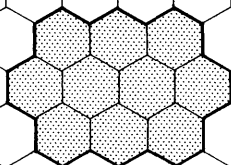
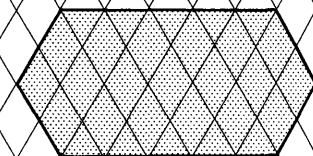
distribuciones regulares y semirregulares de la superficie



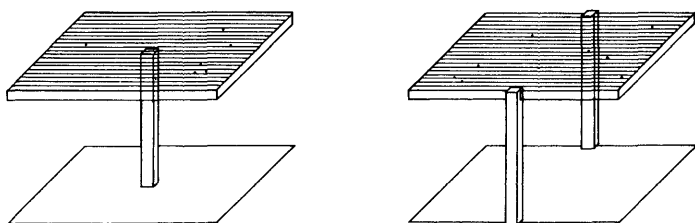
Sistemas de malha geometrica para agrupamento

de carga reticulada horizontal

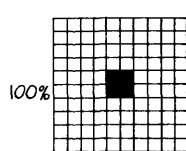
planta de mosaico regular e semirregular



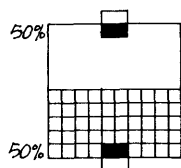
Transmisión vertical de las cargas en sistemas  
reticulares de forma cuadrada



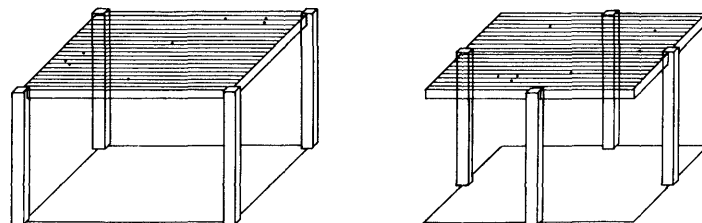
posición de los puntos de cargas en relación con la retícula



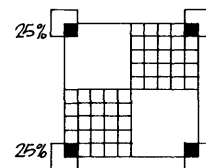
porcentaje de carga de la unidad reticular por punto de absorción de cargas



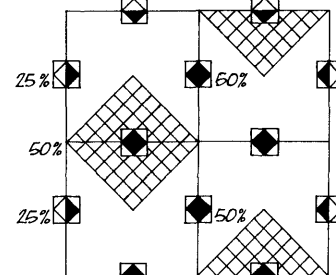
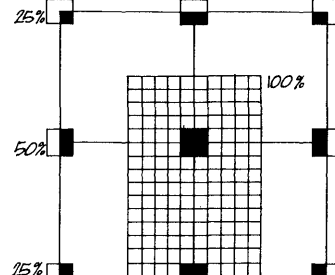
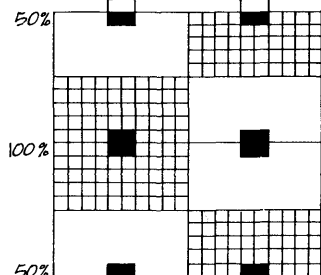
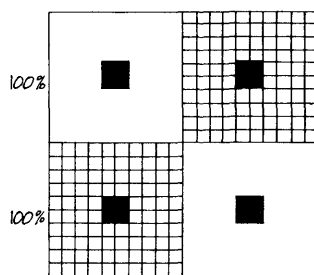
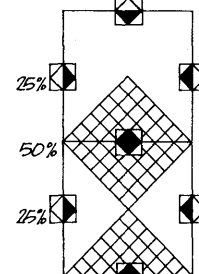
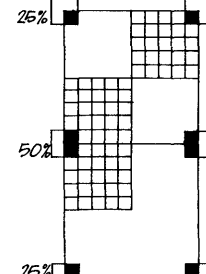
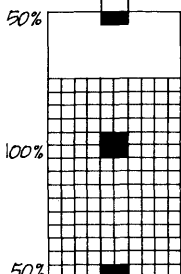
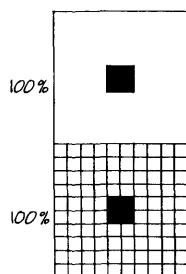
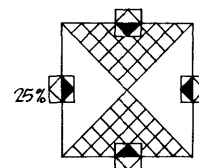
Transmissão de carga vertical em sistemas  
modulares quadrados



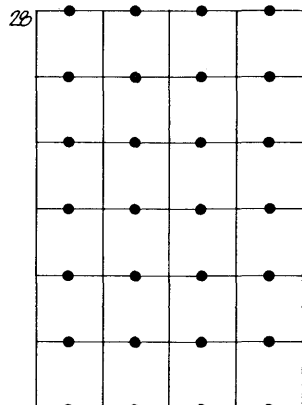
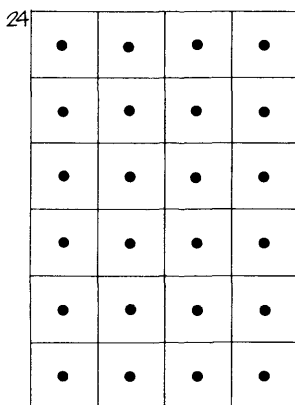
localização dos pontos de absorção de carga com relação à unidade modular



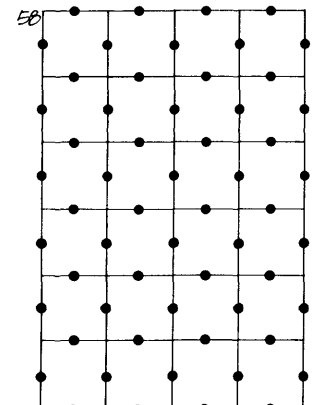
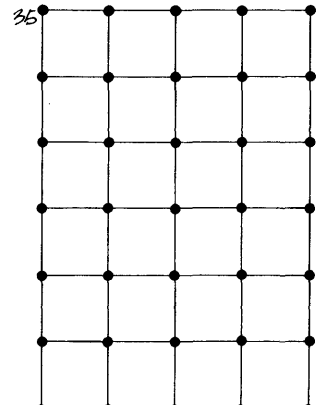
percentagem de carga da unidade modular por ponto de absorção de carga



frecuencia de los puntos de agrupación de cargas para retículas con 24 unidades

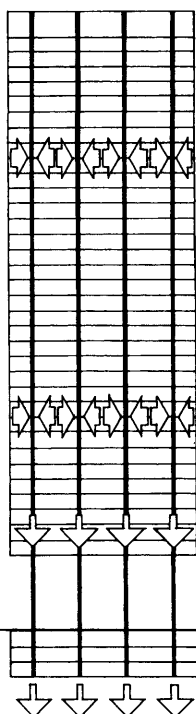


frequência de pontos de absorção de carga para 24 unidades modulares

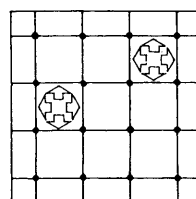


Principales sistemas de agrupación y transmisión de cargas

Sistemas principais de absorção de carga e transmissão de carga

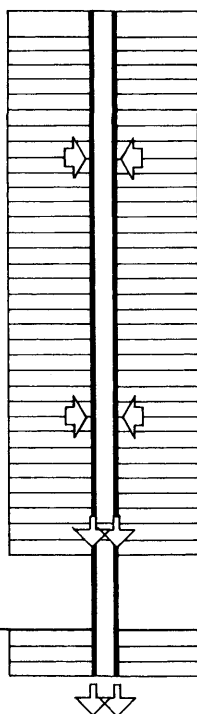


Sistema reticular / Sistema modular  
distribución uniforme de los puntos de agrupación de cargas  
pontos de absorção da carga distribuídos uniformemente

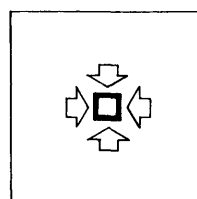


las cargas de cada planta se agrupan por unidad de superficie (retícula) y se transmiten individualmente

as cargas de cada pavimento são reunidas por unidade de área (retícula) e são transmitidas à base individualmente

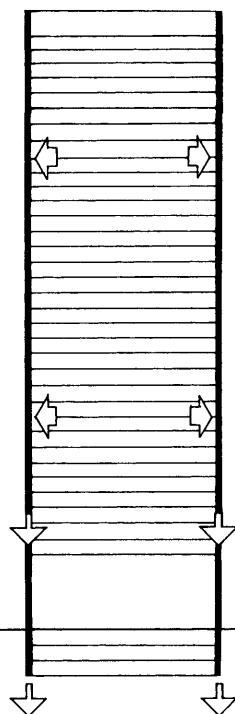


Sistema nuclear / Sistema em balanço  
puntos de agrupación de cargas en el centro  
pontos de absorção da carga no centro

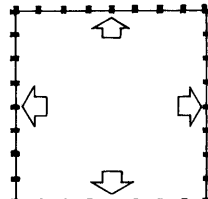


las cargas de cada planta se agrupan en el centro y se transmiten centralmente a tierra

as cargas de cada pavimento são transmitidas para o pilar central, e são centralmente enviadas à base



Sistema perimetral / Sistema de vão libre  
puntos de agrupación de cargas en la piel exterior  
pontos de absorção da carga na face externa da construção



las cargas de cada planta se agrupan en el perímetro y se transmiten periféricamente a tierra

as cargas de cada pavimento são transmitidas para a face externa do edifício, e são enviadas à base periféricamente

agrupación horizontal de las cargas y transmisión vertical de las cargas

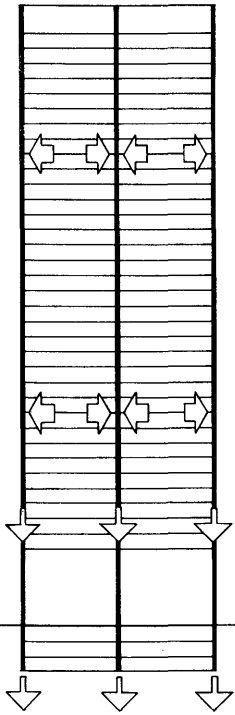
absorção horizontal da carga e transmissão vertical da carga

forma de torre / forma de torre  
dos direcciones portantes  
direção do vão em dois sentidos

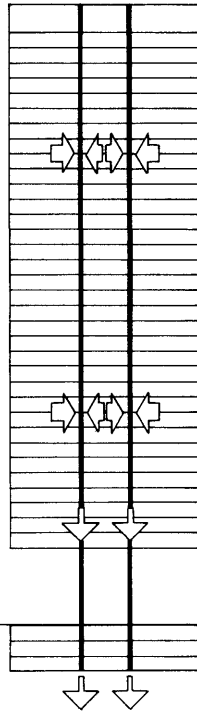
forma de lámina / forma de laje  
una dirección portante  
direção do vão em um sentido

Sistemas mixtos de agrupación y transmisión de cargas

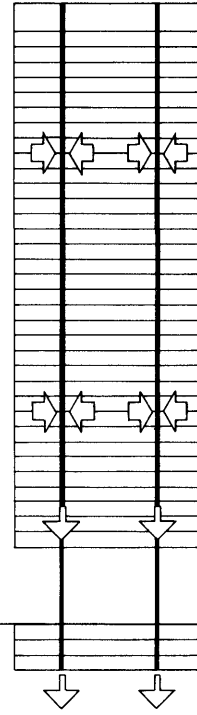
Sistemas compostos de absorção de cargas e transmissão de cargas



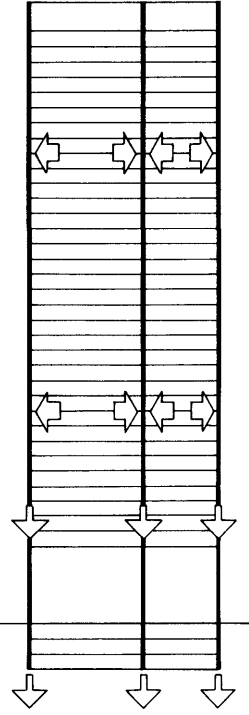
sistema envolvente con apoyo central  
sistema envolvente com apoio central



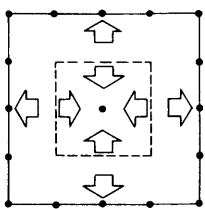
sistema con núcleo portante ampliado  
sistema de núcleo portante ampliado



sistema de grandes luces con voladizos  
sistema de vão livre e balanço

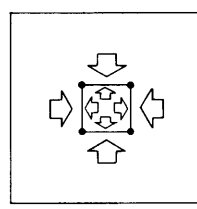


sistema portante asimétrico  
sistema portante assimétrico



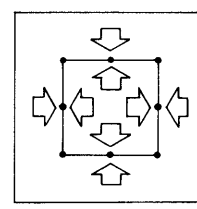
las cargas de cada planta se transmiten en parte al centro y en parte a las paredes exteriores

as cargas de cada pavimento são dirigidas parcialmente para o centro e para as paredes externas



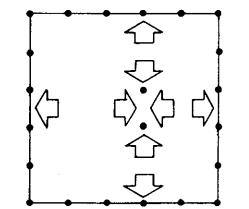
las cargas se transmiten hacia el interior a los puntos de una retícula central de agrupación

as cargas são transmitidas até o interior aos pontos de um sistema reticulado central de absorção de carga



las cargas se transmiten tanto desde el centro como desde los lados a los puntos intermedios de agrupación

as cargas são transmitidas aos pontos intermediários de absorção, tanto do centro quanto dos lados

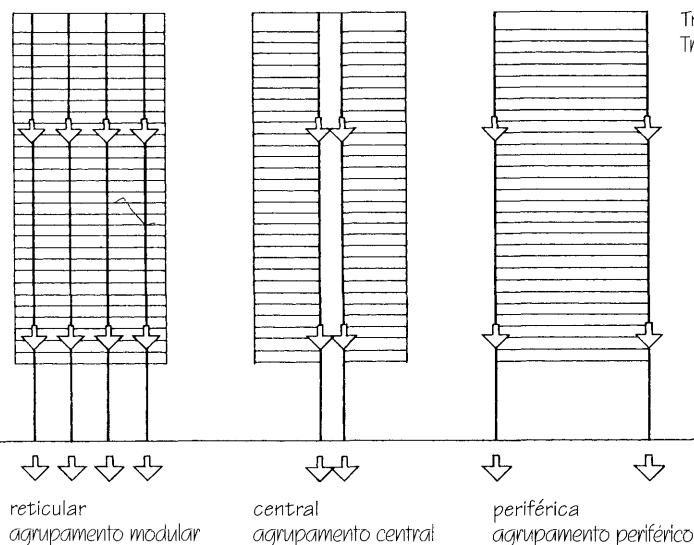


las cargas se transmiten de manera desigual a los puntos de agrupación

as cargas são transmitidas desigualmente aos pontos de absorção

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

Sistemas de transmissão indireta da carga vertical no agrupamento modular  
= arranha-céus tipo ponte

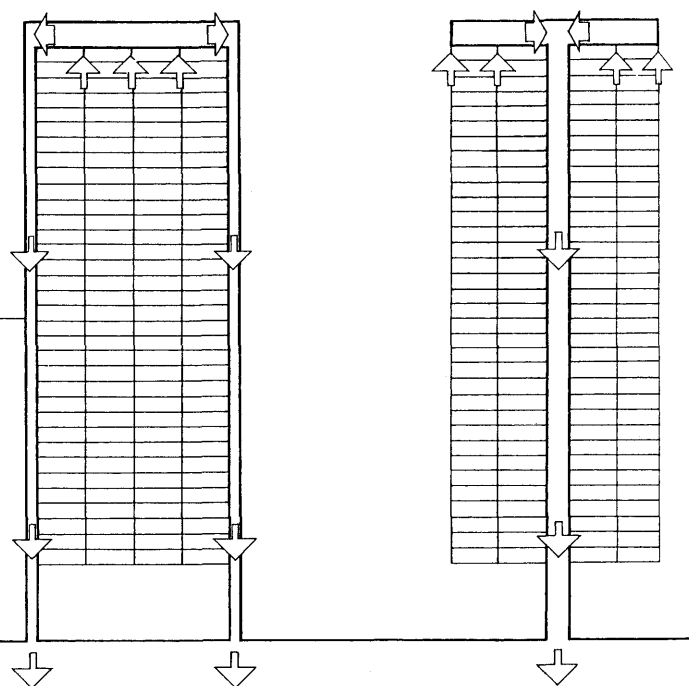


Transmisión directa de cargas  
Transmissão direta de carga

Transmisión indirecta de cargas mediante cables  
Transmissão indireta da carga por meio de cabos

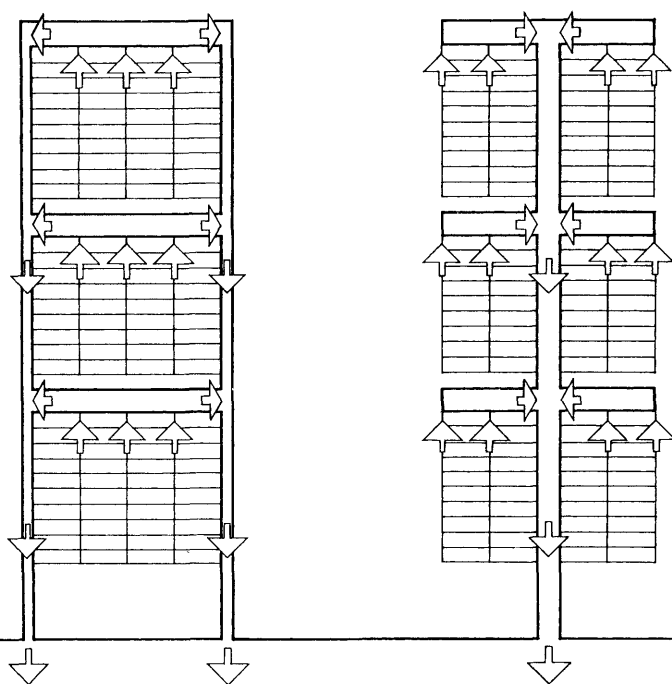
En vez de transmitir las cargas recogidas en cada planta directamente a los cimientos, también se pueden transmitir a través de cables, primero hacia arriba, desde donde se pueden transmitir a pilones centrales o perimetrales mediante vigas transversales superpuestas.

Ao invés de transmitir cargas agrupadas por cada piso diretamente às fundações por meio de colunas, as cargas podem ser levadas por cabos para a parte superior, onde vigas-mestras sobrepostas recebem-nas e transmitem-nas aos pilares centrais e/ou periféricos.

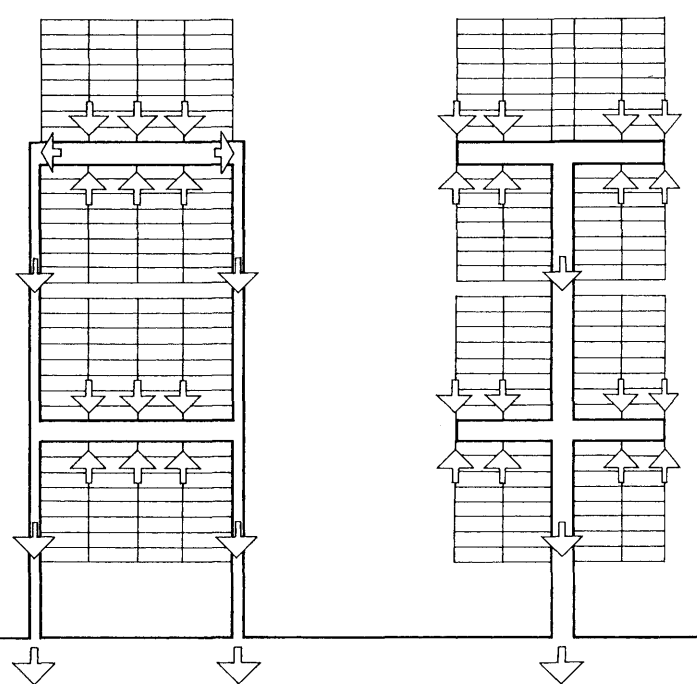


Sistemas continuos de suspensión

Sistemas de suspensión continua



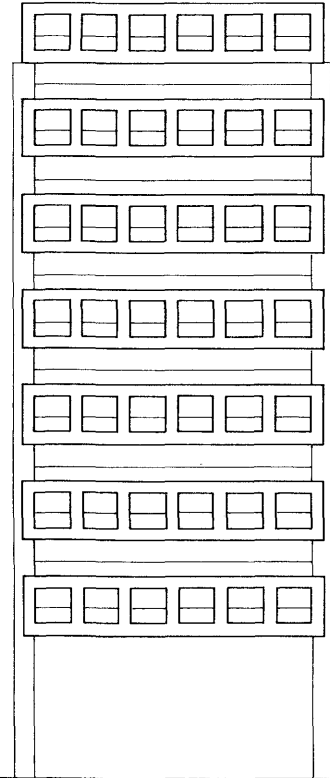
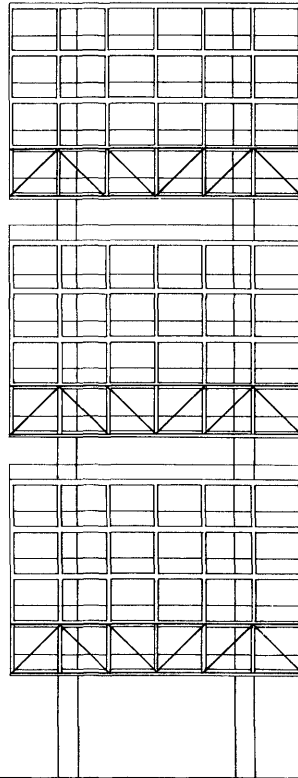
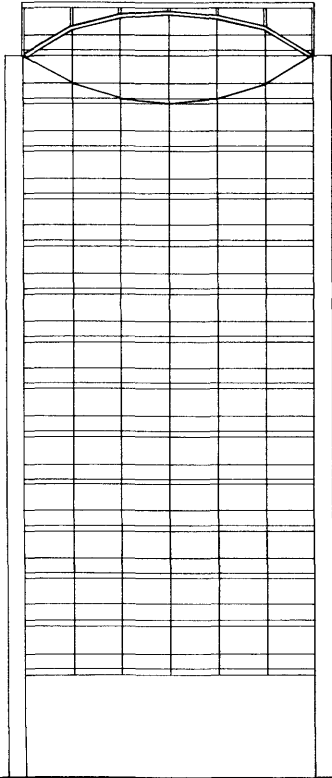
Sistemas para la suspensión agrupada de las plantas de vigas intermedias  
Sistemas de suspensão de pavimentos agrupados por vigas-mestras intermediárias



Sistemas para la suspensión combinada y soporte de los grupos de plantas  
Sistemas para suspensão combinada e apoio de agrupamentos separados de pavimentos

Sistemas de vigas de planta entera  
en rascacielos puente

Sistemas de viga de vários pavimentos  
em arranha-céus tipo ponte



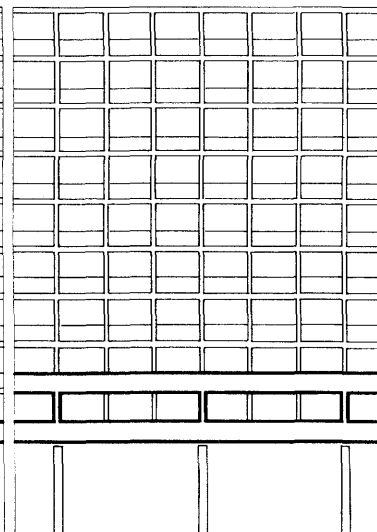
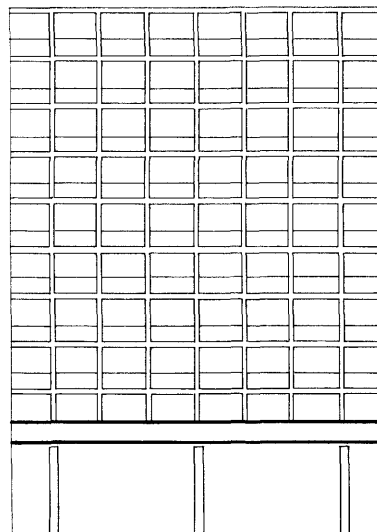
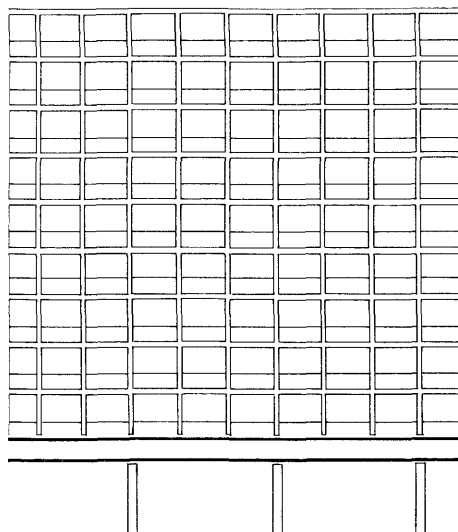
Vigas de planta de forma activa  
Viga de pavimento de forma-ativa  
Combinación de arco y cable suspendido  
con plantas suspendidas  
Combinação de cabo de suspensão/arco  
com pavimentos suspensos

Vigas de planta de vector activo  
Viga de pavimento de vetor-ativo  
Vigas de celosía con grupos de plantas  
apoyadas encima  
Vigas entrelazadas suportando cada uma vários  
pavimentos

Vigas de planta de vector activo  
Viga de pavimento de seção-ativa  
Pórticos de varios vanos con plantas  
intermedias sin pilares  
Pórticos de vários vãos com pisos intermediários  
sem suportes

Sistemas de absorción de cargas  
sobre la planta baja

Sistemas de recebimento das cargas de columnas  
dos pavimentos superiores



Jácena inferior debajo del forjado  
Viga de absorção abaixo da laje do  
pavimento

Jácena de absorción en antepecho  
Viga de absorção acima da laje do  
pavimento

Jácenas de absorción en el  
antepecho de dos plantas  
Viga de absorção em dois pavimentos

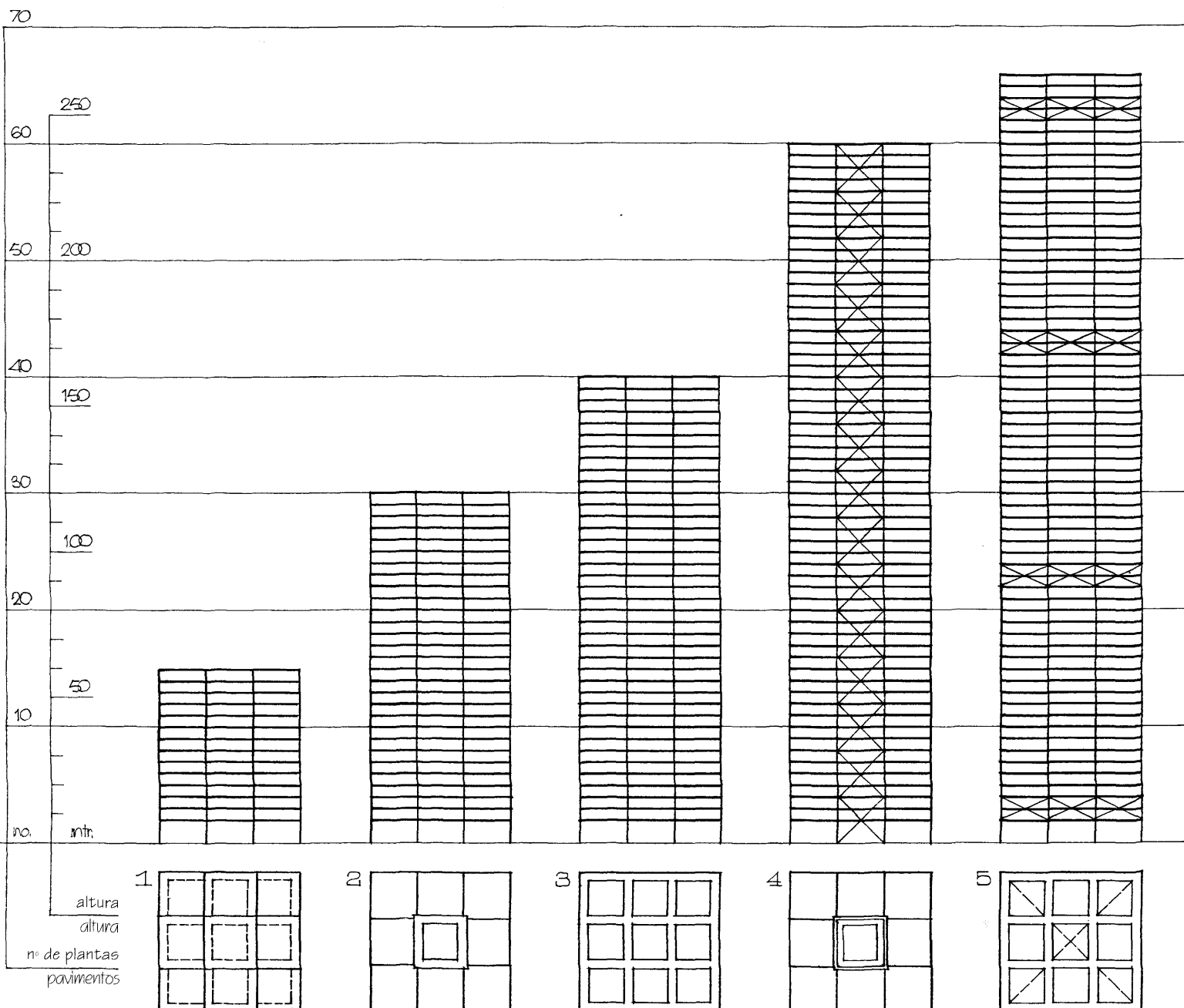
Jácena de absorción formada por un  
pórtico de varios vanos  
Pórtico de vários vãos como viga  
de absorção

## Ideas básicas sobre los rascacielos de acero

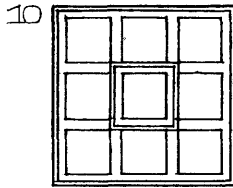
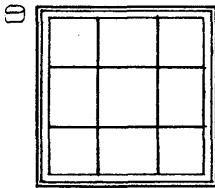
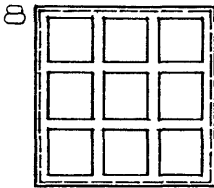
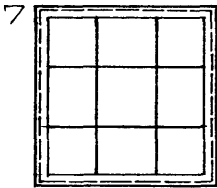
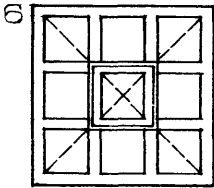
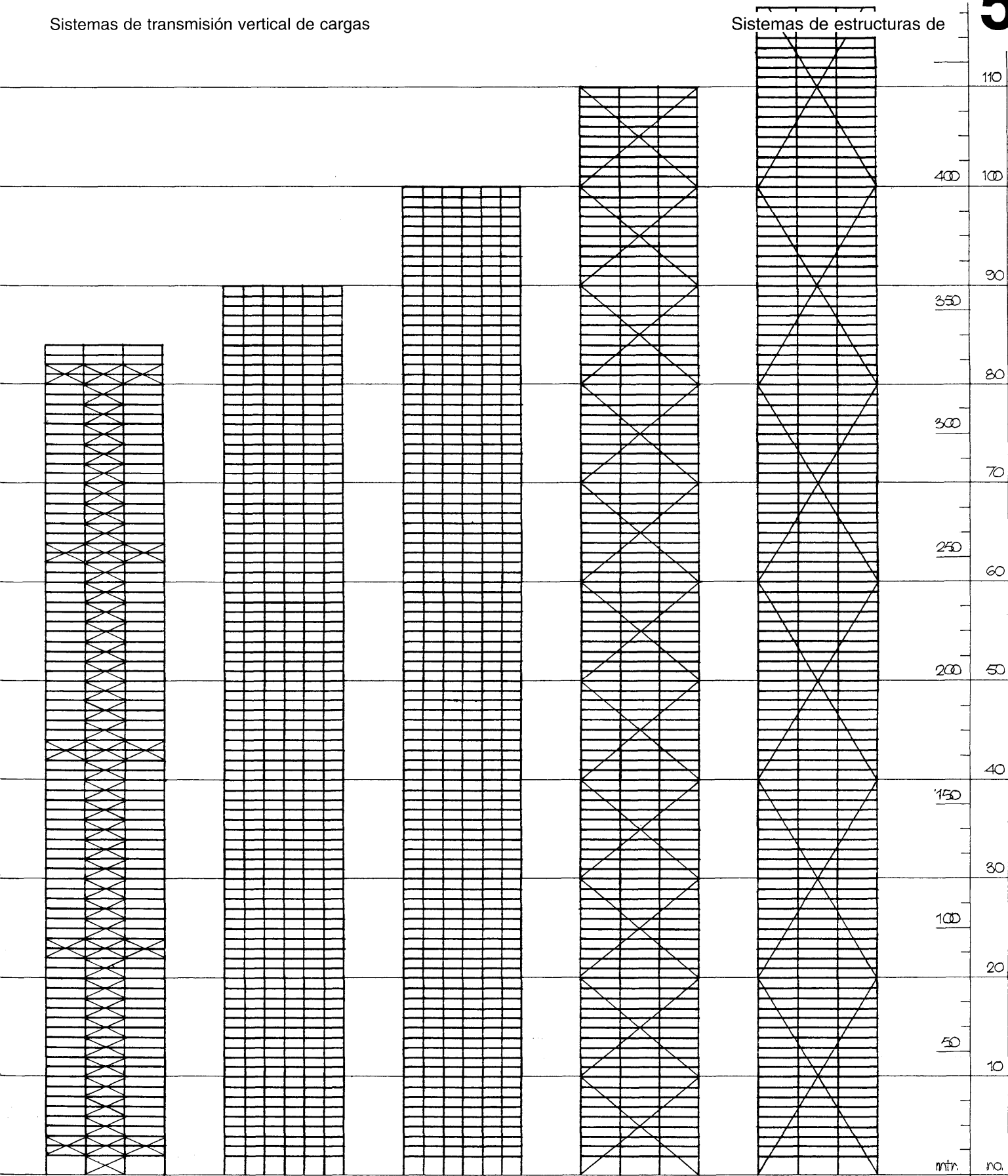
- 1 Pórticos superpuestos / Retícula semirrígida
- 2 Núcleo porticado con retícula de vigas
- 3 Retícula continua de pórticos / Retícula completamente rígida
- 4 Núcleo laminar o de celosía con retícula de vigas
- 5 Retícula continua de pórticos con plantas de rigidización
- 6 Núcleo laminar o de celosía con retícula de vigas y con plantas de rigidización
- 7 Perímetro densificado de pórticos y retícula de vigas
- 8 Perímetro densificado de pórticos y retícula de pórticos
- 9 Perímetro de celosías y retícula de vigas
- 10 Perímetro de celosías con núcleo laminar o de celosía y con retícula de pórticos

## Conceitos padrão de construção de arranha-céus em aço

- 1 Pórticos sobrepostos / Pórticos semi-rígidos modulares
- 2 Núcleo de pórticos com pós-vigas modulares
- 3 Módulos de pórtico contínuo / Módulos de pórticos totalmente rígidos
- 4 Núcleo entrelaçado ou núcleo de parede cisalhada com módulo de pós-viga
- 5 Módulos de pórtico contínuo com pavimentos reforçados
- 6 Núcleo entrelaçado ou núcleo de parede cisalhada com módulos de pórtico e com pavimentos reforçados
- 7 Caixas de armação densificada com módulos de pós-viga
- 8 Caixas de armação densificada com módulos de pórtico
- 9 Caixas entrelaçadas com módulos de pós-viga
- 10 Caixas entrelaçadas com núcleo entrelaçado ou núcleo de parede cisalhada com módulos de pós-viga







altura  
altura  
nº de plantas  
pavimentos

Formas típicas de torre a partir de uma planta quadrada

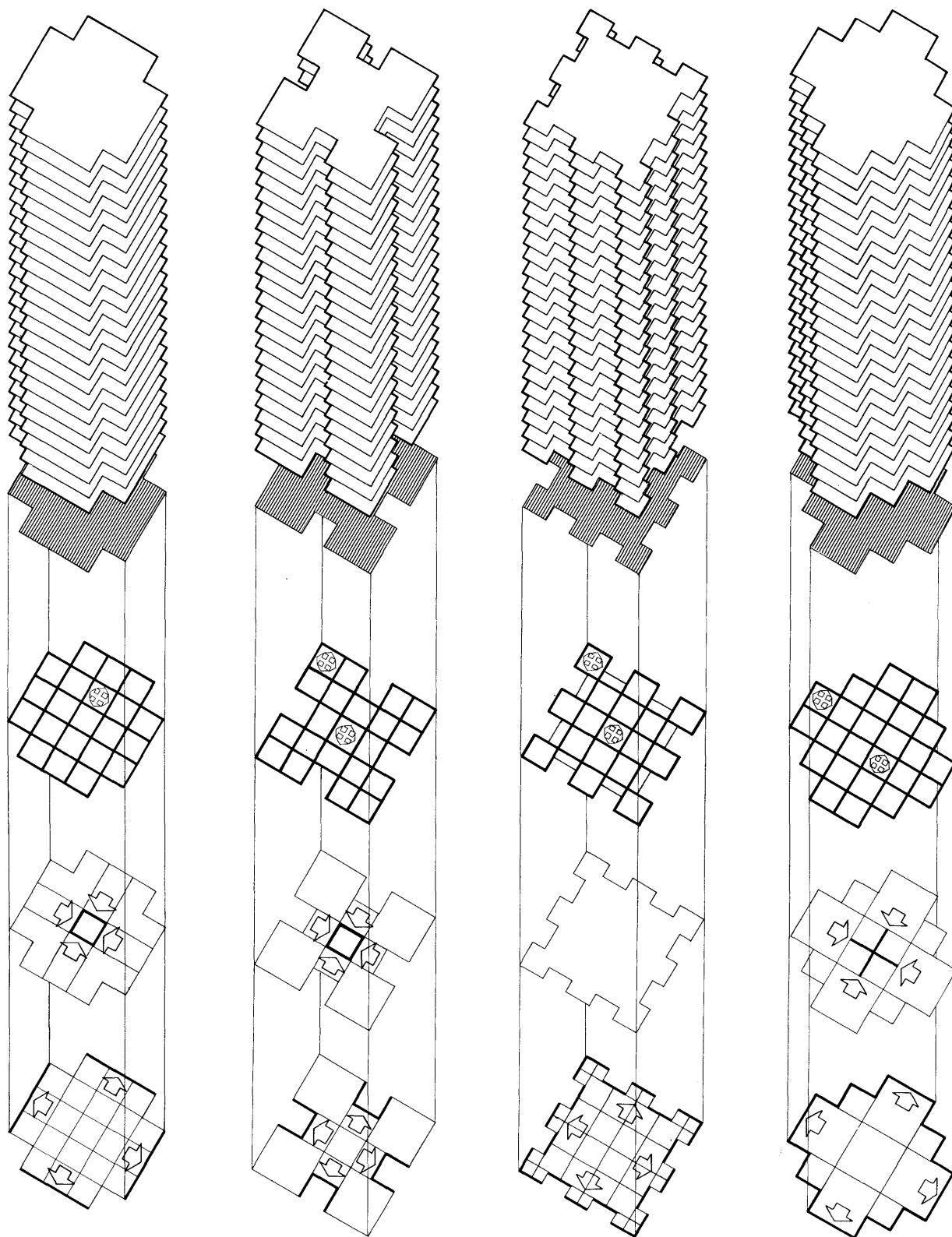
Formas típicas de torre desenvolvidas a partir de uma planta quadrada

Absorción de cargas  
Agrupamento de carga

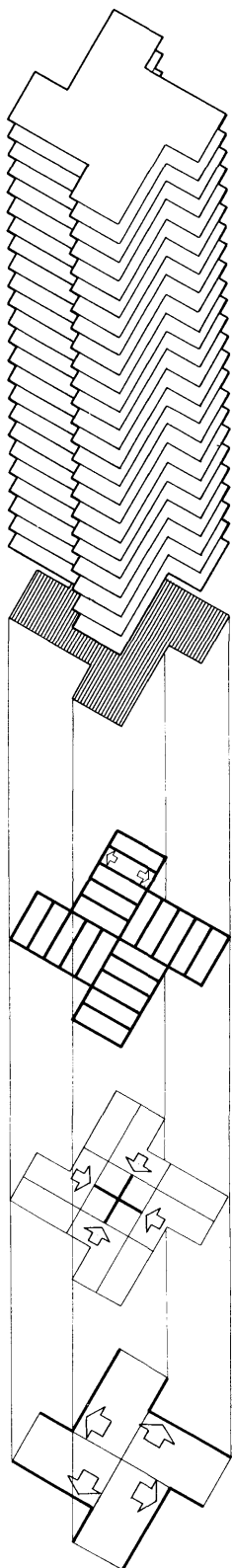
como sistema reticular  
como sistema modular

como sistema nuclear  
como sistema em balanço

como sistema perimetral  
como sistema de vão livre



Formas típicas de torre a partir de una planta circular  
 Formas de torre desenvolvidas a partir de uma planta circular

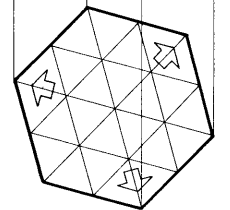
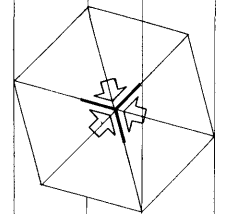
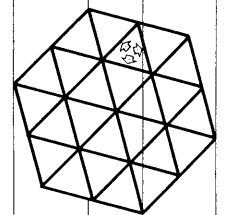
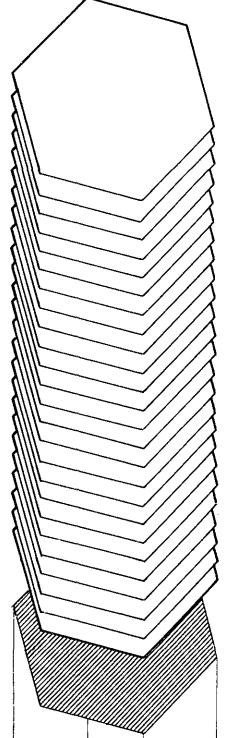
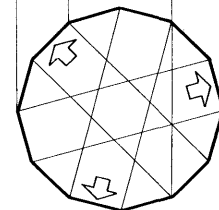
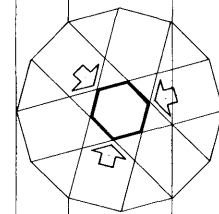
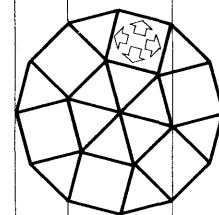
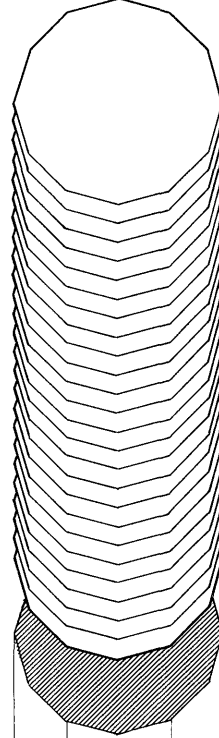
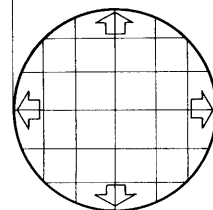
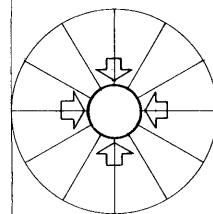
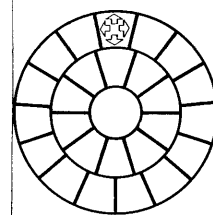
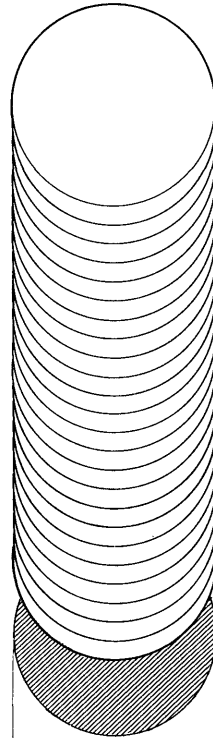


Absorção de cargas  
 Agrupamento de carga

como sistema reticular  
 como sistema modular

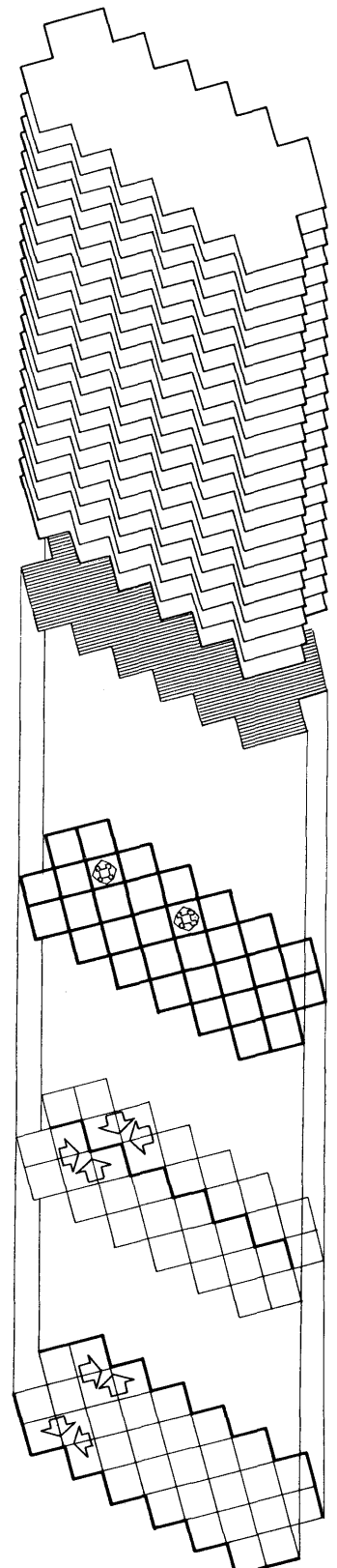
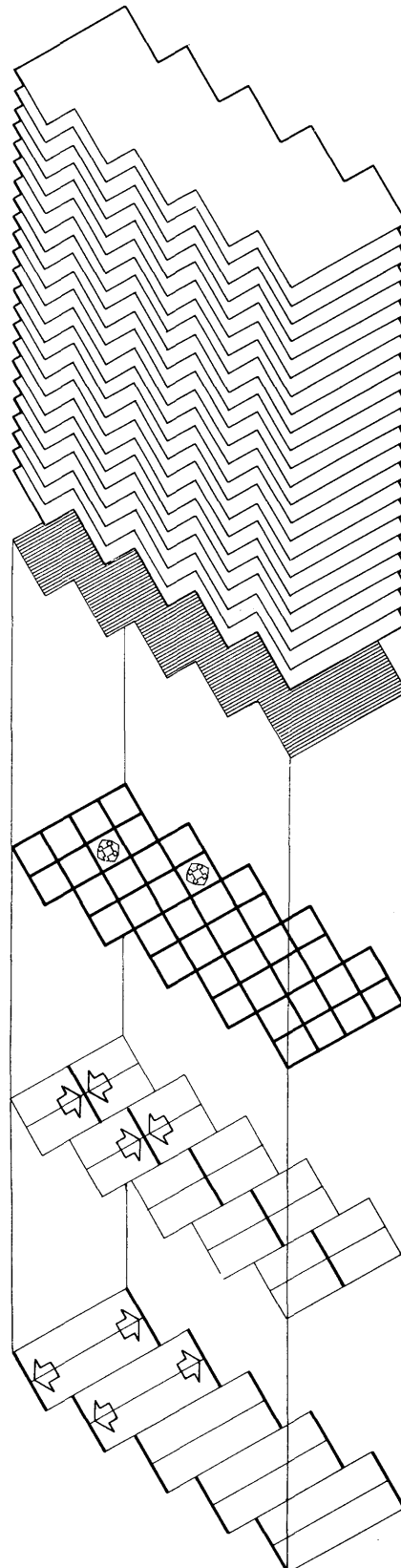
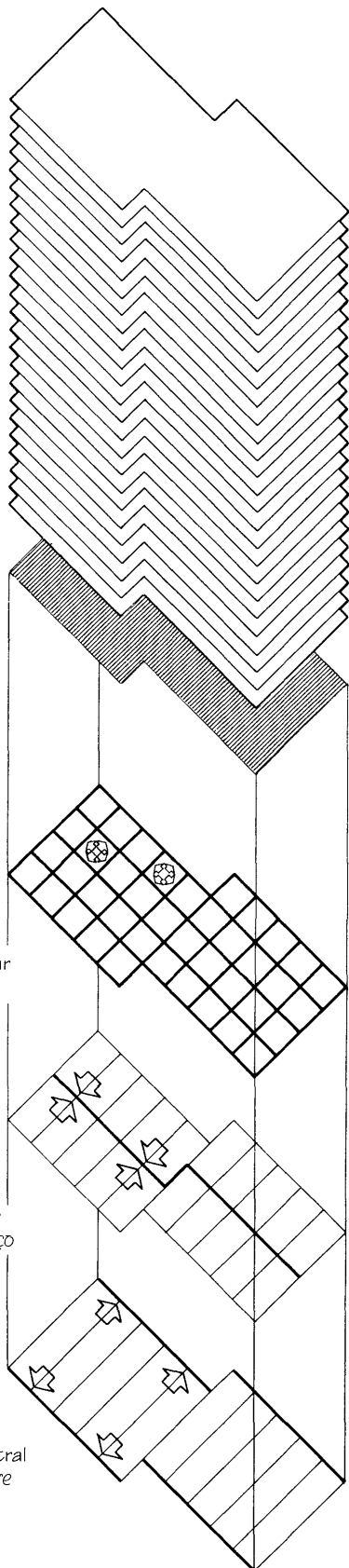
como sistema nuclear  
 como sistema em balanço

como sistema perimetral  
 como sistema de vão livre



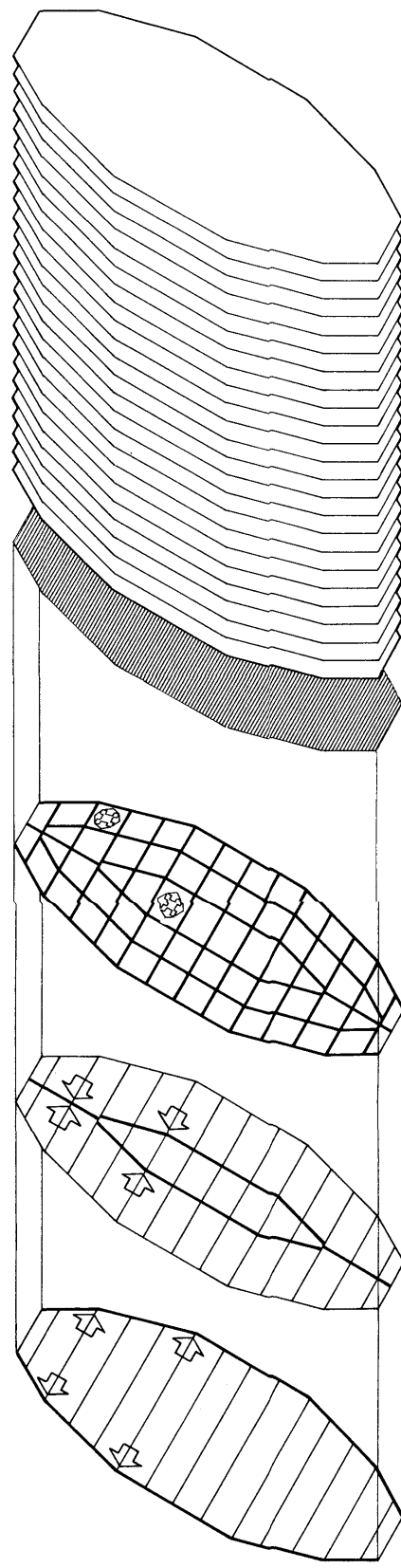
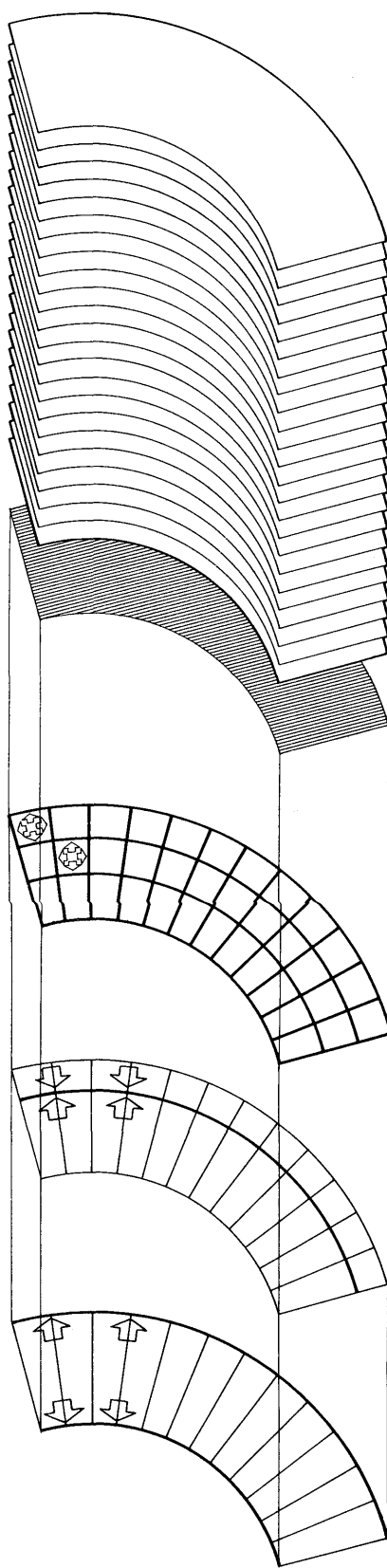
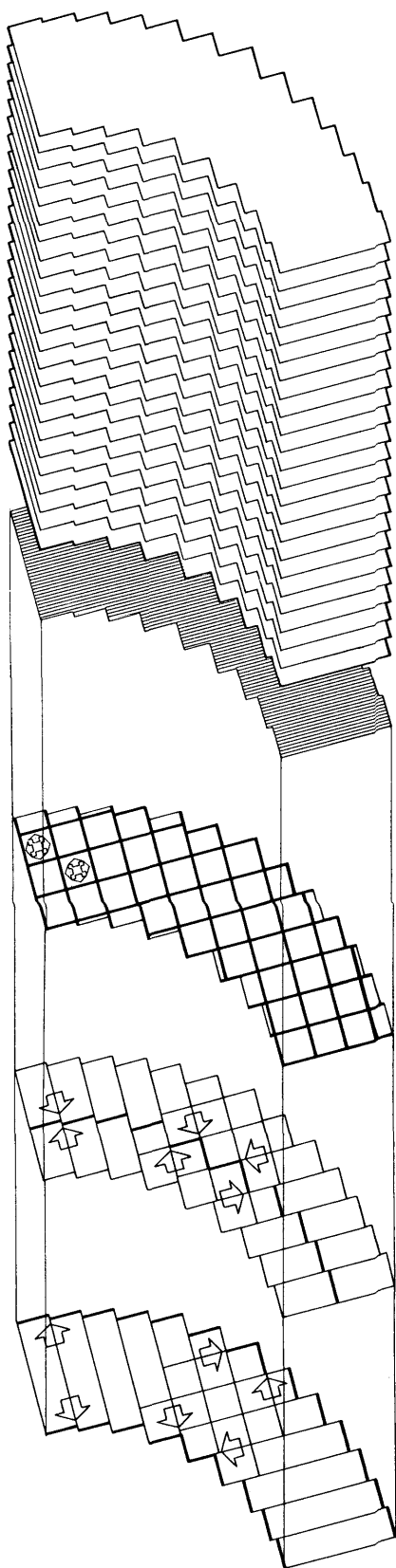
Formas típicas de torre a partir de uma planta rectangular

Formas típicas de laje desenvolvidas a partir de uma planta rectangular



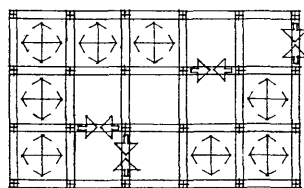
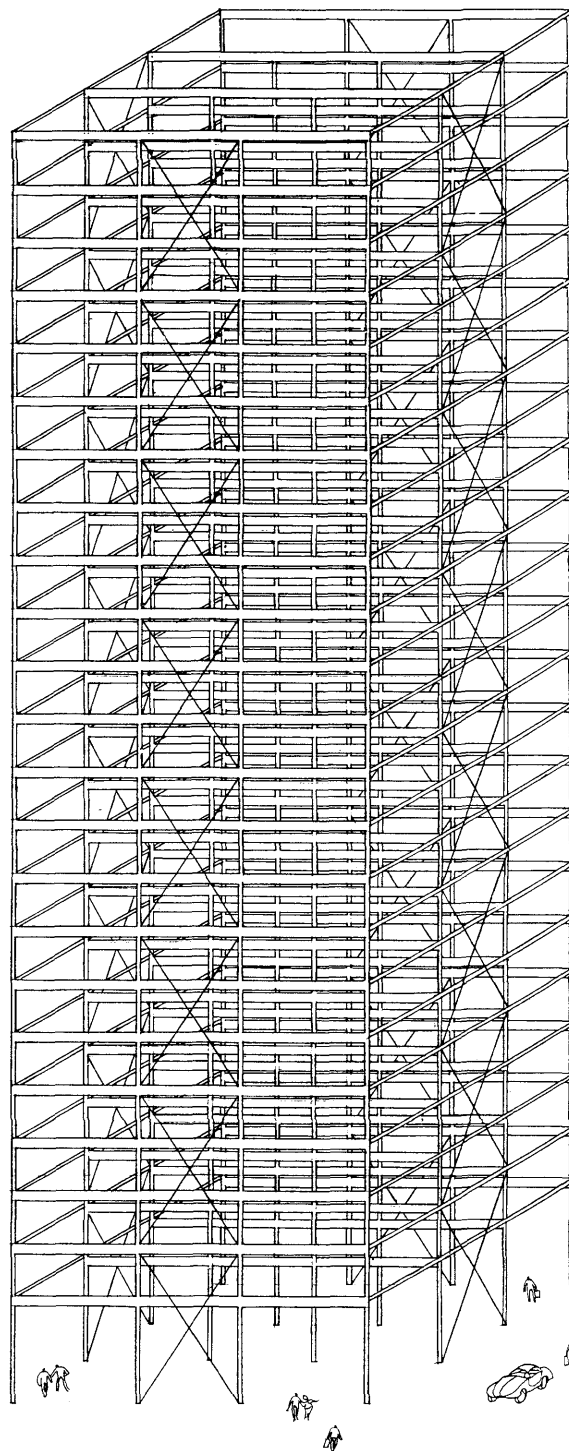
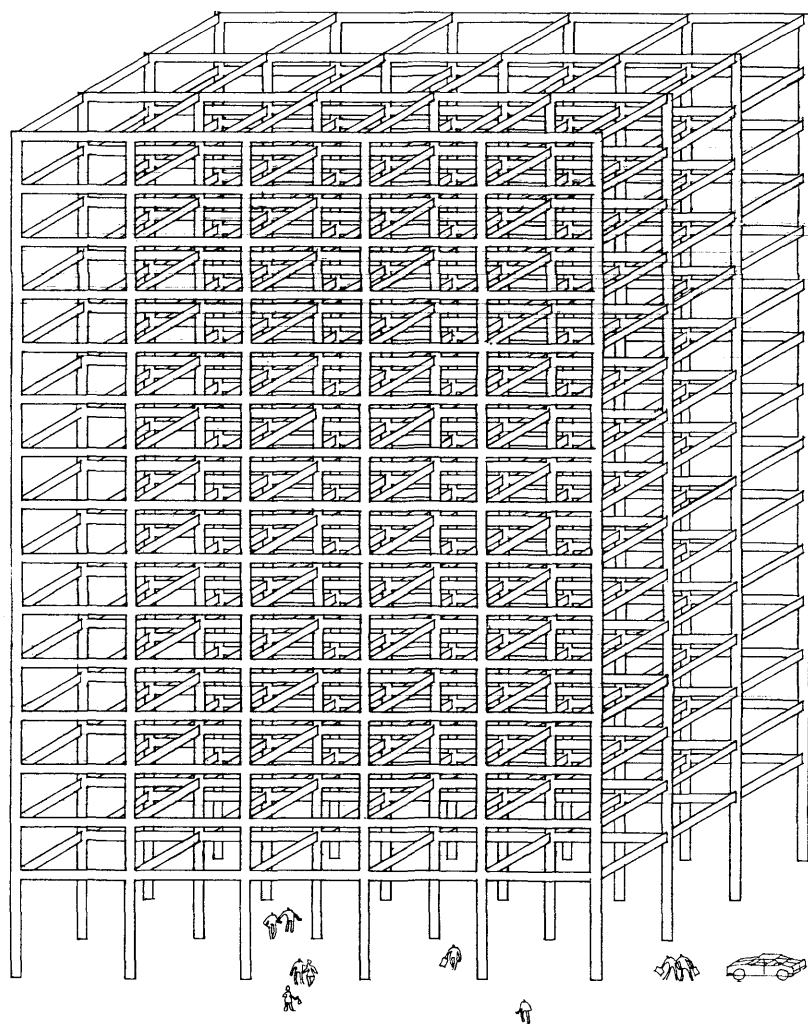
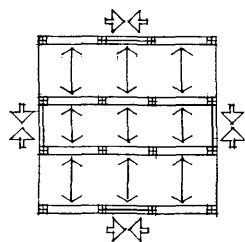
Formas laminares desarrolladas a partir de una planta curva

Formas de laje desarrolladas a partir de una planta de pavimentos curvos



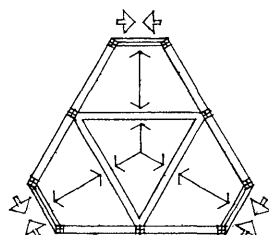
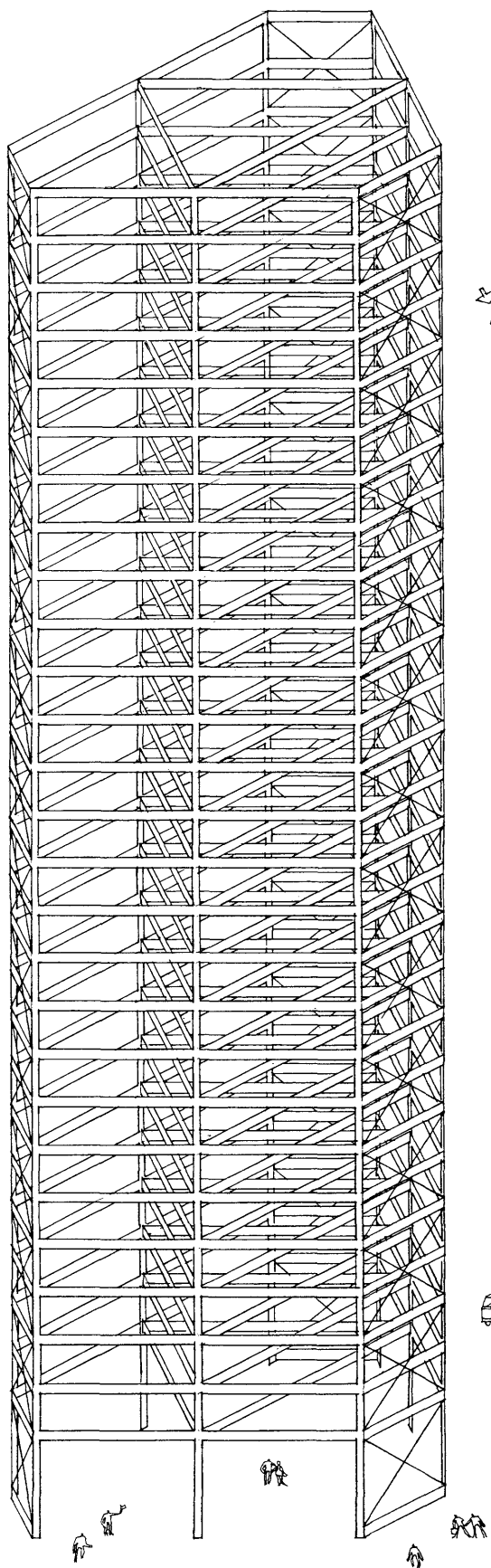
Rascacielos reticulares / Arranha-céus tipo modular

Retícula de vigas con rigidización  
de vanos individuales  
Módulos de pós-viga com reforço  
individual

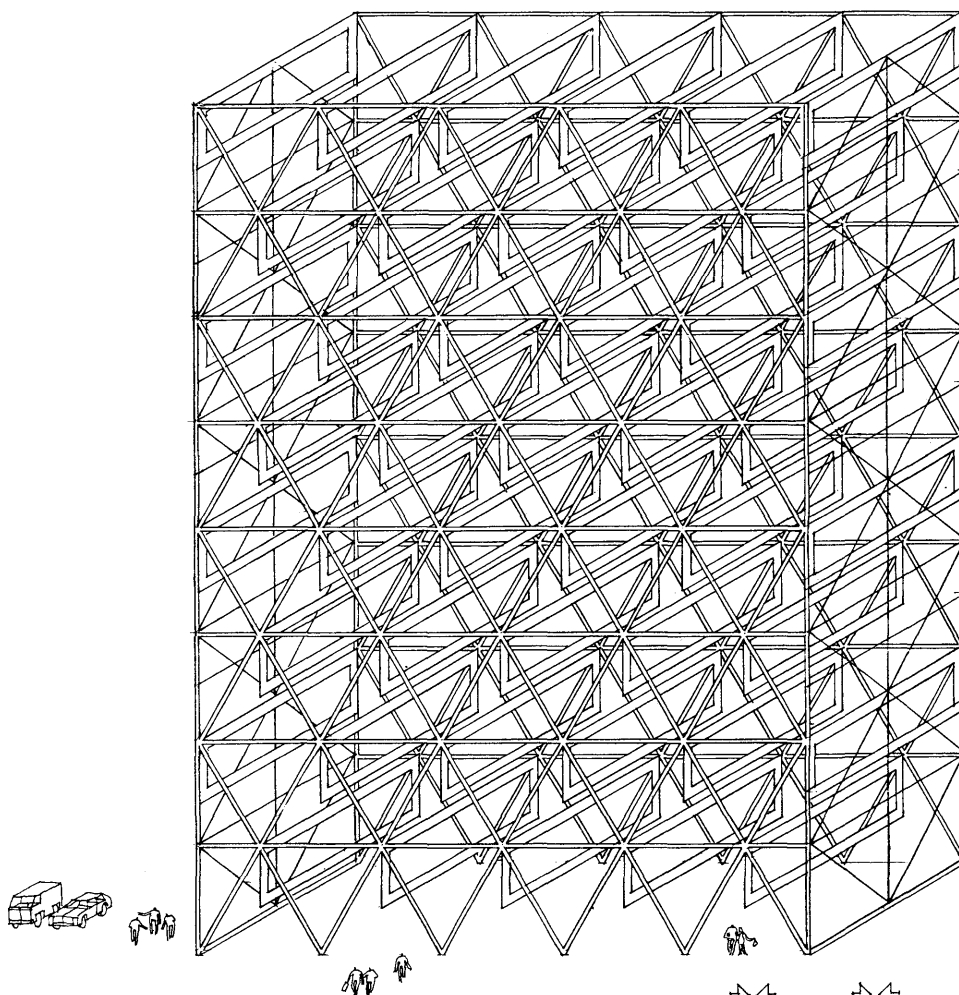


Retícula de pórticos con pórticos  
rígidos continuos  
Módulos de armação com pórticos  
rígidos continuos

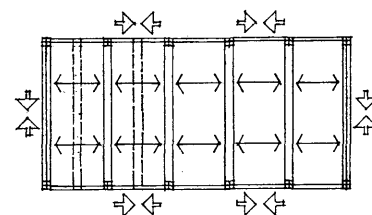
## Rascacielos perimetrales / Arranha-céus de vão livre

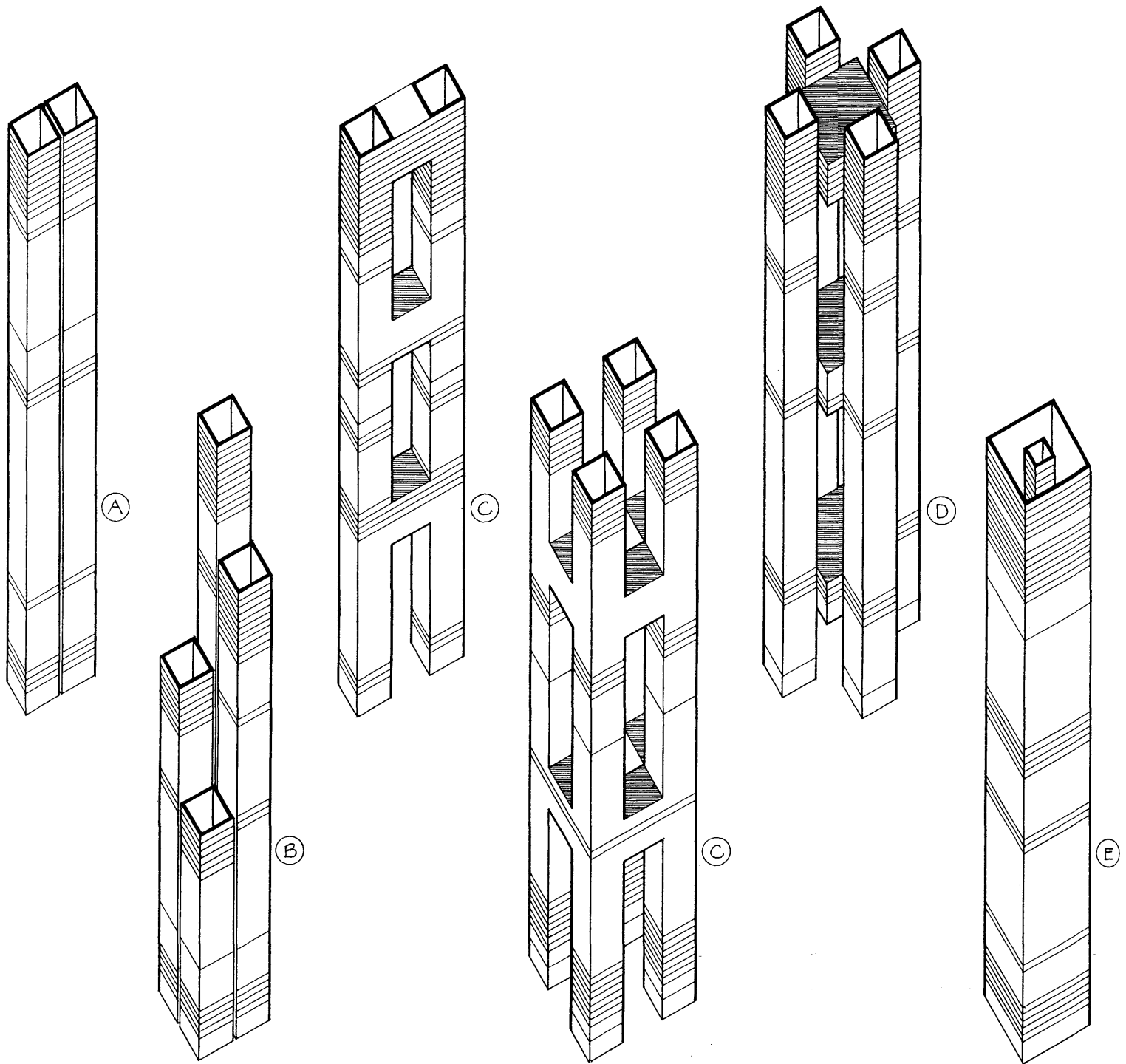


Vigas perimetrales con rigidización individual  
de vanos y vigas de planta en diagonal  
Caixa de pós-viga com reforço individual e vigas  
de pavimento diagonais



Perímetro en celosía con rigidización transversal  
de los testeros y pórticos completos suspendidos  
Caixa entrelaçada com reforço cruzado na parede final  
e pórticos fechados suspensos





### Desarrollos a partir de tubos rectangulares Desenvolvimentos baseados em tubos quadrangulares

El sistema estructural de TUBOS como forma estructural óptima para la rigidización vertical de rascacielos, también se puede aplicar como módulo para sistemas de rigidización de mayor escala, con mecanismos portantes que superan ampliamente el potencial de los tubos individuales. Las tres combinaciones normalizadas son:

- 1 Acoplamiento directo de pared a pared: (A) (B) yuxtaposición de tubos
- 2 Relación indirecta mediante elementos puente: (C) (D) pórticos de tubos
- 3 Acoplamiento telescópico: (E) varias capas formadas por tubos

O sistema de estrutura TUBULAR como forma estrutural ótima para reforços verticais de edifícios altos também qualifica-se como módulo para o desenvolvimento de sistemas de estabilização de maior escala com mecanismos estruturais que ultrapassam largamente o potencial de um tubo simples. As três combinações padrão são:

- 1 Junção direta de parede com parede: (A) (B) aglomerado de tubos
- 2 União indireta por elementos ponte: (C) (D) pórtico de tubos rígido
- 3 Encaixe telescópico: (E) capeamento múltiplo de tubos concêntricos

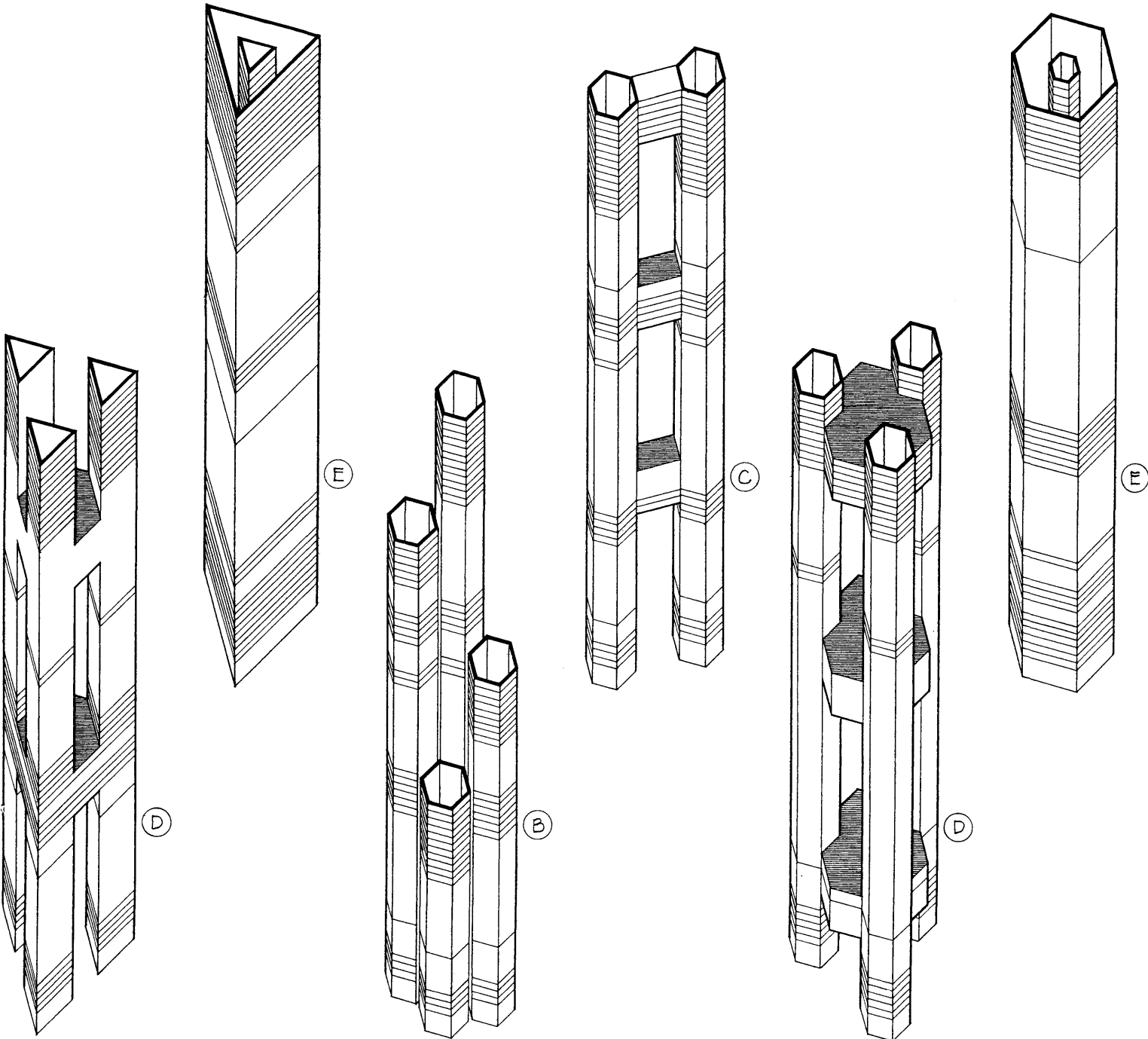


Combinaciones de módulos tubulares para una rigidización vertical

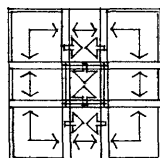
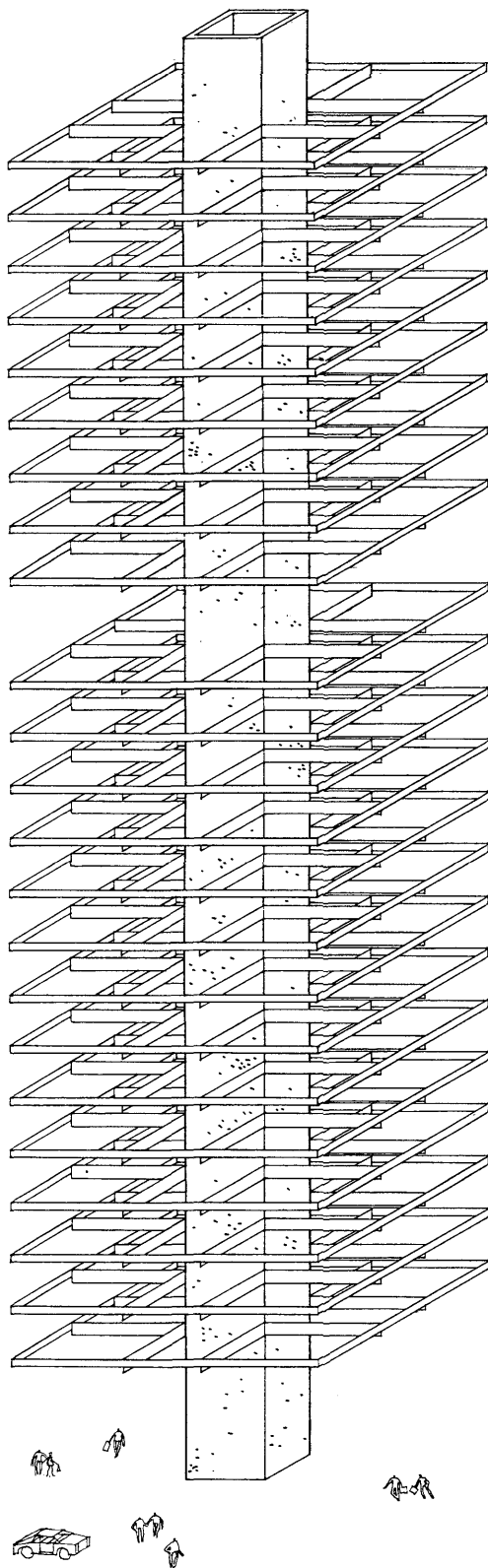
Combinações de módulos de tubos para estabilização vertical

Desarrollo a partir de tubos triangulares y hexagonales  
Desenvolvimentos baseados em tubos triangulares e hexagonais

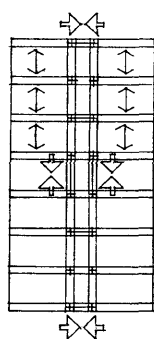
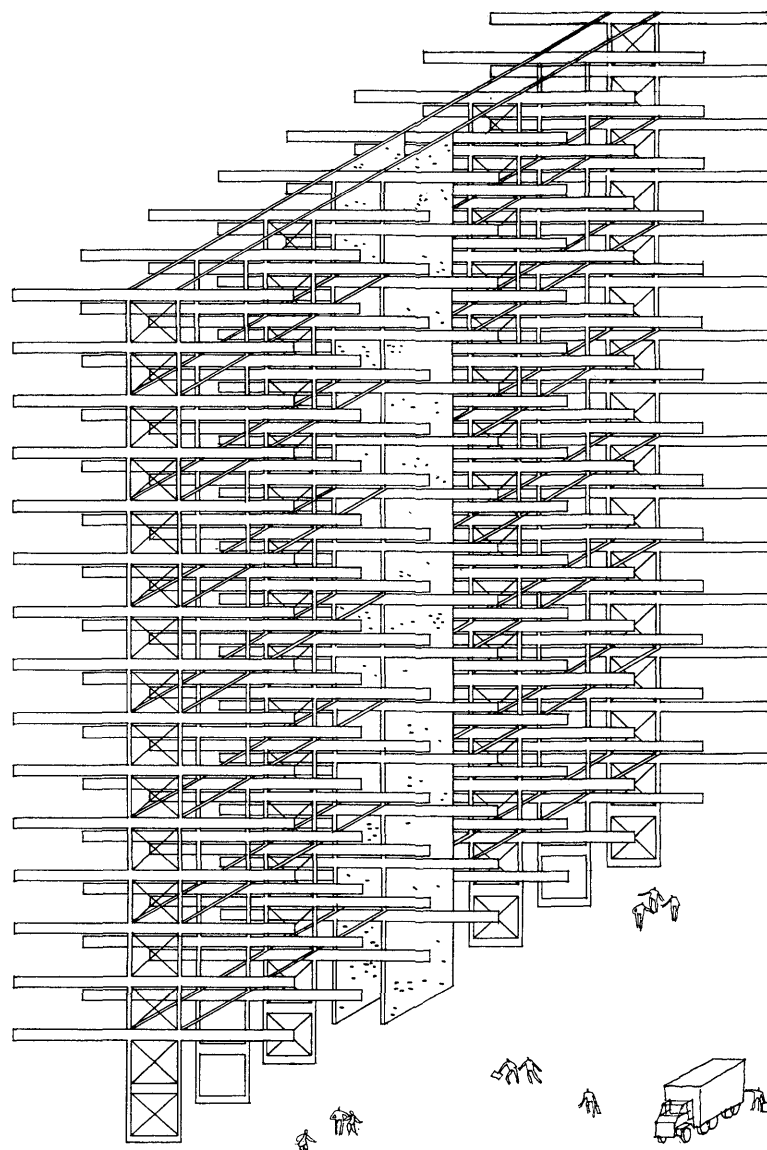
- |     |                         |                          |
|-----|-------------------------|--------------------------|
| (A) | Dos tubos               | Tubo duplo               |
| (B) | Yuxtaposición de tubos  | Aglomerado de tubos      |
| (C) | Pórtico de tubos        | Pórtico rígido de tubos  |
| (D) | Pórtico de tubos triple | Pórtico de tubos         |
| (E) | Tubos dobles            | Capeamento duplo de tubo |



## Rascacielos con núcleo / Arranha-céus em balanço

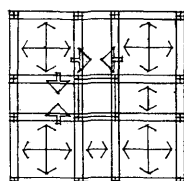
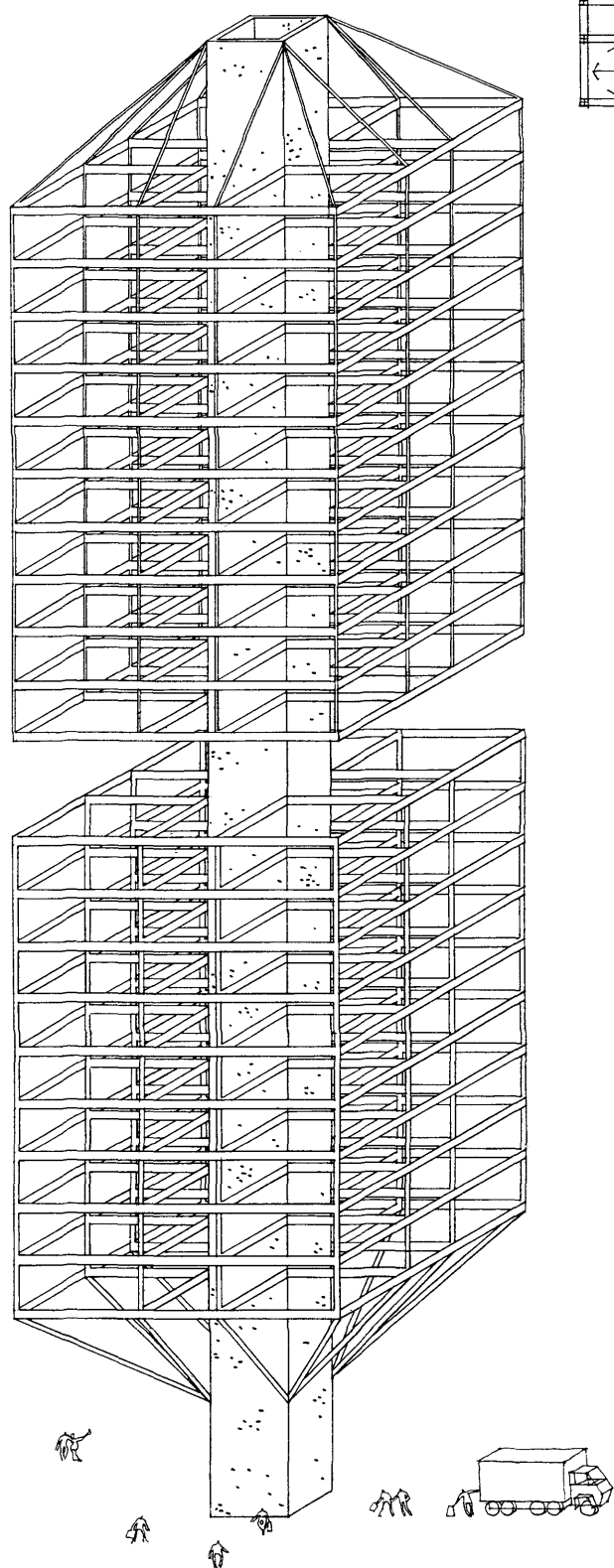


Núcleo estabilizado com vigas de forjado em voladizo  
y vigas perimetrales  
Núcleo pontual estabilizado com vigas de pavimento  
em balanço e vigas de borda

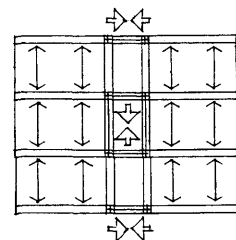
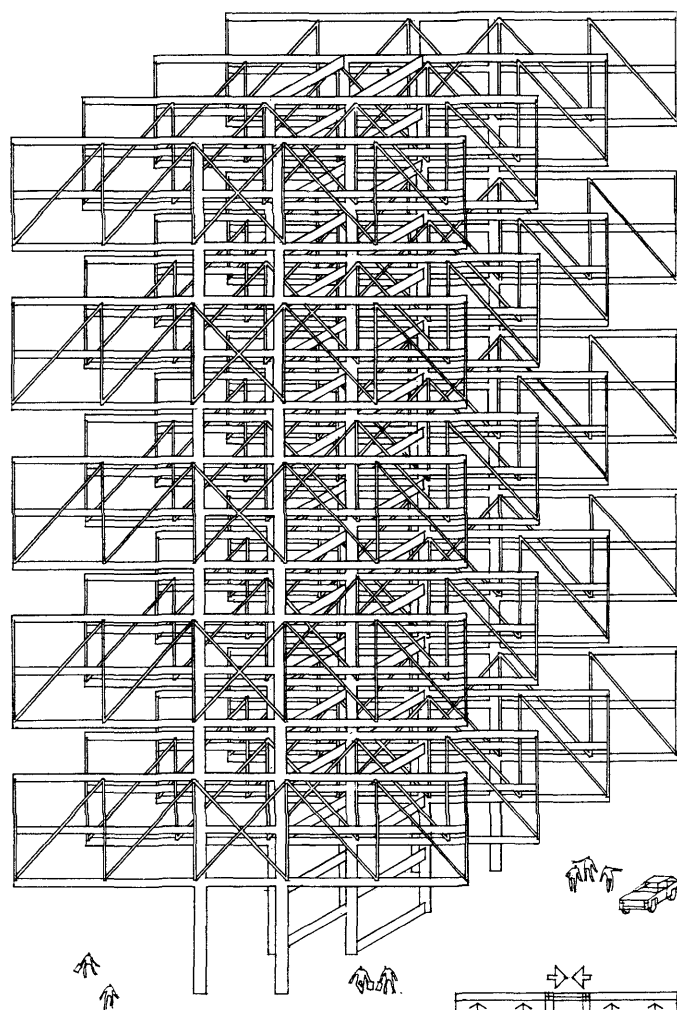


Núcleo estabilizado de vigas axiais  
con vigas de forjado en voladizo  
Núcleo axial estabilizado com pós-vigas  
e vigas de pavimento em balanço

## Rascacielos con núcleo / Arranha-céus em balanço



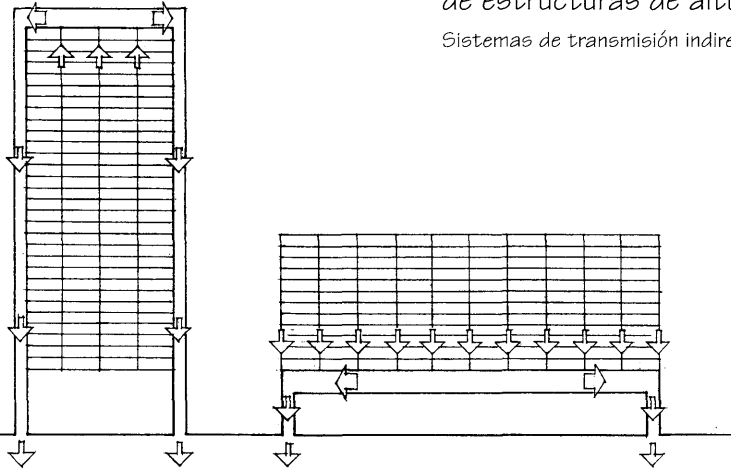
Núcleo estabilizado, solicitado indirectamente,  
 con forjados suspendidos y apoyados  
 Núcleo pontual estabilizado, indirectamente carregado,  
 com pavimentos suspensos e apoiados



Núcleo axial estabilizado con celosías  
 en voladizo de varias plantas  
 Núcleo axial estabilizado com múltiplos  
 pavimentos entrelaçados em balanço

### Sistemas puente de los sistemas de estructuras de altura activa

Sistemas de transmisión indirecta de cargas en vertical

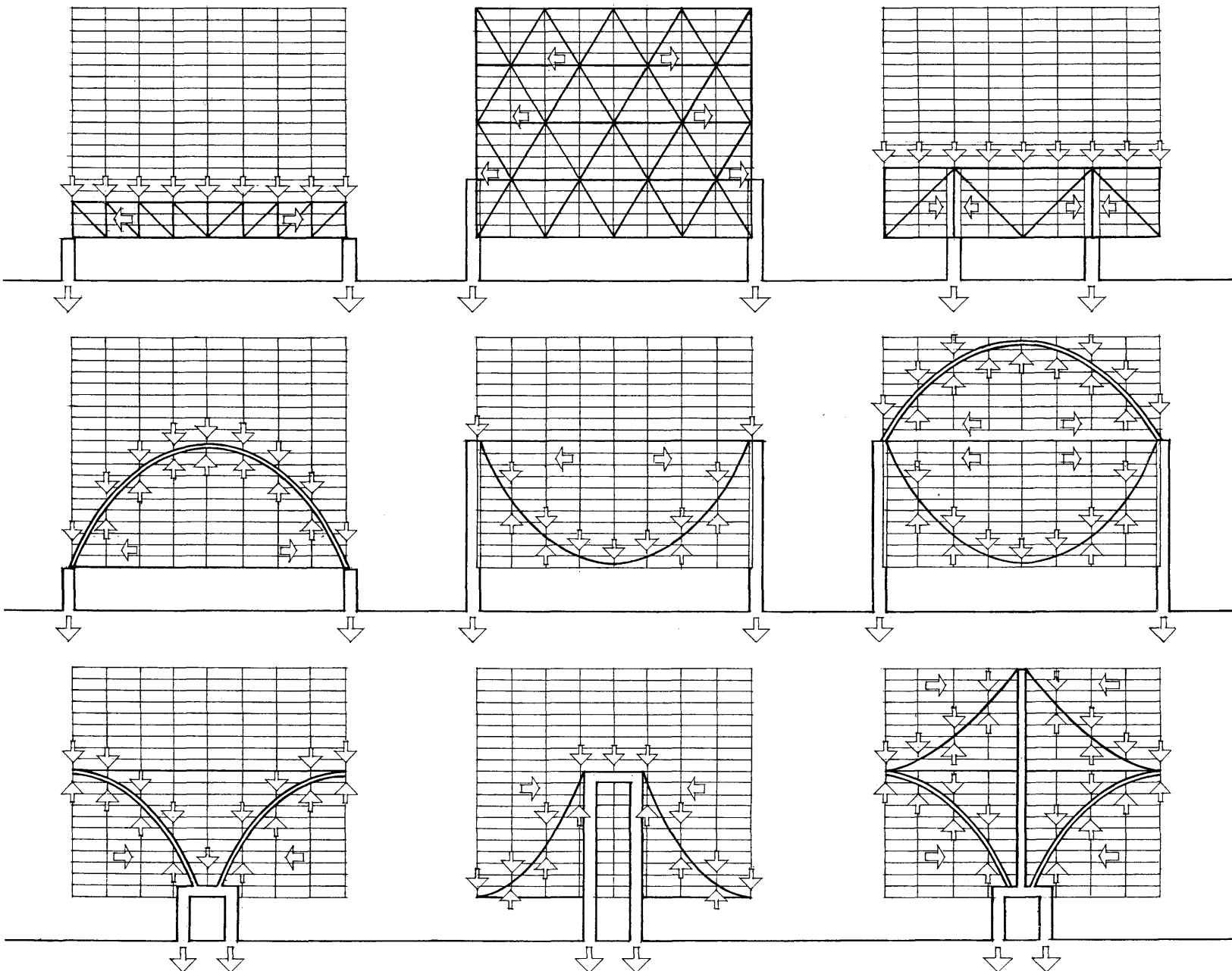


### Sistemas de ponte em estruturas de altura-ativa

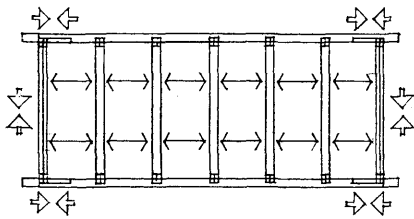
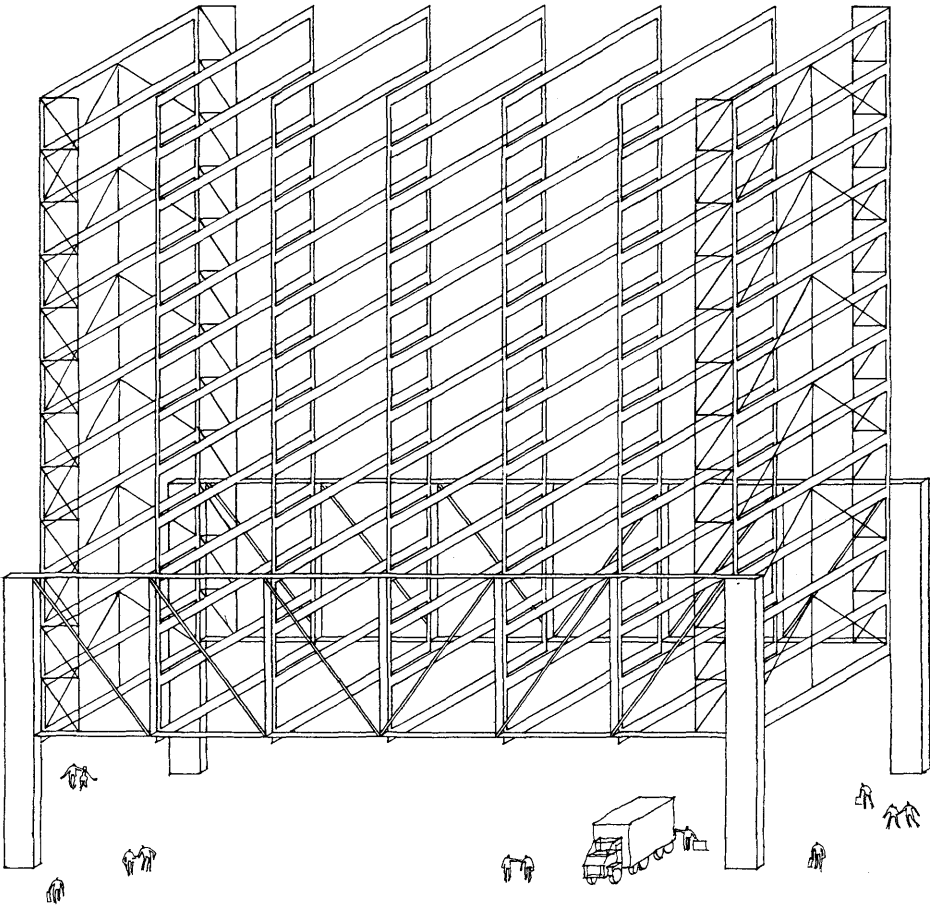
Sistemas verticais de transmissão indireta de carga

En los sistemas de transmisión indirecta de cargas en vertical, por lo general, se necesita un sistema estructural adicional de mayor escala. Este sistema recoge las cargas totales a partir de una estructura básica independiente de altura activa, que las reconduce (para mantener libre la planta baja), de manera parecida a un puente, mediante grandes luces a pocos pilares: RASCACIELOS PUENTE.

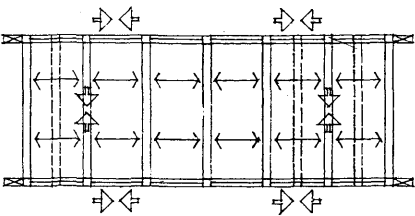
Nos sistemas verticais de transmissão indireta de carga é exigido como regra um sistema estrutural separado sobreposto. Este sistema recebe a totalidade das cargas de uma ampla estrutura independente de altura-ativa e (para conservar o térreo livre de uma malha de apoio) transmite-as a uma grande distância sobre alguns poucos pilotis, de forma similar à mecânica das pontes: ARRANHA-CÉUS TIPO PONTE.



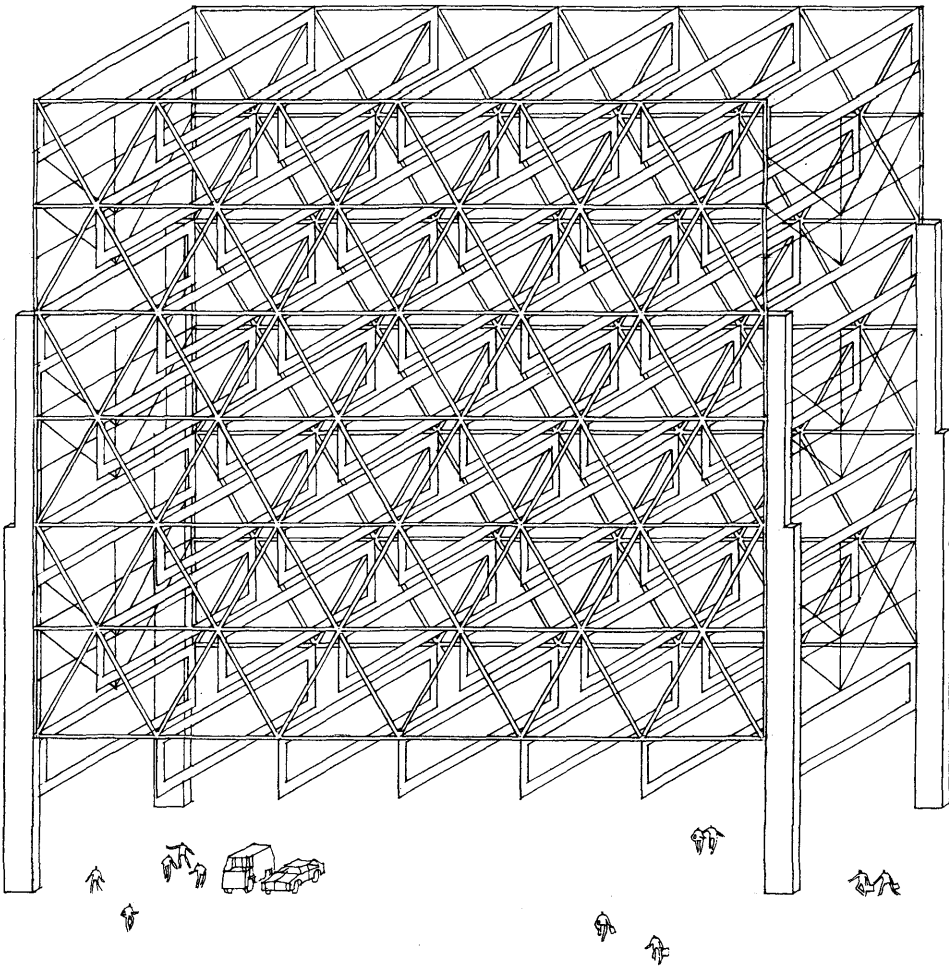
Rascacielos puente  
Arranha-céus tipo ponte

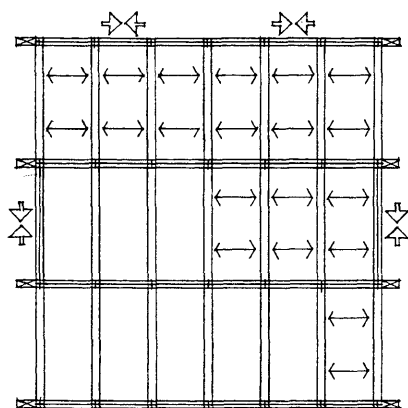


Puente de tres plantas con soporte conjunto: sistema  
perimetral con rigidización individual  
3 pavimentos tipo ponte com todos os pavimentos sobrepostos:  
Sistema de vão livre com reforço modular simples



Puente en todas las plantas mediante la  
construcción de celosías, como rascacielos  
perimetral con pórticos suspendidos  
Todos os pavimentos tipo ponte de construção  
entrelaçada como em arranha-céus de vão livre com  
pórticos fechados suspensos

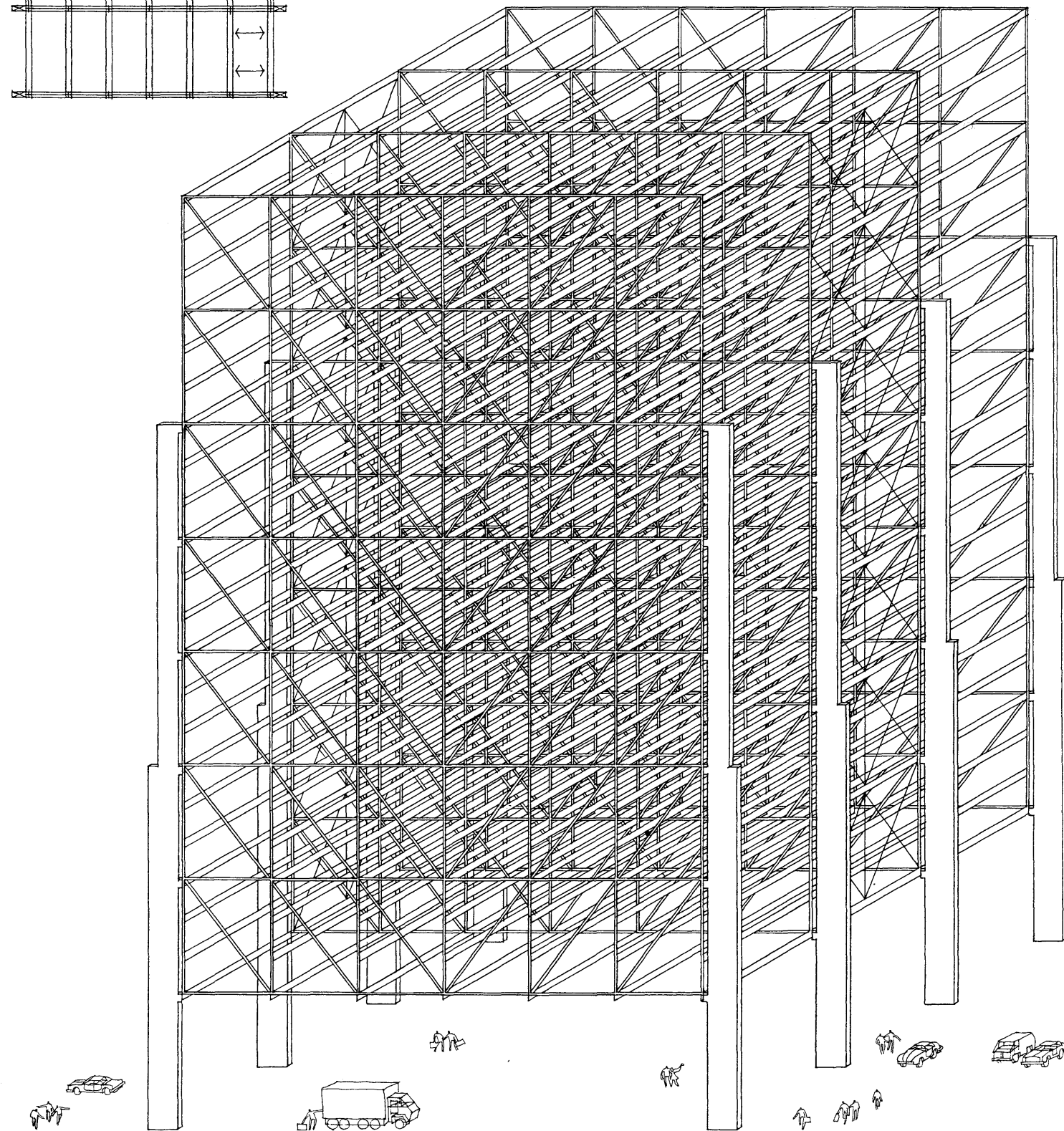


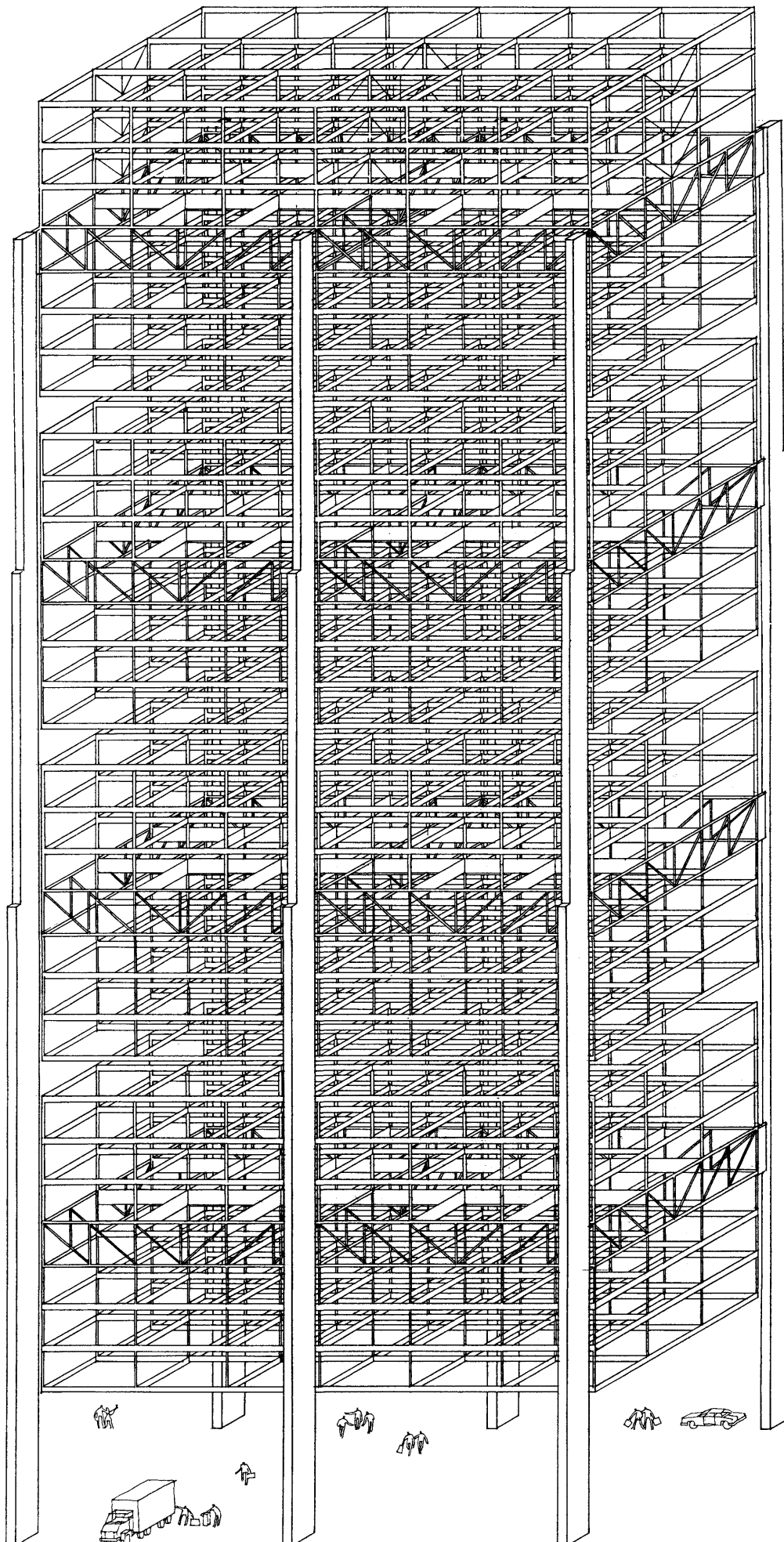


Puente en todas las plantas mediante la construcción de celosías:  
rascacielos reticular con rigidización transversal de los pórticos

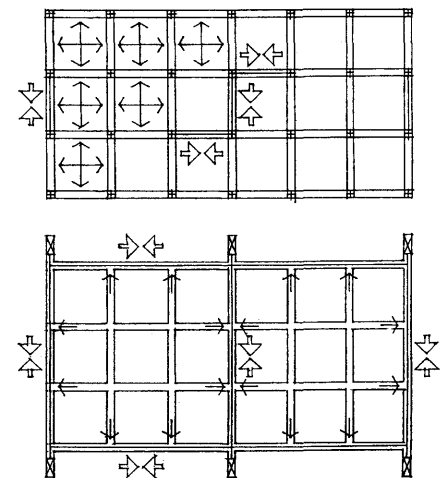
Todos os pavimentos tipo ponte de construção entrelaçada  
como em arranha-céus modulares com reforço modular simples

Rascacielos puente  
Arranha-céus tipo ponte





Rascacielos puente  
 Arranha-céus tipo ponte



Puentes superpuestos de una planta en celosía (= rigidización) cuyas plantas están en parte suspendidas y en parte apoyadas según un sistema reticular

Pontes sobrepostas de pavimento único de construção entrelaçada (=reforço de pavimento) com pavimentos modulares parcialmente sobrepostos e parcialmente suspensos



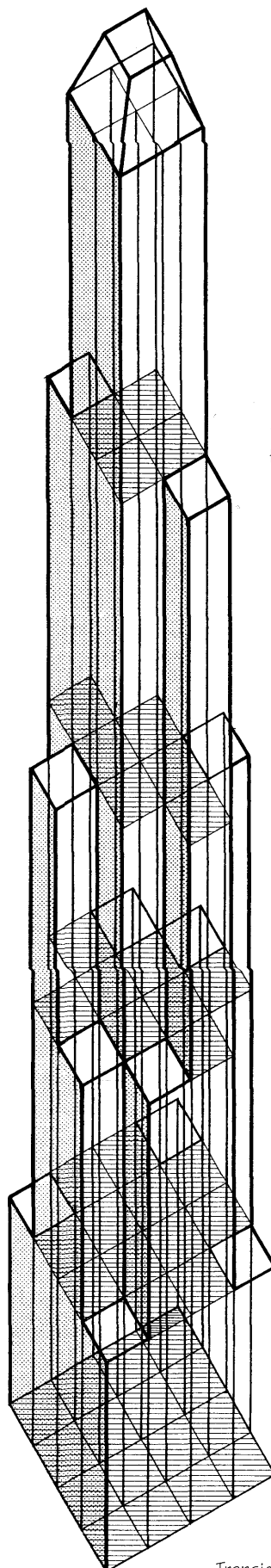
Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos  
Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus

La superposición de plantas idénticas y, con ello, la repetición en altura, es una característica de los sistemas de estructuras de altura activa. Están basados en la transmisión directa y, en consecuencia, más económica, de los esfuerzos cortantes.

Sin embargo, también bajo el requisito de una transmisión sencilla de cargas, son múltiples las posibilidades de establecer una diferenciación en altura modificando el diseño de las plantas, sobre todo, reduciendo el perímetro a medida que aumenta la altura.

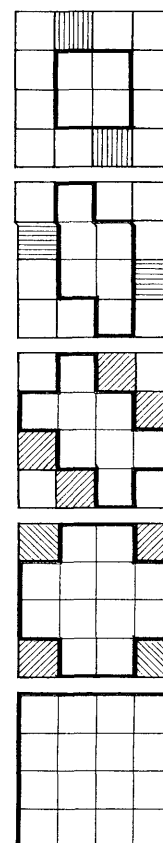
A sucessão de pavimentos idênticos sobrepostos, e portanto a repetição em altura, é uma característica dos sistemas estruturais de altura-ativa. Eles são caracterizados pela transmissão direta de cargas gravitacionais.

Porém, até sob a condição de uma transmissão simples de carga, múltiplas possibilidades de diferenciação de alturas são permitidas através da alteração da configuração da planta de pavimento, principalmente aumentando-se o afastamento da planta em direção ascendente.



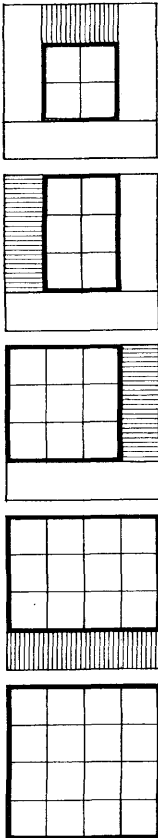
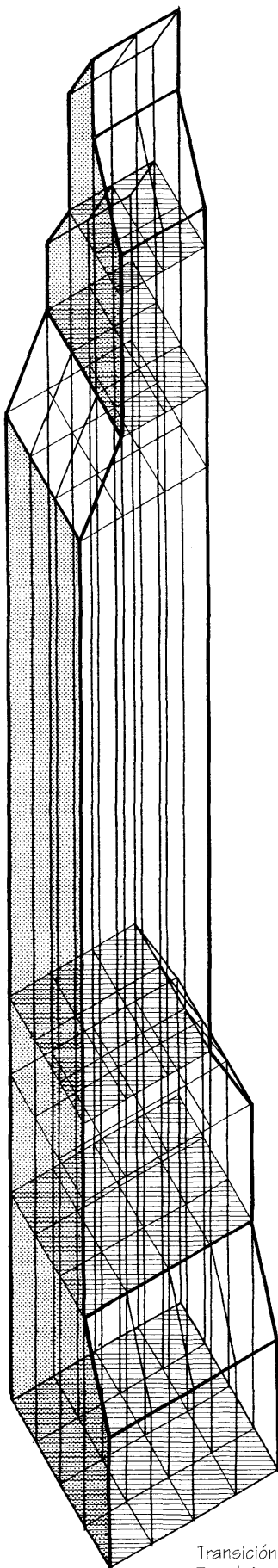
1

Ejemplos de diferentes formas de torres reticulares  
Exemplos de formas de torres de sistema modular

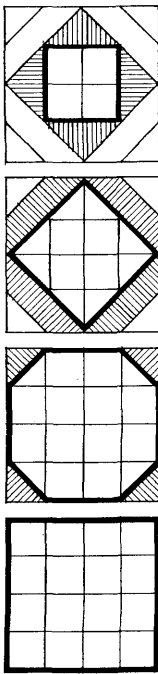
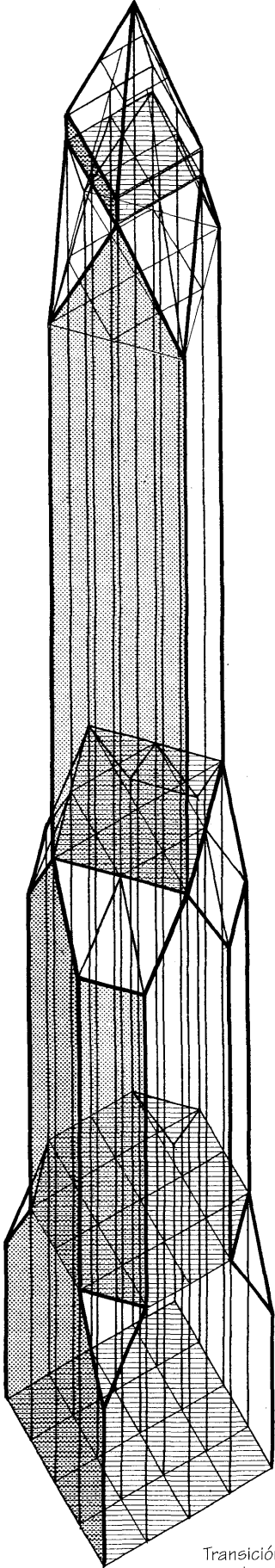


Transición escalonada de plantas asimétricas  
Transição escalonada de plantas assimétricas





Transición de retranqueos por una fachada  
Transição de aumento do afastamento em um lado da planta

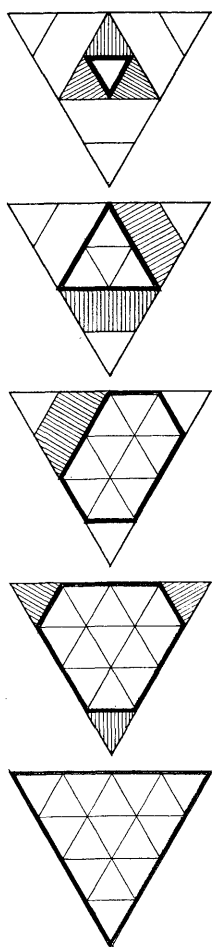
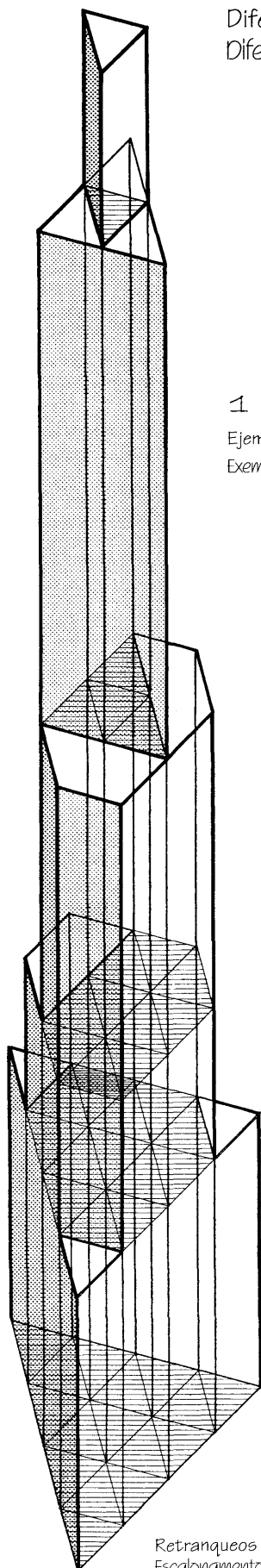


Transición simétrica en diagonal  
Transição de aumento simétrico do afastamento da planta

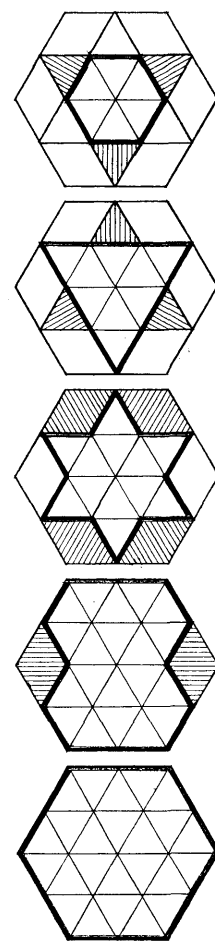
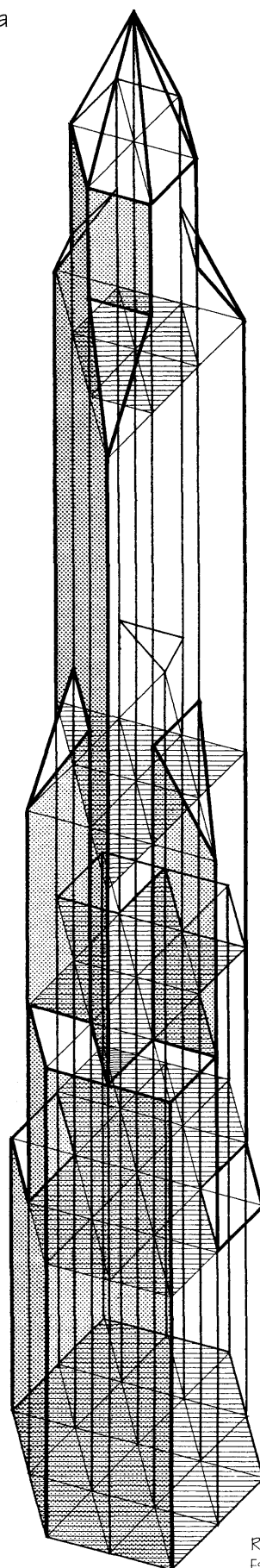
Diferenciación de geometrías en altura  
Diferenciação de geometrias de elevação

1

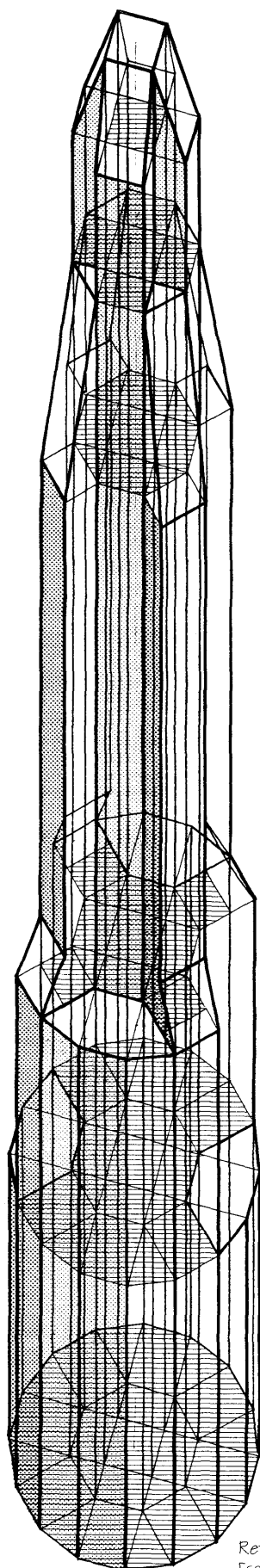
Ejemplos de diferentes formas de torres reticulares  
Exemplos de formas de torres de sistema modular



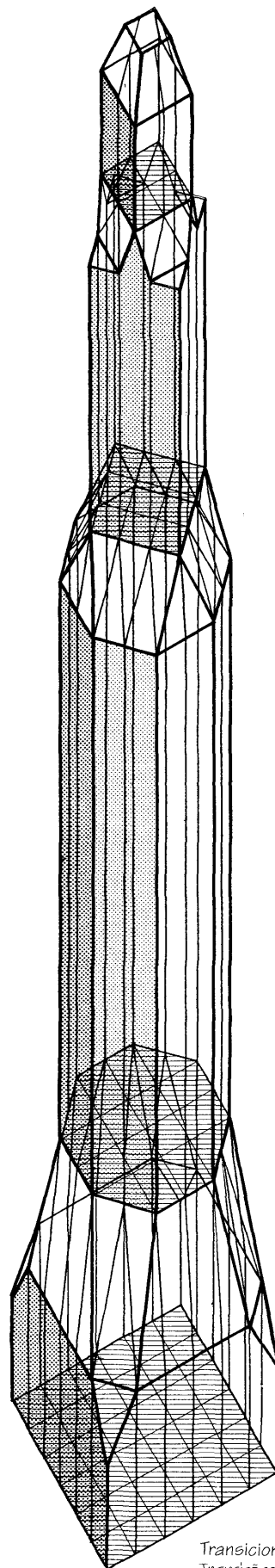
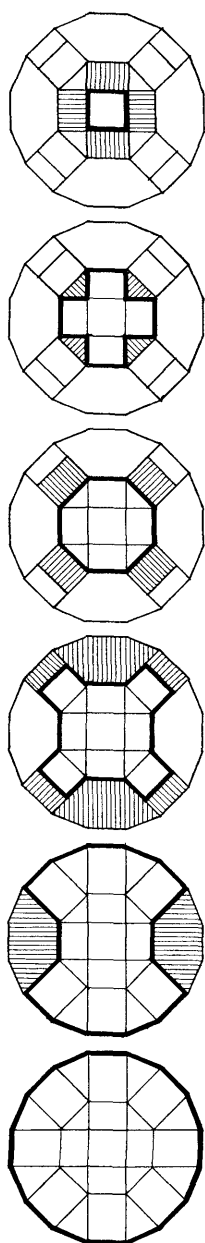
Retranqueos en planta a partir de un triángulo  
Escalonamento do afastamento em planta  
com um triângulo como figura básica



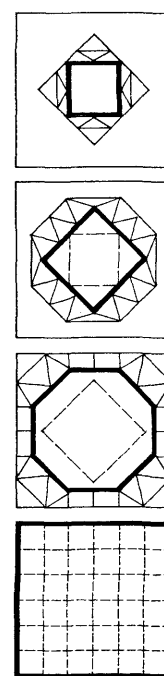
Retranqueos a partir de un hexágono  
Escalonamento do afastamento em planta  
com um hexágono como forma básica



Retranqueos a partir de un círculo  
Escalonamento do afastamento em planta  
com um círculo como forma básica



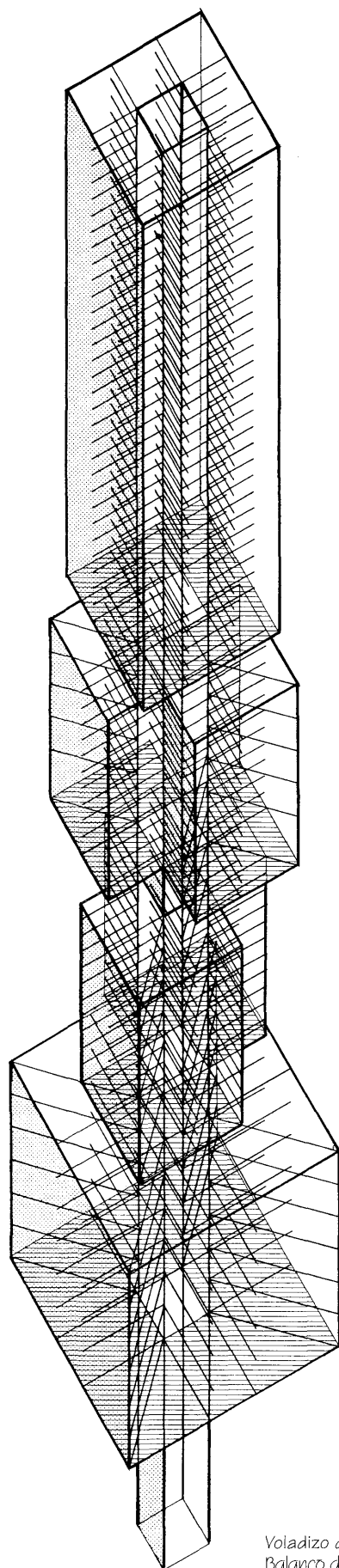
Transiciones graduales a través de varias plantas  
Transições graduais em planta através de vários pavimentos



2

Ejemplos de diferentes formas  
de torres perimetrales

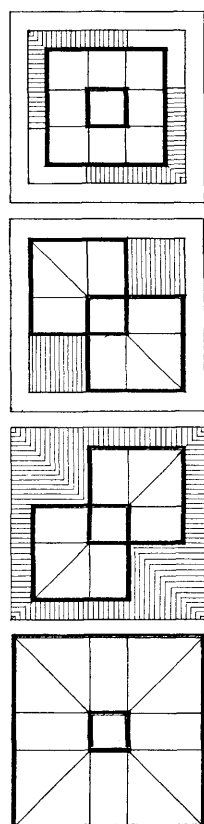
Exemplos de formas de torres de sistema  
de vão livre



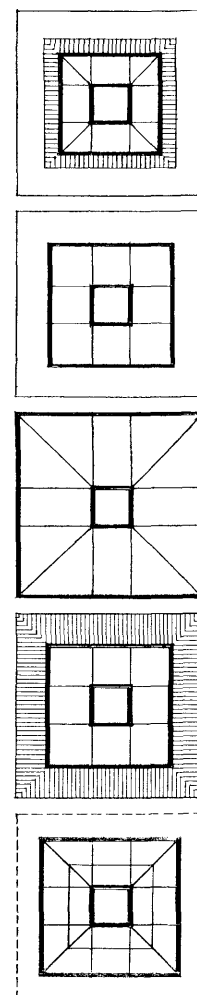
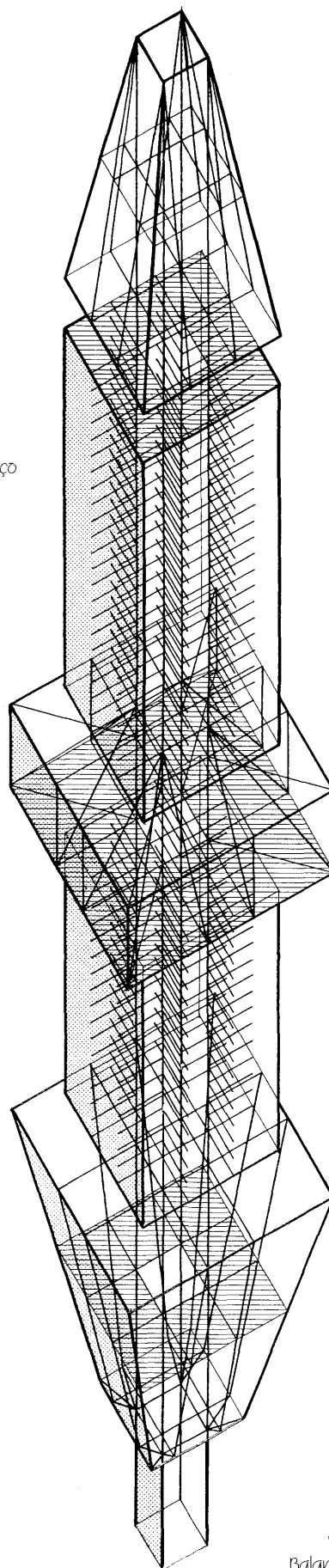
B

Ejemplos de torres con núcleo central

Exemplos de formas de torres de sistema em balanço



Voladizo de varias plantas agrupadas o una por una  
 Balanço de pavimento e de agrupamento de pavimentos

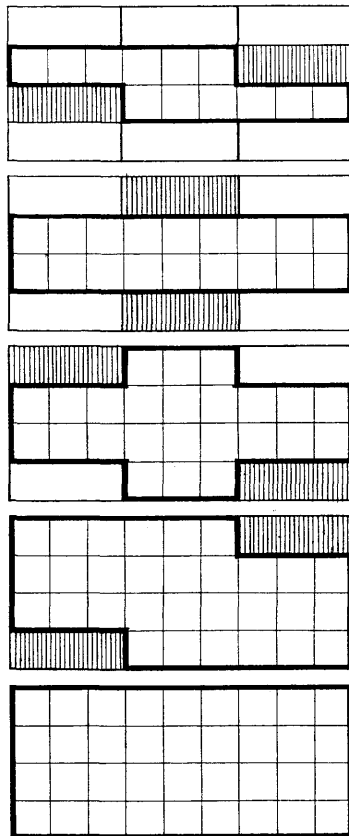


Voladizo / suspensión / apoyo  
 Balanço / suspensão / basculamento

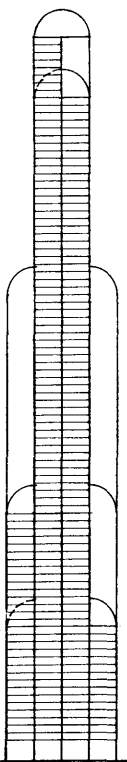
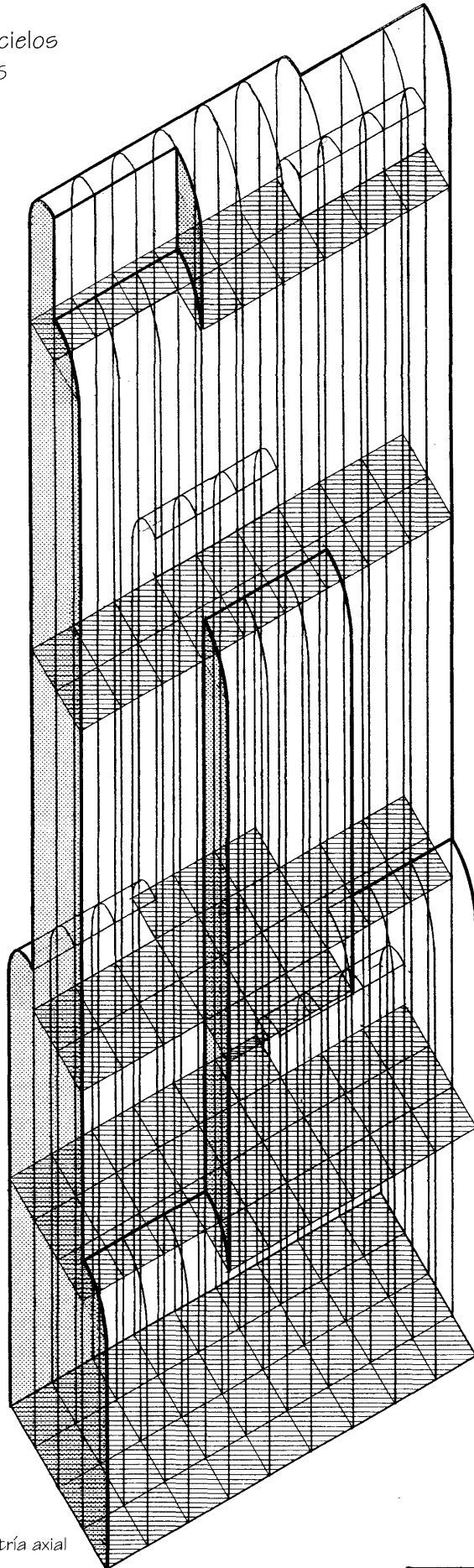
Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos  
 Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus

4

Ejemplos de formas laminares con sistema reticular  
 Exemplos de formas de laje em sistemas modulares



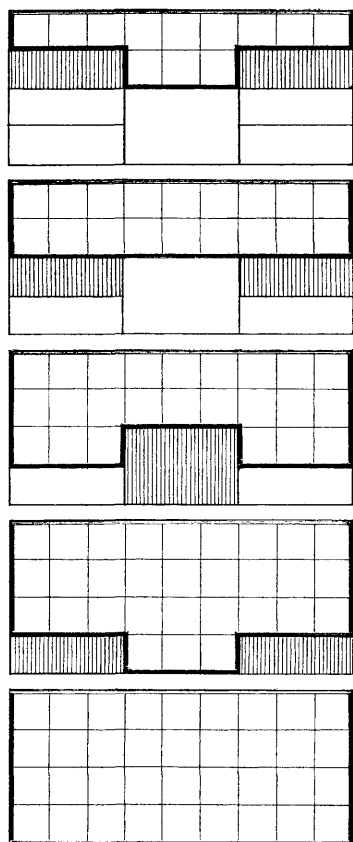
Escalonamiento de las plantas según una simetría axial  
 Transições escalonadas de planta em simetria axial



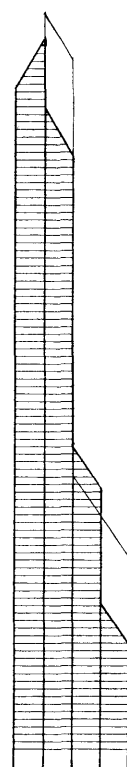
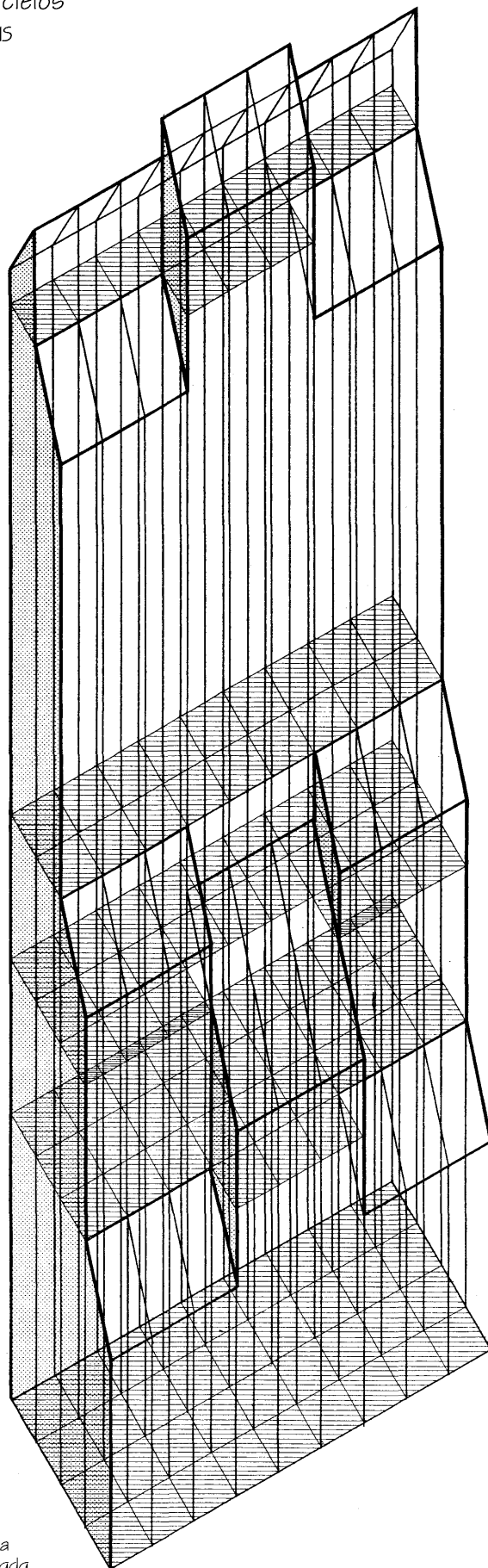
Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos  
 Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus

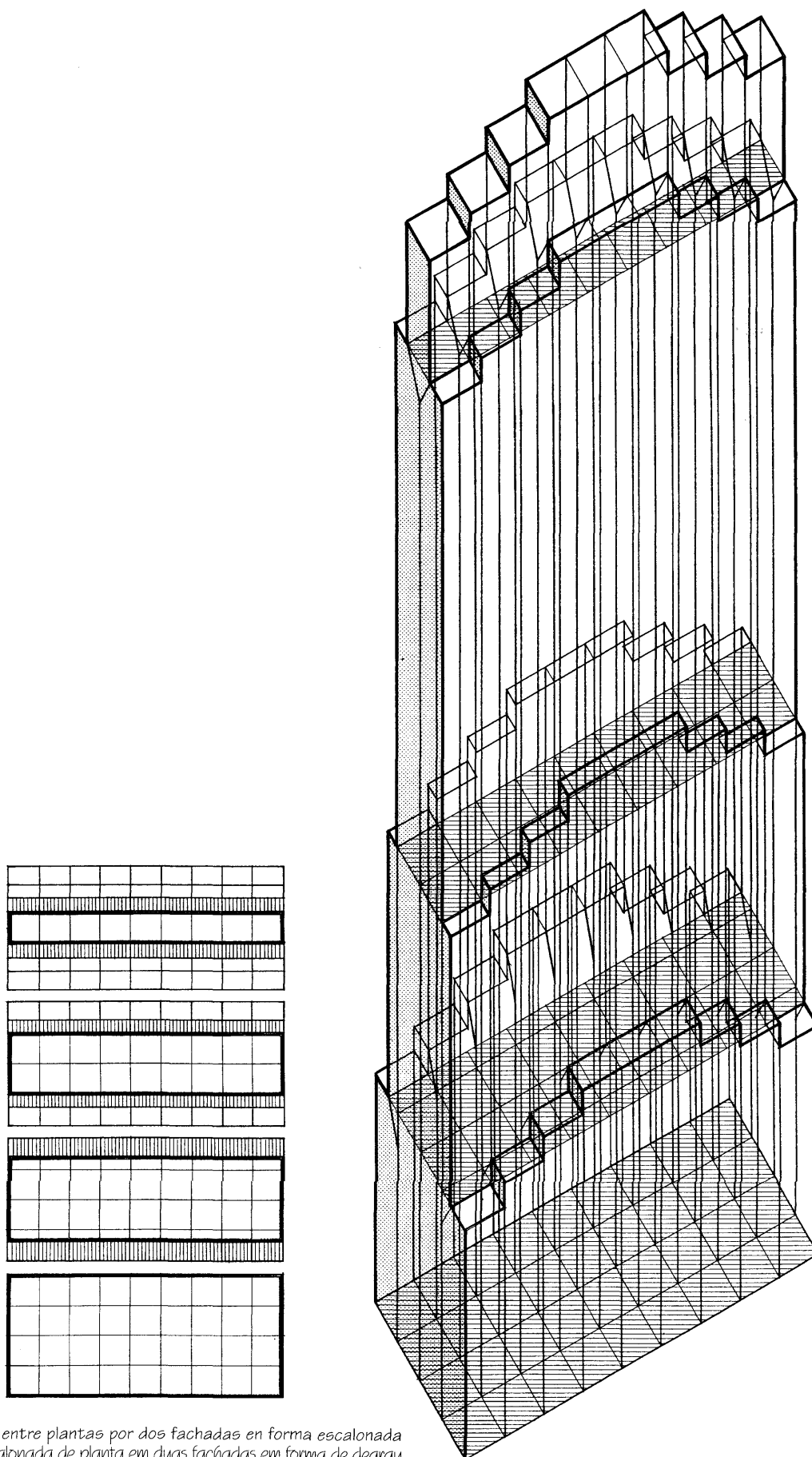
4

Ejemplos de formas laminares con sistema reticular  
 Exemplos de formas de laje em sistemas modulares



Transiciones entre plantas por una sola fachada  
 Transições oblíquas de planta em apenas uma fachada



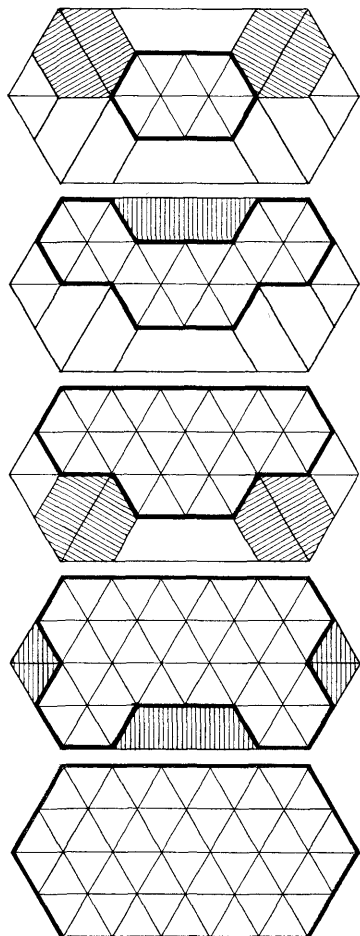


Transiciones entre plantas por dos fachadas en forma escalonada  
Transição escalonada de planta em duas fachadas em forma de degrau

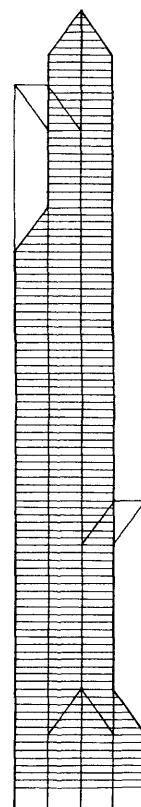
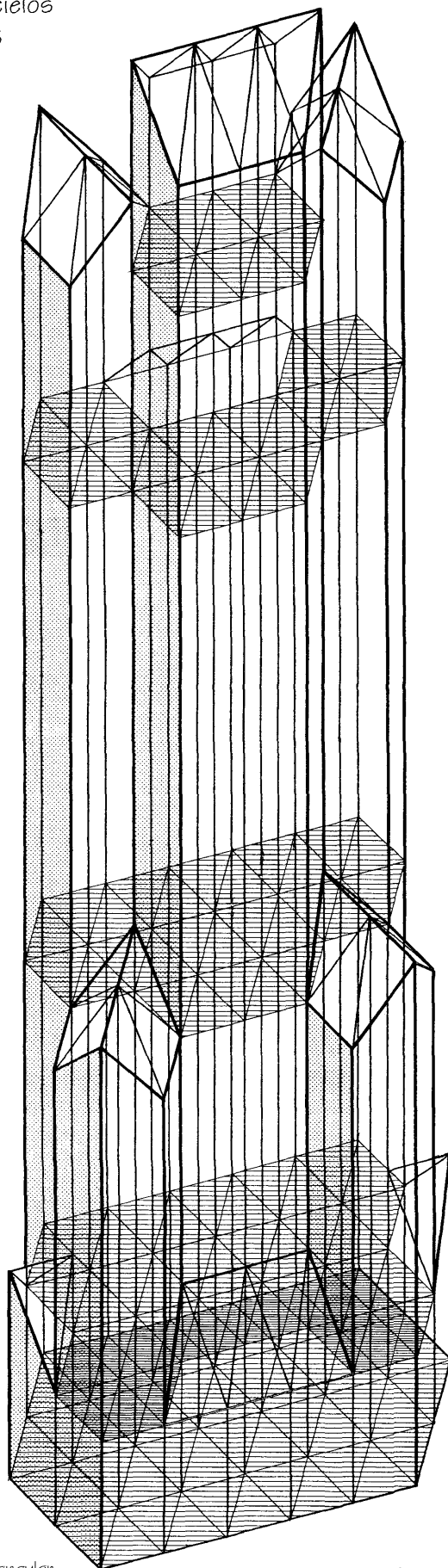
Diferenciación de la geometría en altura de los rascacielos  
 Diferenciação de geometrias de elevação em arranha-céus

4

Ejemplos de formas laminares con sistema reticular  
 Exemplos de formas de laje em sistemas modulares



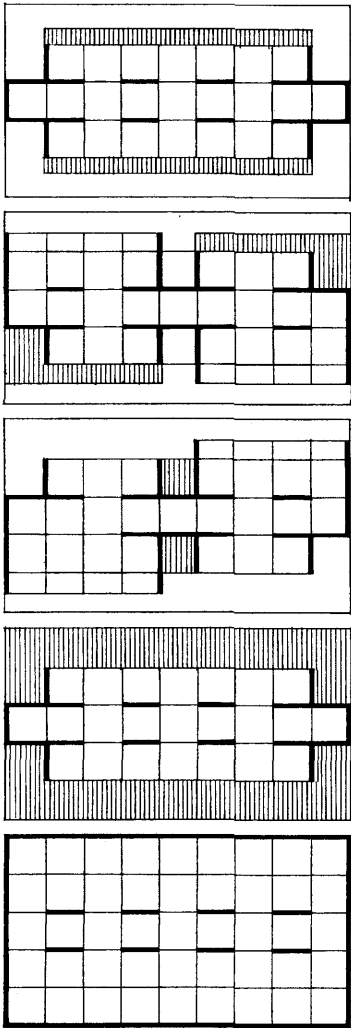
Retranqueos cubiertos a partir de una retícula triangular  
 Afastamentos em planta através da cobertura sobre malha triangular



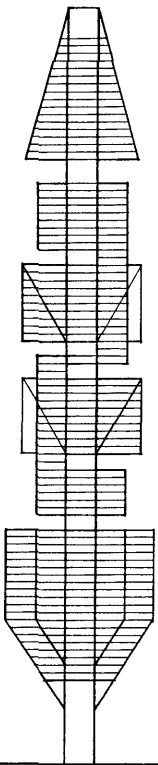
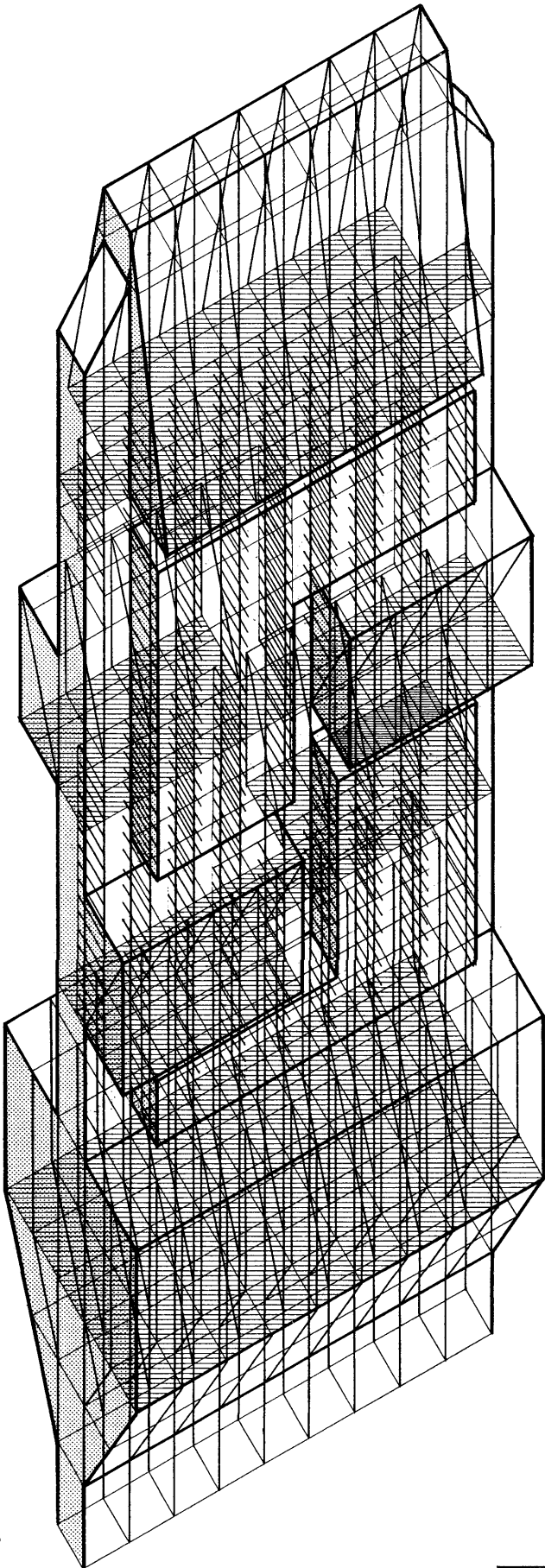


5

Ejemplos de formas laminares con núcleo central  
Exemplo de forma de laje em sistema em balanço



Alternancia de voladizos, suspensiones y apoyos  
Alternância de balanços, suspensão e basculamento





Sistemas de estructuras híbridos  
Sistemas estruturais híbridos

6

Dois sistemas estruturais com mecânicas diferentes de redistribuição de forças podem ser unidos para formar uma construção operacional única com nova mecânica: sistemas estruturais híbridos.

Uma pré-condição para um sistema estrutural híbrido é que os dois sistemas originais em suas funções de sustentação sejam basicamente equipotentes e que em seu novo comportamento sejam dependentes um do outro.

Os sistemas híbridos não devem ser entendidos como combinações de sistemas nos quais um deles tem um papel menor na redistribuição das forças ou em que cada sistema atua separadamente no processo de sustentação, como a recepção de cargas, transmissão de cargas, estabilização, etc.

Os sistemas híbridos não se qualificam como uma única “família” de estruturas ou como um tipo de estrutura característico:

- Eles não possuem um mecanismo inerente de redistribuição de forças
- Eles não desenvolvem uma condição específica de forças atuantes ou esforços
- Eles não apresentam características estruturais típicas próprias

Diferentemente das famílias típicas de estruturas, os sistemas estruturais híbridos são caracterizados não por um mecanismo particular de redistribuição de forças e por uma falta de caracterização das formas estruturais mas por um específico comportamento atuante dos sistemas unidos, e pelo tipo de união dos sistemas resultantes.

A associação de diferentes famílias de estruturas, para formar um único sistema operacional híbrido de construção, torna-se possível através de três tipos básicos de união:

1. União paralela = sobreposição ou alinhamento
2. União sucessiva = acoplamento
3. União cruzada = interseção

Nas uniões dos sistemas híbridos de tipo sobreposição, a redistribuição de forças será realizada coletivamente por dois diferentes sistemas estruturais unidos em paralelo sobre a longitude estrutural completa. Normalmente, a união paralela implica um sistema por cima de outro, mas também um sistema de alinhamento lateral é teoricamente possível.

Nas uniões dos sistemas híbridos de tipo acoplamento, a reorientação de forças será realizada nas diferentes estruturas de sistemas selecionadas segundo as exigências mecânicas prevalentes nas várias seções da longitude estrutural e unidas sucessivamente uma após a outra. Desta maneira, os acoplamentos múltiplos também são possíveis.

Uma união híbrida pode também ser efetiva por possuir elementos de um tipo de estrutura cruzando aqueles outros que formam um tipo de malha. Este tipo de união, porém, permanece pouco conhecido na teoria e na prática, e por isso não será aceito como uma alternativa válida.

Um grande campo de aplicação dos sistemas estruturais híbridos é proporcionado em particular através da combinação de vigas lineares de vetor-ativo ou seção-ativa com estruturas de cabos:

- Sistemas com apoios de cabos externos
- Sistemas com cabos tracionados integrados

Sua fronteira como os sistemas pré-tensionados de simples e, em ocasiões, parcial extensão do cabo de tensão é bastante difusa.

O potencial dos sistemas estruturais híbridos todavia não deve ser visto como a mera união da capacidade de suporte dos dois sistemas, mas sim em suas possibilidades sinérgicas que decorrem da exploração das diferenças dos sistemas:

- Compensação recíproca dos esforços críticos
- Sistema de função dupla ou múltipla dos sistemas componentes individuais
- Aumento em rigidez através de sistemas de deflexão oposta

Projetar sistemas estruturais híbridos é preocupar-se essencialmente com dois objetivos:

1. Criar uma identidade pouco comum entre dois sistemas independentes em sentido mecânico e estético
2. Aproveitar as relações sinérgicas entre os sistemas de famílias

Para dominar estas tarefas é necessário um profundo conhecimento de todos os sistemas estruturais, especialmente dominar a visualização de cada fluxo de forças e sua forma de deflexão sob as variações de cargas.

Os sistemas híbridos estruturais são particularmente apropriados para edifícios expostos a esforços extremos: estruturas de grandes vãos e arranha-céus. Neste campo, as possibilidades de resultado da união de dois sistemas com componentes de esforço e forma de deflexões de características opostas ainda têm que ser descobertas.

Embora a causalidade dos sistemas híbridos seja inquestionável, considerações estéticas e visuais podem tornar-se o princípio e a meta final para o desenvolvimento de novos sistemas híbridos; tal possibilidade de projeto tem ainda um amplo campo inexplorado.

Da união de diferentes estruturas, cada uma com as suas características mecânicas e formais próprias, evoluem promissores significados e possibilidades de desenvolvimento de novos sistemas estruturais de alto nível de comportamento e com novos impulsos para o projeto da forma ou espaço em arquitetura.

Os sistemas estruturais híbridos ocupam portanto um campo particular dentro da teoria das estruturas. Embora não comandem seu próprio mecanismo e conseqüentemente não sejam qualificados como um tipo de sistema, dispõem de um potencial sinérgico, assim como de uma infinita variedade de possibilidades de combinações, suficientes para formar, apesar de suas diferenças, uma importante rama separada dos sistemas estruturais.

## SISTEMAS DE ESTRUCTURAS HÍBRIDOS

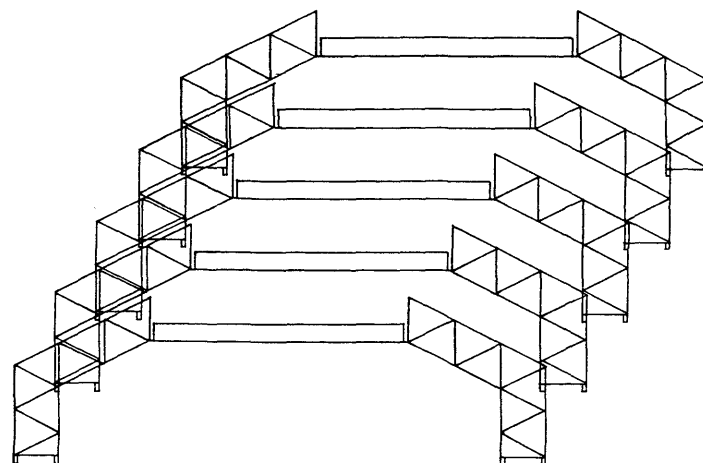
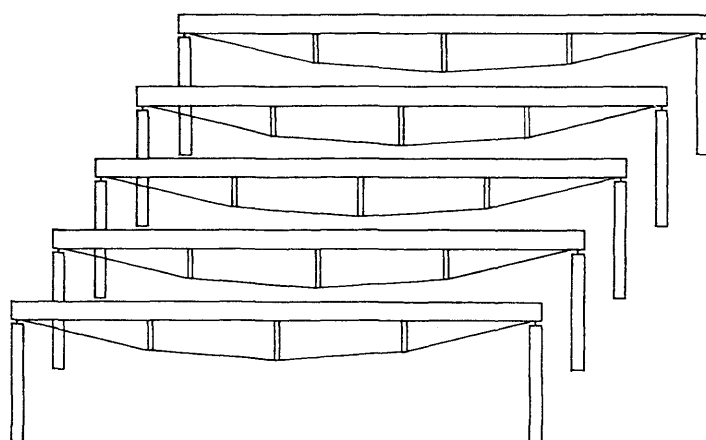
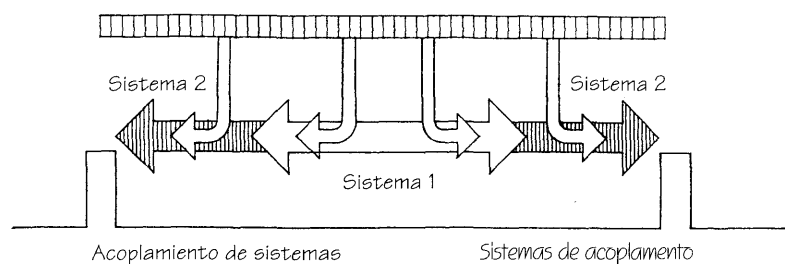
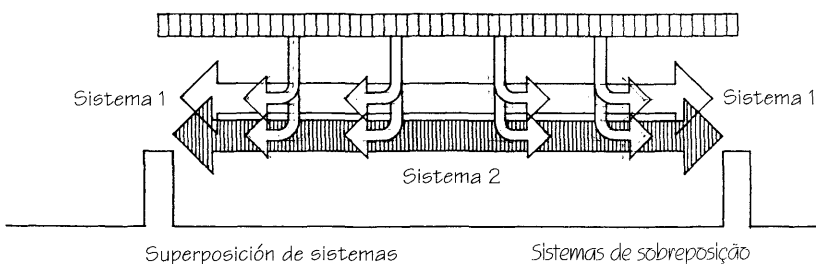
son sistemas en los que la transmisión de cargas se realiza mediante la acción conjunta de dos o más mecanismos de diferentes tipos estructurales, básicamente equivalentes en cuanto a su función portante.

La acción conjunta se consigue a través de dos posibles maneras de relación: SUPERPOSICIÓN o ACOPLAMIENTO.

## SISTEMAS ESTRUTURAIS HÍBRIDOS

São sistemas nos quais a redistribuição de forças é efetuada através da ação conjunta de dois ou vários mecanismos de diferentes "famílias" de estruturas exercendo função estrutural basicamente equipotente.

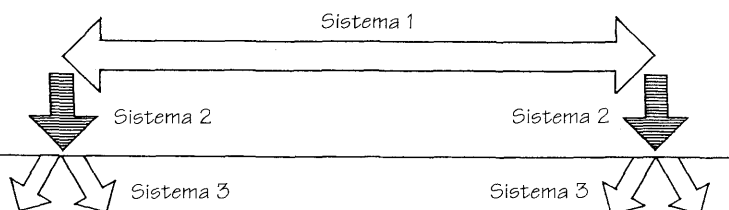
A ação conjunta é realizada por dois possíveis tipos de sistemas de união: SOBREPOSIÇÃO ou ACOPLAMENTO.

Definición de "híbrido"  
Definição de "híbrido"

## Delimitaciones terminológicas

## Denominación incorrecta de sistemas "híbridos"

Entre los sistemas de estructuras híbridos NO deben incluirse aquellos sistemas en que la función individual de los componentes del sistema estructural (absorción y transmisión de cargas, estabilización, etc.) las efectúan estructuras de diferentes tipos estructurales.



## Malinterpretación de sistemas estructurales híbridos

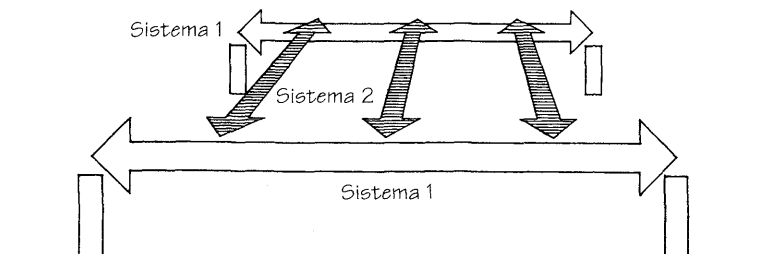
Los sistemas estructurales híbridos NO pueden considerarse como una "FAMILIA" estructural independiente o como un "TIPO" estructural definido:

- 1 No poseen ningún mecanismo típico de transmisión de cargas.
- 2 No presentan ningún estado característico de tensiones o esfuerzos.
- 3 No disponen de ninguna característica estructural.

## Demarcações terminológicas

## Denominação inadequada de "híbridos"

Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser entendidos como sistemas nos quais as funções individuais dos componentes estruturais (absorção de cargas, transmissão de cargas, descarga de cargas, estabilizações, etc.) são feitas por sistemas pertencentes a diferentes "famílias" de estruturas.

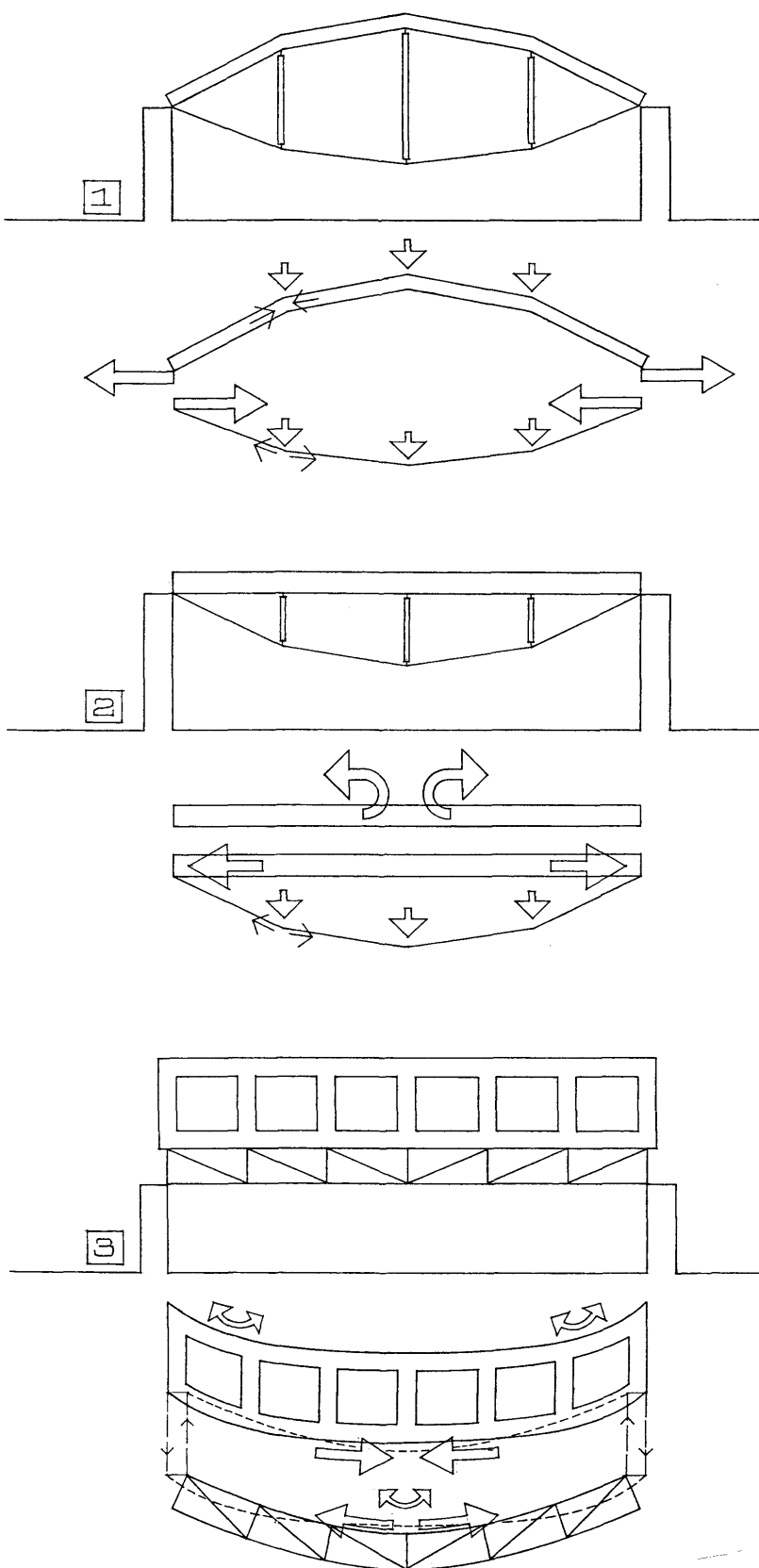


## Má interpretação dos sistemas estruturais híbridos

Os sistemas estruturais híbridos NÃO devem ser qualificados como uma "FAMILIA" de estruturas ou como uma estrutura "TIPO" definível por específicas características estruturais:

- 1 Eles não possuem um mecanismo inerente de redistribuição de forças.
- 2 Eles não desenvolvem uma condição específica para forças atuantes ou esforços.
- 3 Eles não apresentam características estruturais típicas.

## Potencial de los sistemas híbridos de superposición



## Compensación y fuerzas críticas

Mediante la superposición, se pueden reducir o compensar totalmente las fuerzas críticas de un sistema con las del otro. Ejemplo: Fuerzas horizontales en dirección opuesta en los soportes de un arco y un cable de suspensión.

## Compensação de forças críticas

Através da sobreposição, as forças críticas de um sistema podem ser diminuídas ou totalmente compensadas pelas forças opostas do outro. Exemplo: Forças horizontais em direções opostas nos apoios do arco e cabos de suspensão.

## Función estructural múltiple

Mediante la superposición es posible asignar a los elementos estructurales diferentes funciones del sistema estructural conjunto. Ejemplo: Funciones del cordón superior + como viga continua a flexión + como barra a tracción del sistema de suspensión.

## Multi-função estrutural

Através da sobreposição é possível conceder ao componente estrutural individual diferentes funções dos sistemas sobrepostos. Exemplo: Função da corda de topo + como viga continua em flexão + como barra à tração do sistema de suspensão.

## Reducción de la deformación

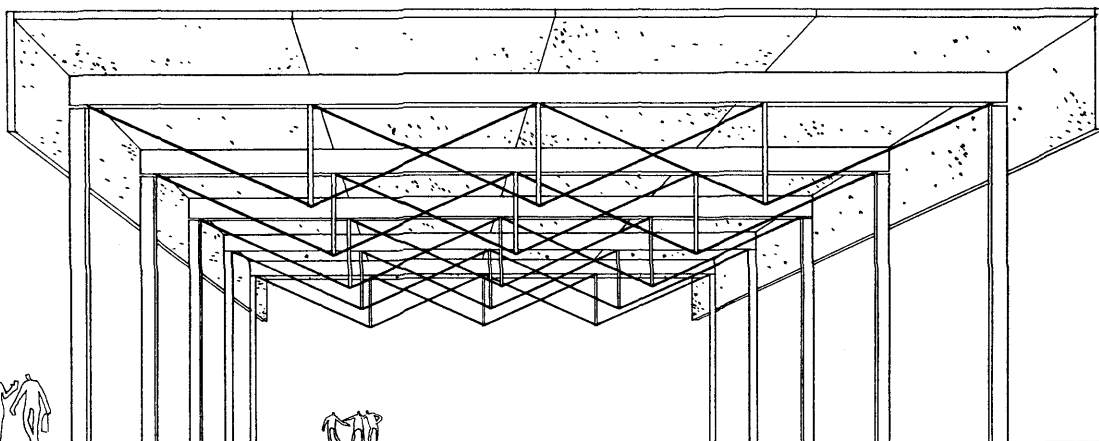
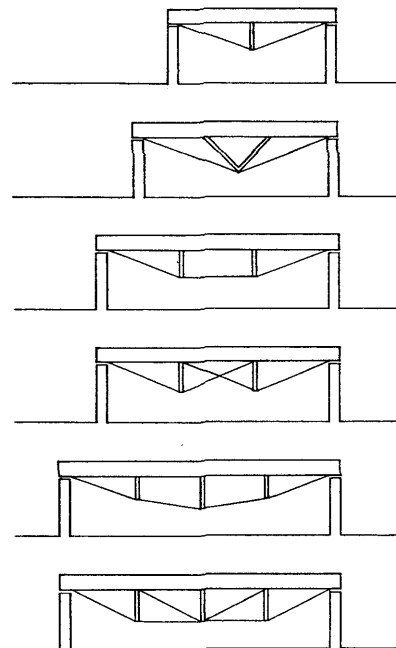
Mediante la superposición de sistemas con un comportamiento de deformación opuesto se reduce la deformación total. Ejemplo: estructura de pórticos con máxima deformación (= esfuerzos horizontales) en los lados y una viga de celosía con máxima deformación (= flexión) en el centro.

## Redução de deformação

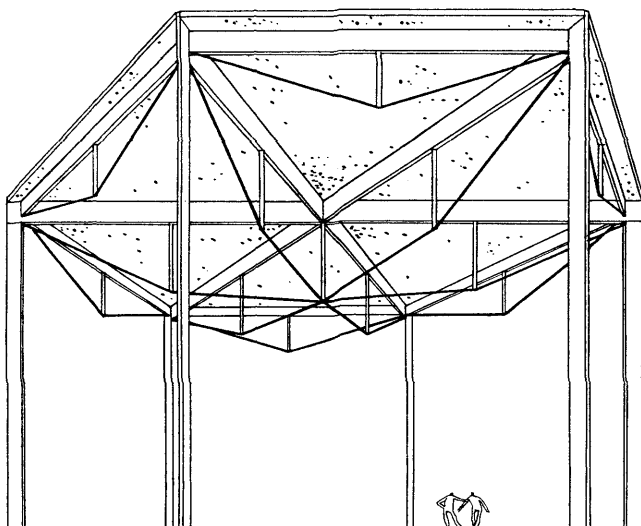
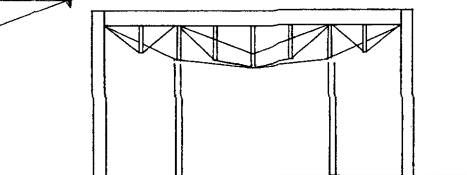
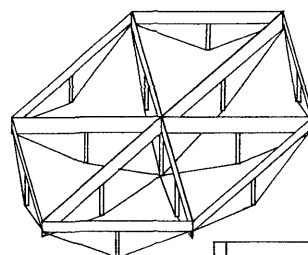
Através da sobreposição de sistemas com comportamentos de deflexão opostos, a deformação de um sistema será detida pelo outro. Exemplo: estrutura de pórtico rígido com deformação máxima (= cisalhamento vertical) em ambas as extremidades e viga entrelaçada com deformação máxima no meio (= flexão).

Superposición de sistemas de estructuras de sección activa y de forma activa  
 Sobreposição de sistemas estruturais de seção-ativa e forma-ativa

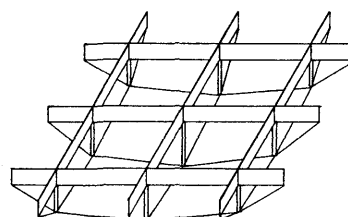
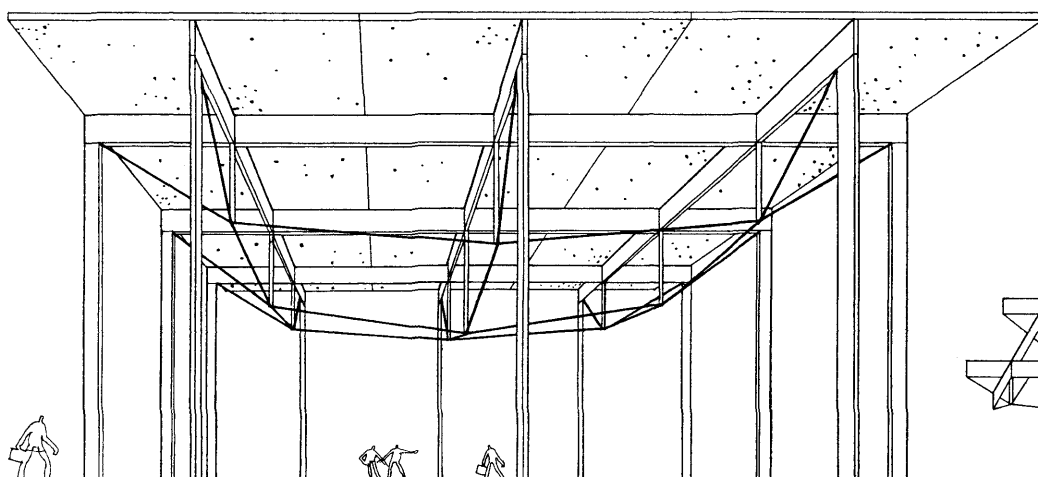
Pórticos atirantados por debajo / Vigas suportadas por cabos



Pórticos en paralelo atirantados por debajo / Vigas paralelas atirantadas no lado inferior



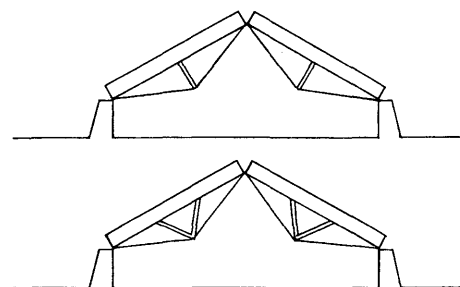
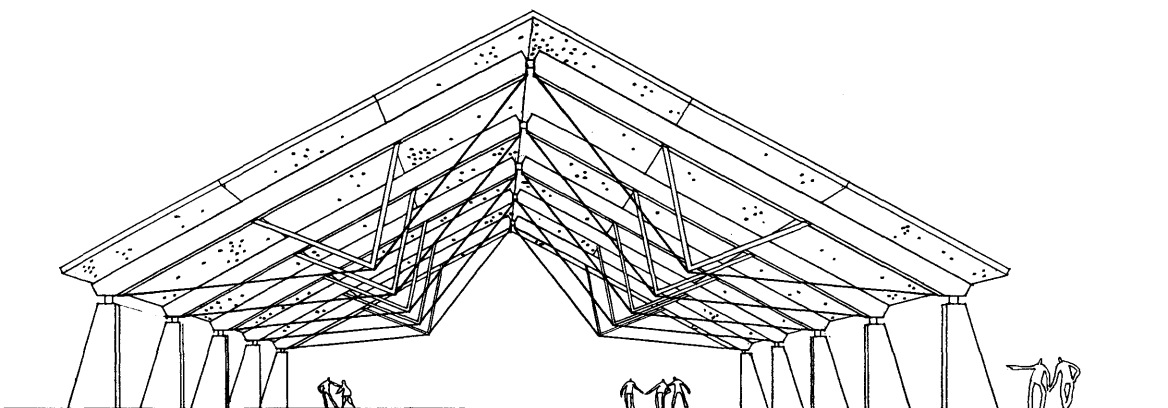
Pórticos atirantados por debajo situados de manera concéntrica  
 Vigas em arranjo concêntrico atirantadas no lado inferior



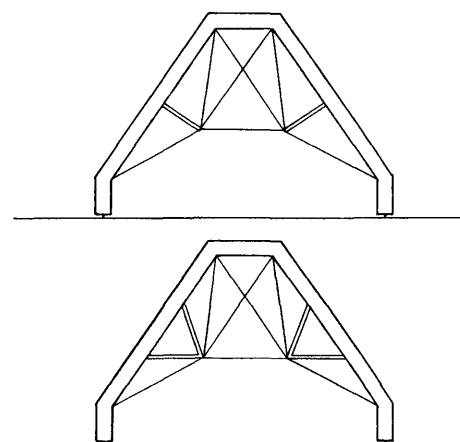
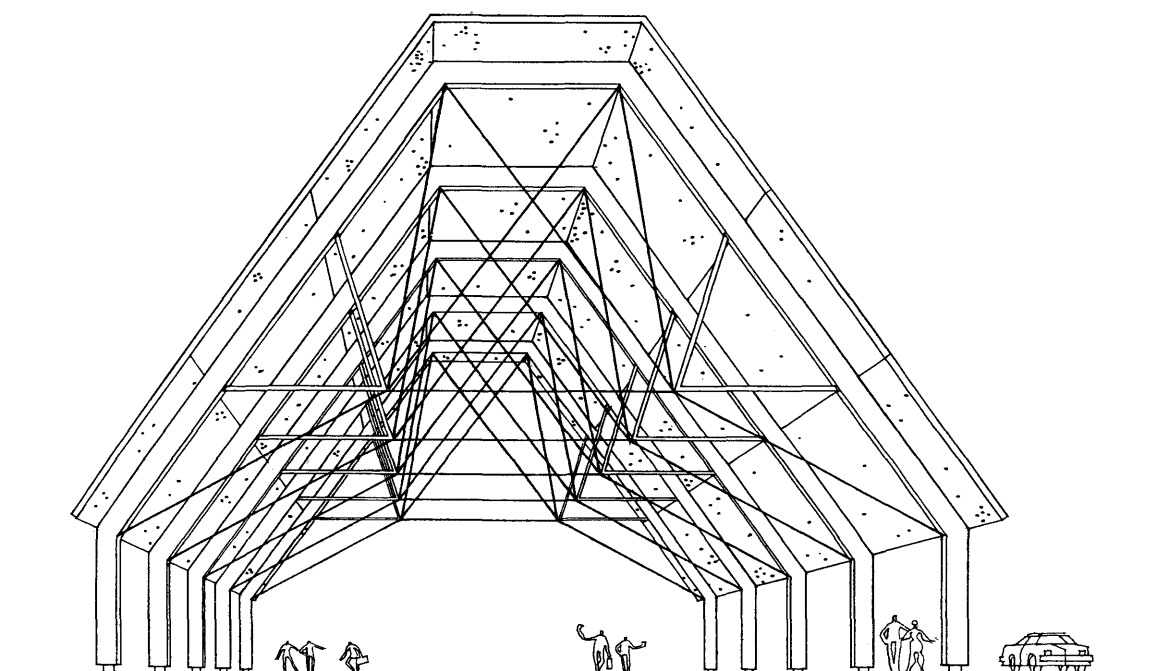
Retícula de cables atirantados por debajo  
 Malha de vigas atirantadas

Superposición de sistemas de estructuras de sección activa y de forma activa

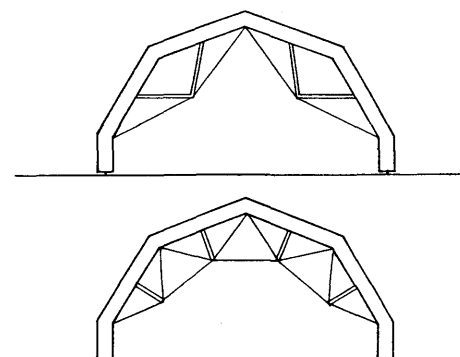
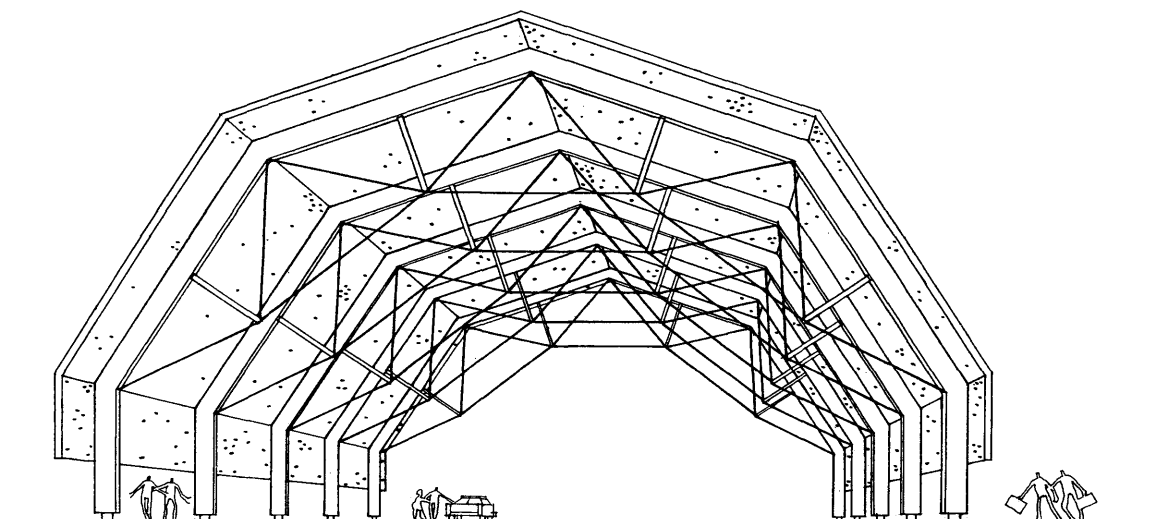
Pórticos articulados atirantados por arriba o por debajo



Pórticos triarticulados atirantados  
por debajo  
Pórtico triarticulado atirantado



Pórticos biarticulados en forma de  
arco y atirantado por debajo  
Pórtico de arco biarticulado atirantado

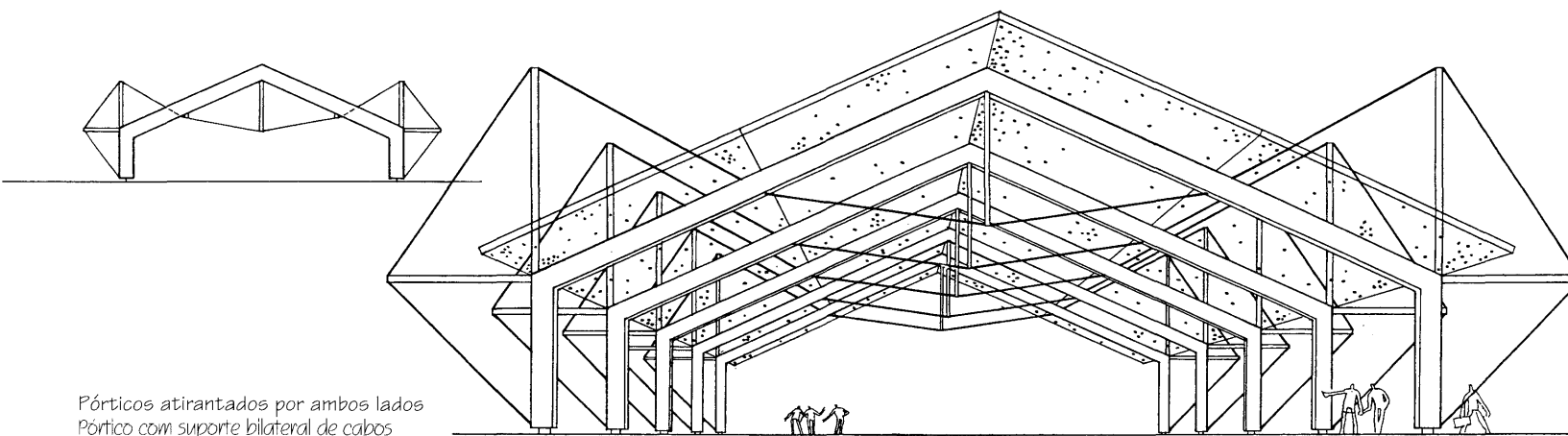
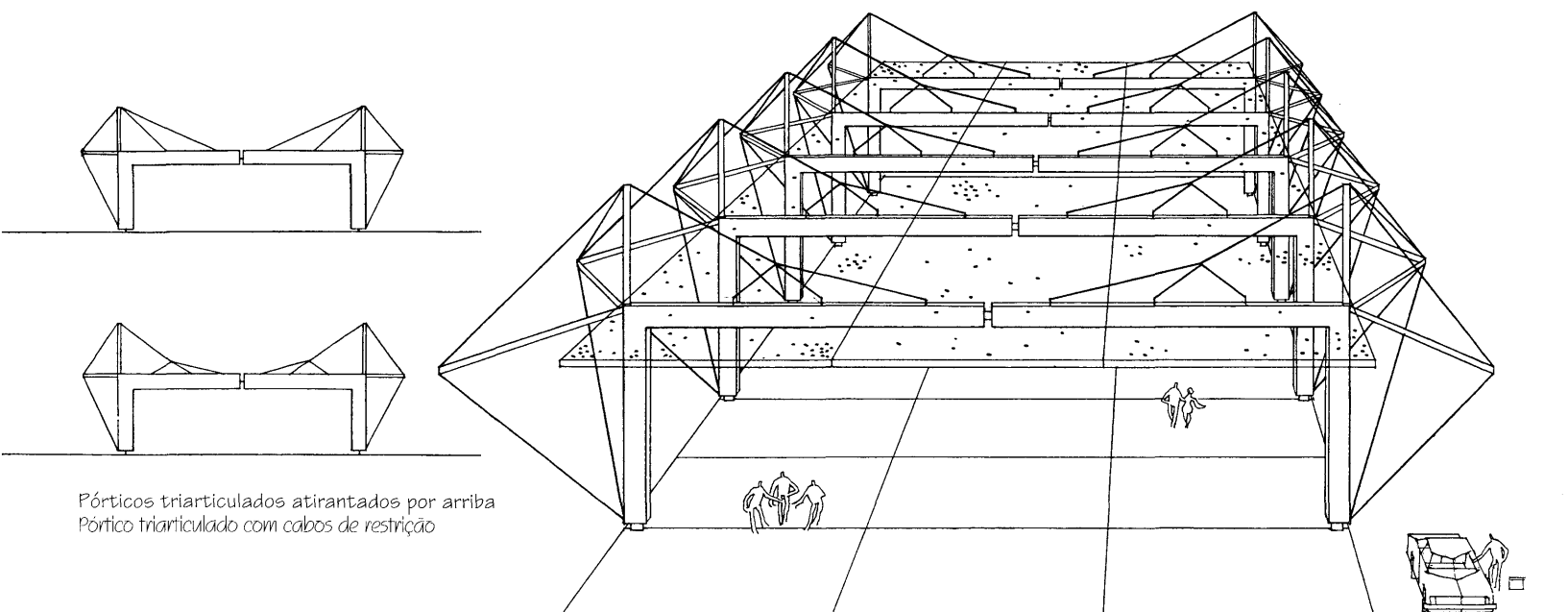
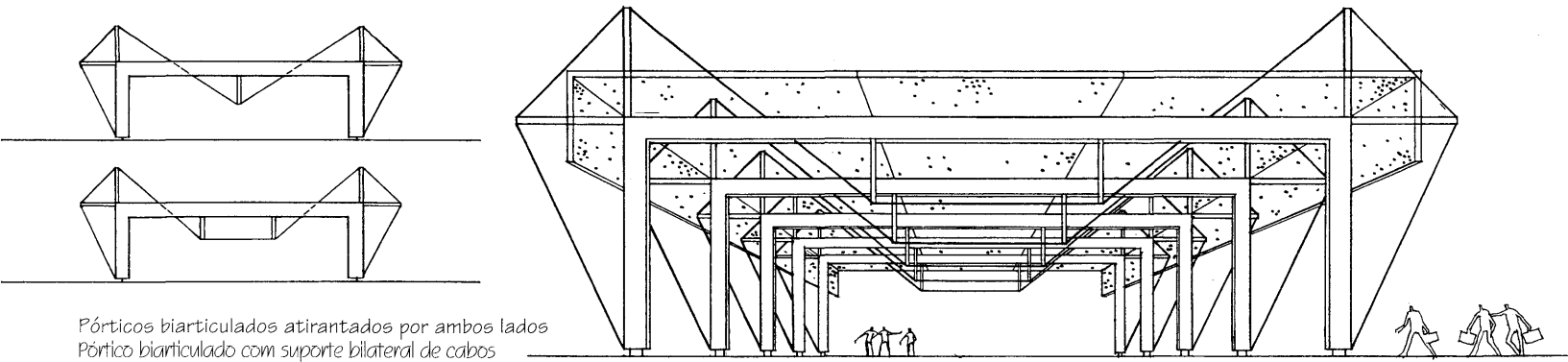


Pórticos biarticulados de forma  
poligonal y atirantado por debajo  
Pórtico poligonal biarticulado atirantado



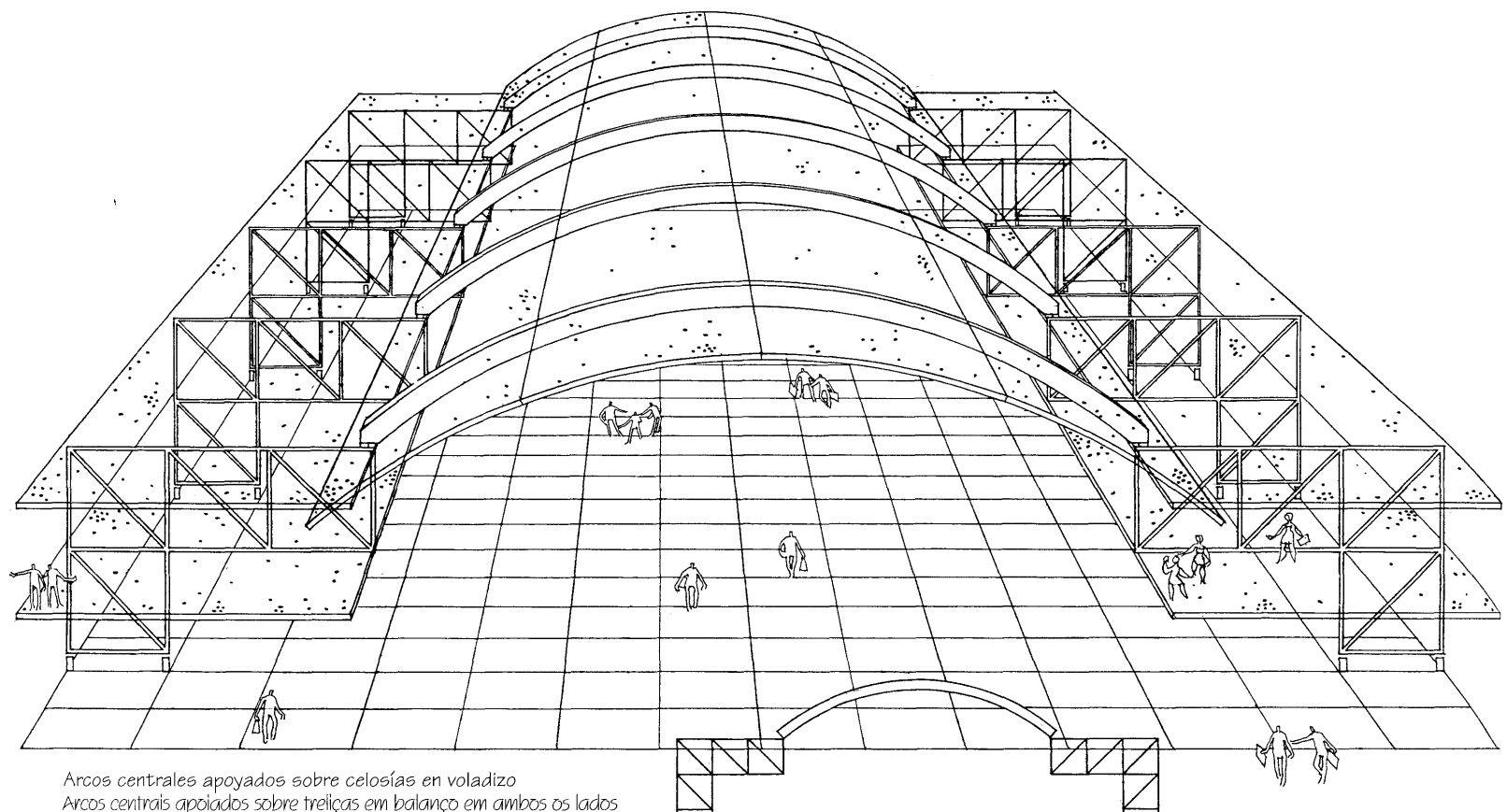
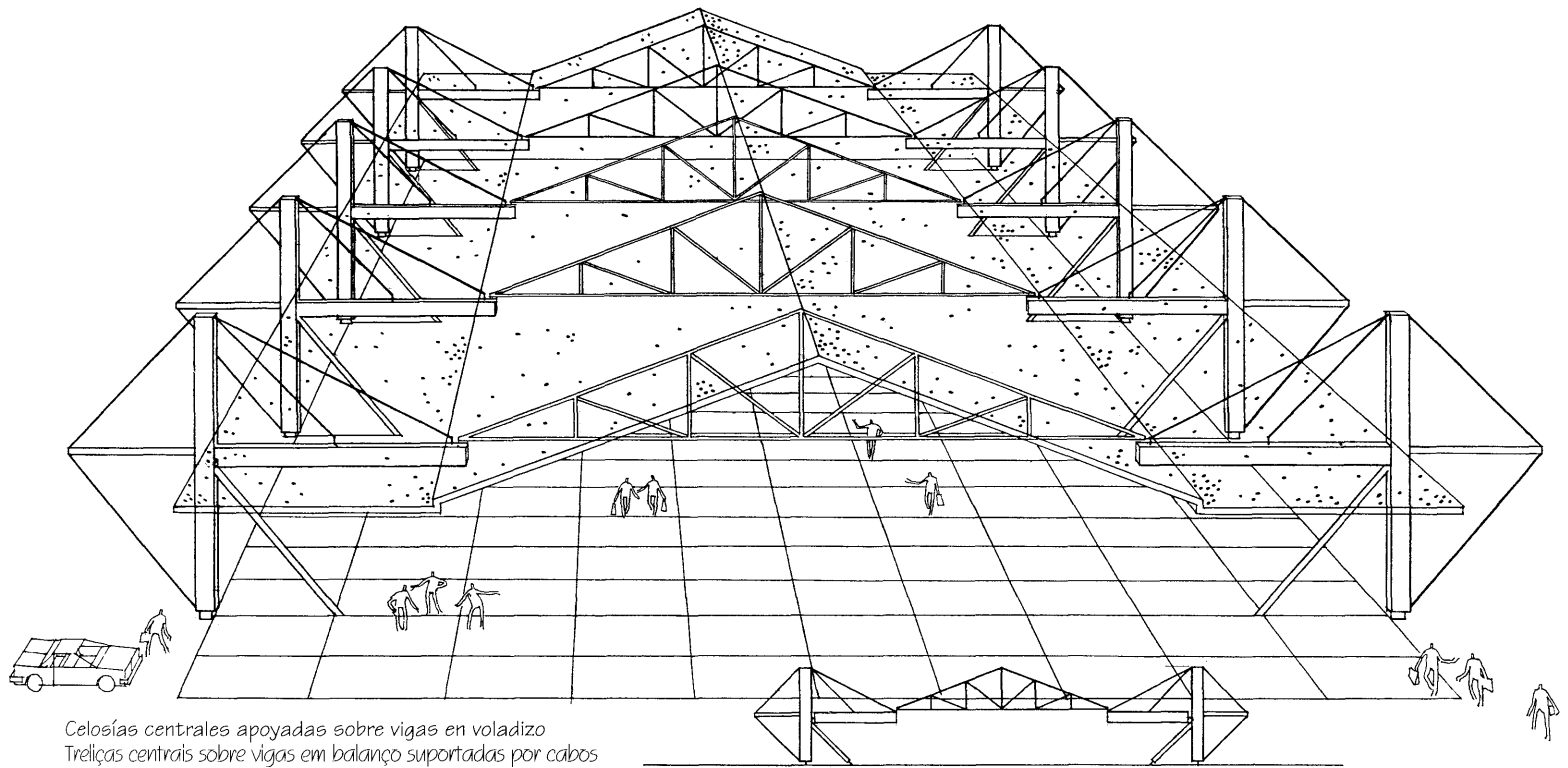
## Sobreposição de sistemas estruturais de seção-ativa e forma-ativa

Pórticos articulados suportados por cabos

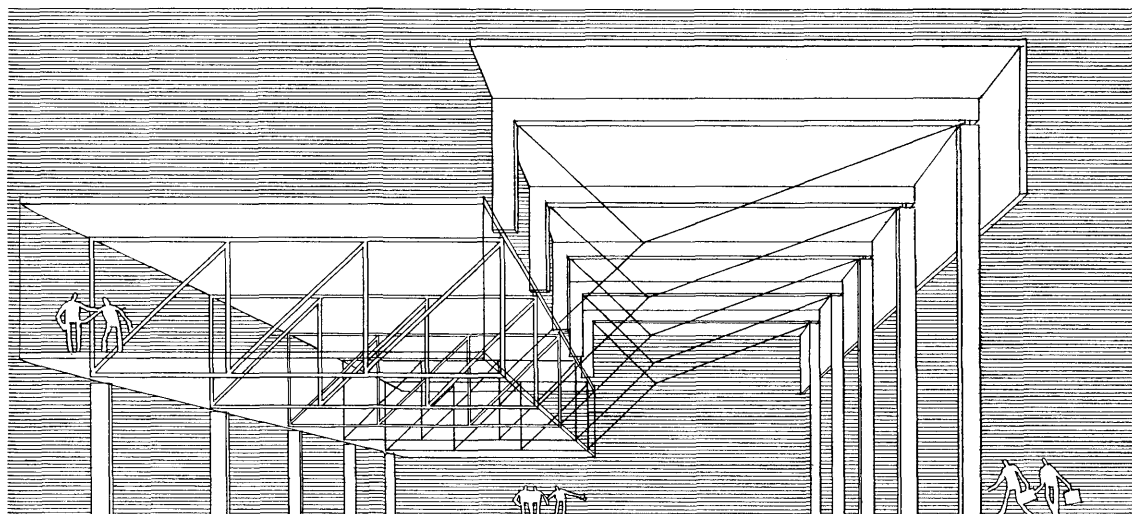


Acoplamiento de diferentes sistemas de estructuras:  
sistemas de forma activa y de vector activo

Acoplamento de diferentes sistemas estruturais  
Sistemas de forma-ativa e vetor-ativo

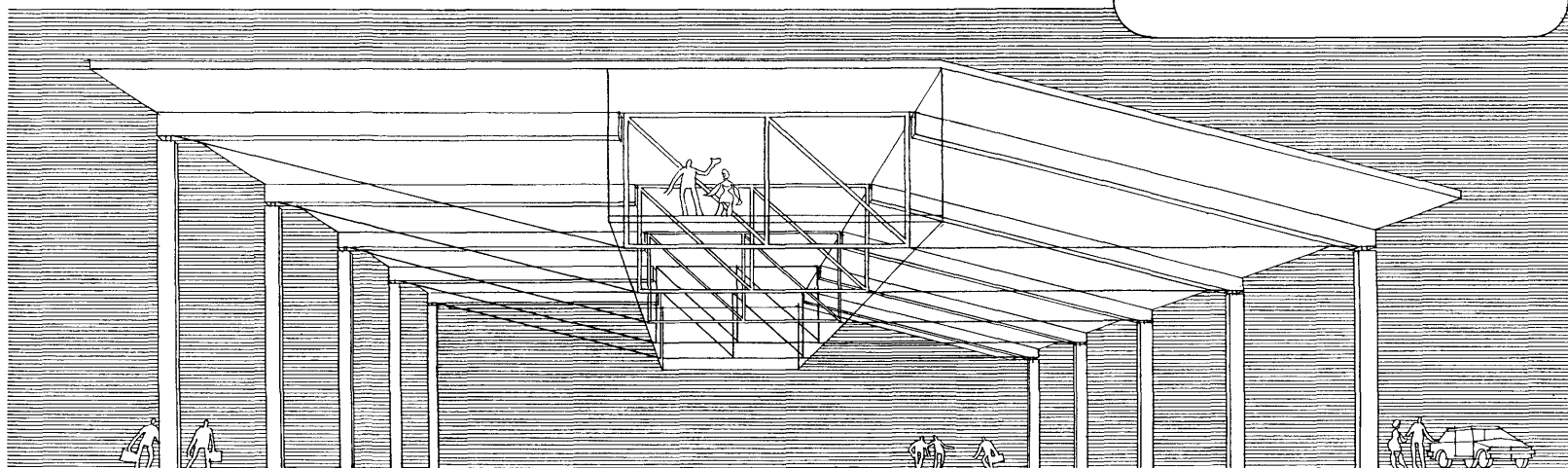
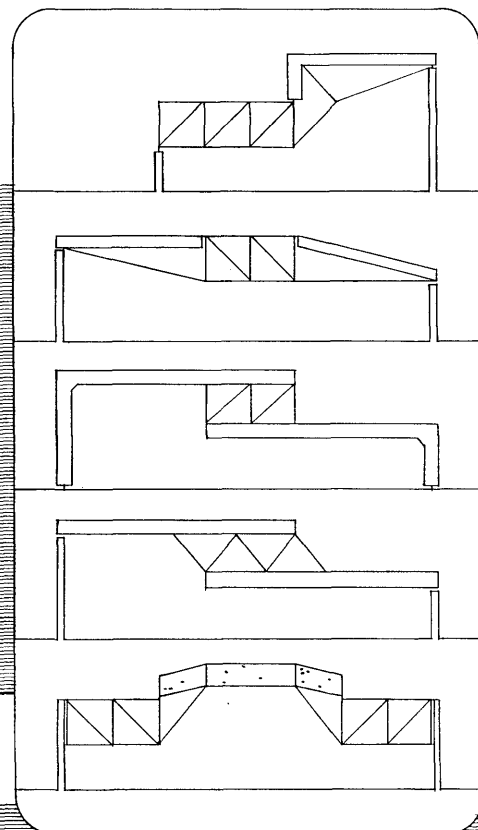


Combinación de superposición y acoplamiento de sistemas de estructuras  
 Combinação de sobreposição e acoplamento de sistemas estruturais



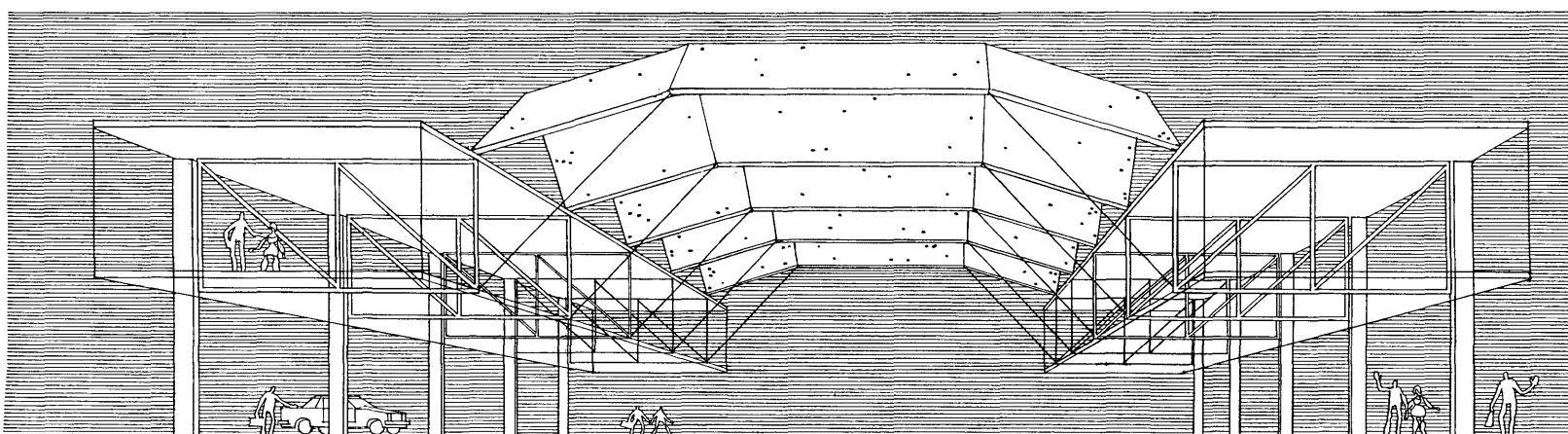
Celosías y pórticos atirantados por debajo

Pórtico rígido com treliças e tirantes



Celosías centrales con tirantes laterales

Treliça central conectada com combinação lateral de viga e tirantes



Vigas centrales atirantadas por ambos lados a celosías laterales

Placa de seção central dobrada atirantada a treliças laterais



Geometría y forma de la estructura  
Geometria e forma estrutural

7

As formas estruturais em arquitetura são formas construtivas técnicas deduzidas da função das estruturas para redistribuir as forças em outras direções por meio de diferentes estados de equilíbrio.

As formas estruturais estão sujeitas às leis da gravidade e da mecânica de forças. Portanto podem ser calculadas, verificadas e ordenadas, pois elas têm a sua própria lógica e elas constituem um vocabulário de desenho: geometria de formas estruturais.

A geometria no campo das formas estruturais é a definição exata de linhas, planos e sólidos que ordenam as características típicas e positivas de redistribuição de forças. A sua configuração formal constitui as normas absolutas no projeto de estruturas arquitetônicas.

A geometria das formas estruturais técnicas não pode ser baseada na lógica das forças mecânicas, apenas por sua origem e causalidade. Em lugar disso, ela é consequência do constante esforço do homem em compreender o espaço em seu mundo, as suas formas e seu ordenamento, e então fazê-lo acessível para seu pensamento e atuação.

A característica de que a geometria abstrata de linhas, planos e sólidos no espaço oferece vantagens nas mecânicas de forças e proporciona formas de estruturas prototípicas para arquitetura continua consideravelmente inexplorada. Contudo, admite-se com razão que as imagens de forças no espaço são iguais ou similares às figuras que o homem tenha concebido para tornar o espaço vazio acessível e compreensível para ele mesmo e para dar forma à matéria segundo seu desejo.

As figuras geométricas típicas são o círculo, esfera, cilindro, tetraedro, etc. Todas induzem, baixo a ação de forças externas, a um certo fluxo de forças e formam uma imagem específica de equilíbrio de forças. Reciprocamente, a constelação particular de forças gera uma forma geométrica correspondente à condição mecânica.

A afinidade existente entre as figuras da geometria espacial, com as suas raízes matemáticas por um lado, e as figuras estruturais de força geométrica, com sua origem mecânica por outro, descreve uma profunda associação entre as

duas, um tipo de coesão que confirma a validade universal da geometria e suas figuras elementares para qualquer esforço tridimensional.

A geometria é, de forma geral, a teoria sobre a exata determinação de lugares no espaço e sobre o ordenamento de figuras planas e espaciais e suas formas características. Assim, a geometria é um instrumento indispensável para a modelagem do materiais e seu ambiente espacial, os edifícios e suas estruturas.

Somente através da geometria, as concepções imaginárias de formas podem visualizar os objetos materiais, imagens espaciais ou construções técnicas; e somente então elas podem ser comunicadas, verificadas, otimizadas e finalmente implementadas. A geometria é a matéria básica no projeto e nas operações que o arquiteto e o engenheiro fazem para dar forma.

A geometria, por estar sujeita a uma lógica matemática e por não permitir desviações deliberadas, não é entretanto um obstáculo para o projeto criativo. Ao contrário, assim como as disciplinas de linguagem são requisito para qualquer forma na literatura criativa, também será sistemática da geometria verdadeiramente livre, a fantasia para descobrir o potencial poético nas formas estruturais.

No desenho estrutural, como no desenho arquitetônico em geral, a geometria desempenha três importantes funções:

1. instrumento e meio para fazer visível os resultados de um projeto  
= geometria descritiva
2. catálogo de formas prototípicas e sistemas de geração de idéias de estruturas  
= geometria de formas estruturais
3. base científica para a exploração do espaço e dos seus princípios  
= geometria de linhas, planos e sólidos

A geometria das formas estruturais não está limitada a um sistema de estrutura particular ou a um tipo específico de estrutura. Embora uma certa figura geométrica possa mostrar mais possibilidades para um tipo de estrutura que para outro, a geometria é uma disciplina que transgride os limites de categorias e alcança uma universalidade.

A geometria também é uma linguagem universal da forma. Em realidade, um cânone formal rígido

para o desenho é um conceito questionável por muitas razões, porém se concebido como o princípio de ordenação do espaço, ele funcionará como um agente unificador que supera as diferenças individuais, profissionais e qualitativas.

O conhecimento da geometria das formas estruturais técnicas ganhará uma perspectiva adicional através dos estudos de formas estruturais da natureza. Finalmente, chegando a ser uma resposta material ao impacto de forças externas e internas sob a lei da natureza de mínimo gasto de energia, e ser considerado como a materialização do diagrama de forças.

A geometria de formas estruturais como disciplina universal para o projeto pode contribuir ao restabelecimento da ordem no ambiente contemporâneo, isto é, ela pode desenvolver uma função que desempenhava para os filósofos gregos na antiguidade em seu empenho para definir um sistema de ordenação para a exploração da forma e do espaço.

O espaço e a forma são os problemas básicos através dos quais a arquitetura expressa-se e representa-se a si mesma. A exploração do espaço e da forma, a sua determinação, a sua modulação, a sua articulação e os seus limites requerem a geometria como instrumento científico. O profundo conhecimento da geometria é um pré-requisito para a modelação de estruturas e edifícios.

### Las 3 funciones de la geometría descriptiva en el diseño de estructuras

La geometría —según una definición simplificada— es la teoría para determinar de manera matemática, es decir exacta, los puntos en el espacio y las leyes de las formas bi y tridimensionales.

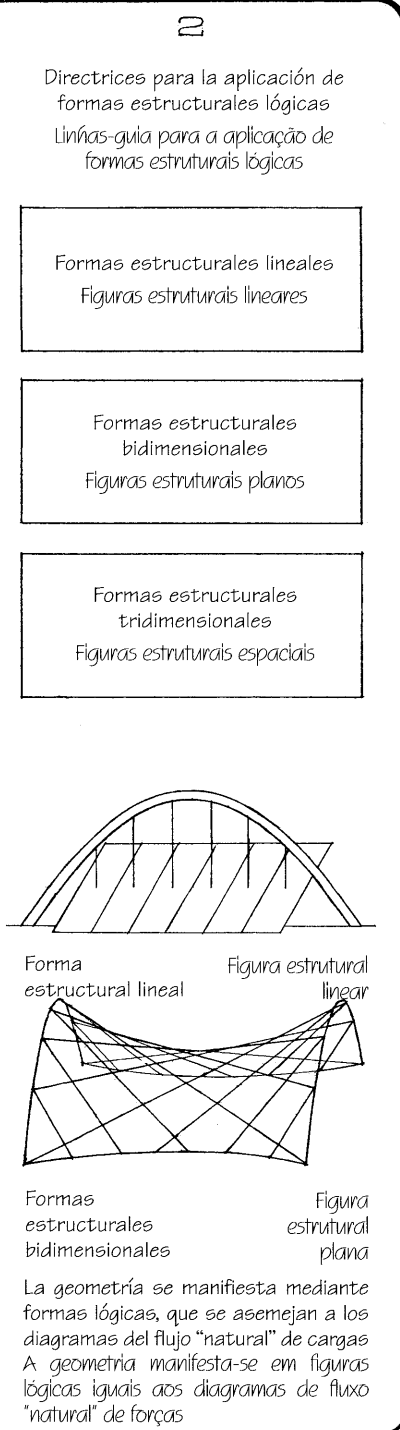
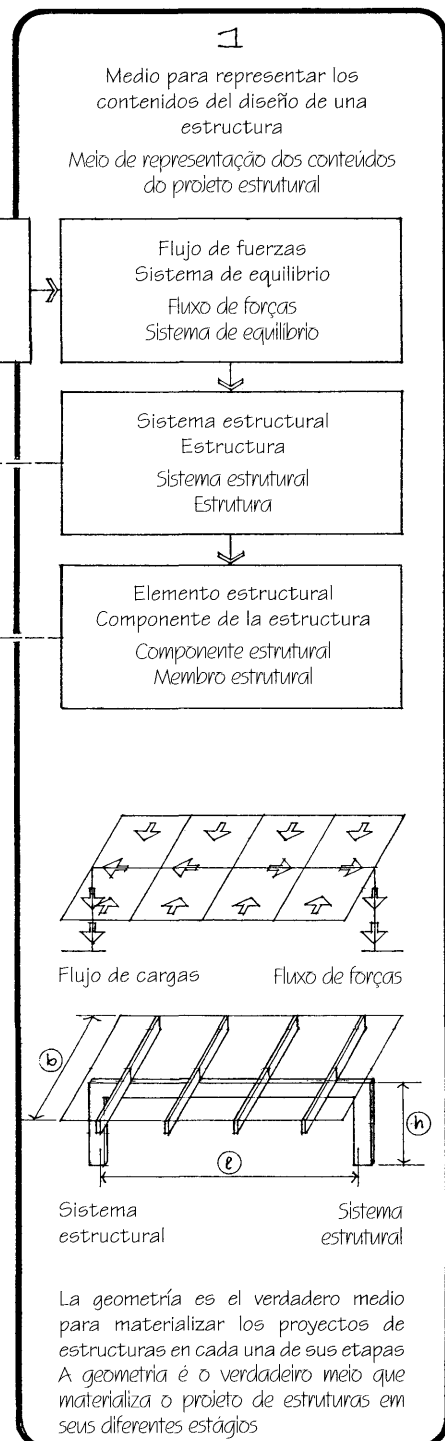
Al diseñar estructuras, la geometría cumple funciones fundamentales y decisivas. El potencial formal de estas funciones todavía no se ha aprovechado en toda su amplitud.

### As 3 funções da geometria descritiva no projeto estrutural

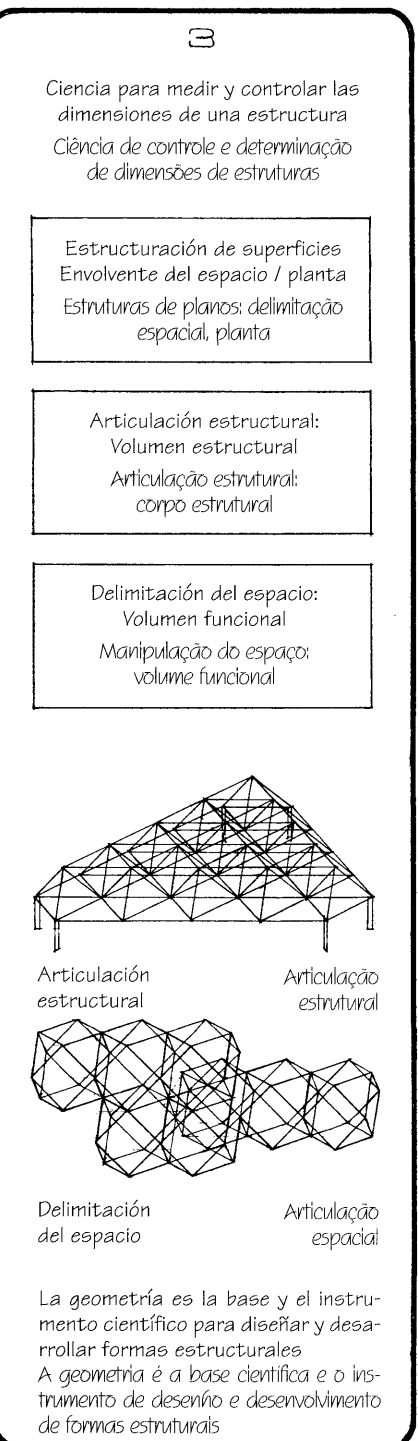
Geometria —em uma definição simplificada— é uma teoria da locação matemática, isto é exata, de pontos no espaço e da ordem racional das configurações e características da forma plana e espacial.

No desenho de estruturas a geometria ocupa funções essenciais e determinantes. O potencial criativo dessas funções apesar disso, ainda permanece pouco utilizado.

#### Funciones de la geometría en el diseño de estructuras



#### Funções da geometria no projeto de estruturas



## Clasificación geométrica de las estructuras

Relación entre la geometría y la función portante de los diferentes elementos (referido aquí, sobre todo, a las cargas por gravedad)

Las ideas, maquetas o proyectos de formas estructurales surgen con figuras de líneas y superficies en el espacio. Por lo tanto, las formas estructurales están formadas fundamentalmente a partir de figuras geométricas elementales.

A cada figura geométrica elemental, según cual sea su posición en el espacio, le corresponde un determinado potencial para satisfacer funciones portantes y constructivas.

## Classificação geométrica dos componentes estruturais

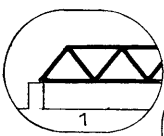
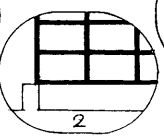
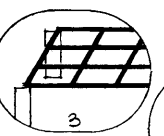
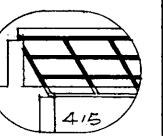
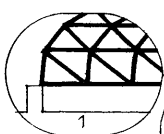
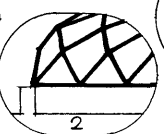
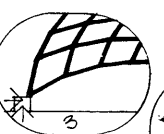
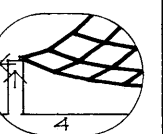
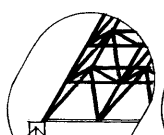
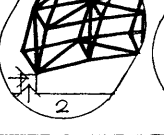
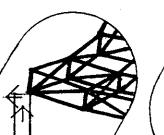
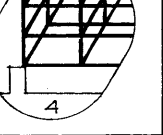
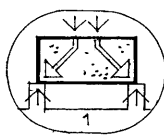
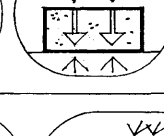
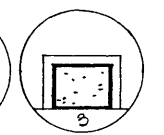
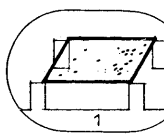
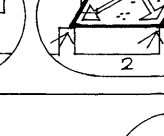
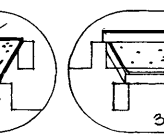
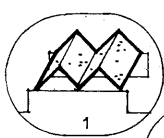
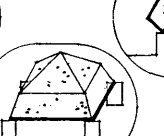
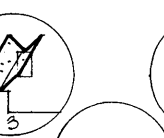
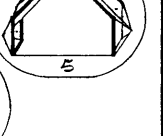
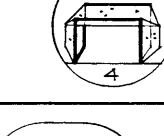
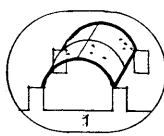
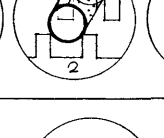
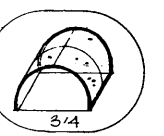
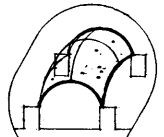
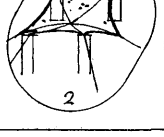
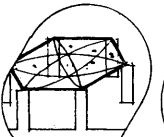
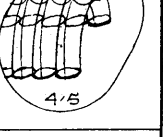
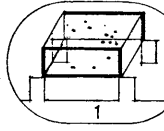
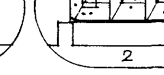
Relação entre a geometria e a função estrutural de componentes individuais (essencialmente em referência às cargas gravitacionais)

As formas estruturais em concepção, modelo ou desenho, originam configurações de linhas e planos no espaço. As formas estruturais, portanto, estão basicamente compostas por figuras elementares da geometria.

Para cada figura elementar da geometria, dependendo da localização e da posição no espaço, definem-se potencialidades espaciais de funções estruturais e construtivas.

| Geometría<br>Geometria                      | Posición / figura<br>Posição / Figura |   | Elemento estructural / Componente constructivo<br>Componentes estruturais / Componentes construtivos                                            |                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PUNTO<br>①<br>PONTO                         |                                       | • | 1 soporte<br>2 empotramiento<br>3 rótula<br>4 unión<br>5 a testa<br>6 nudo<br>7 base, pie                                                       | apoio, suporte<br>engaste<br>articulação, rótula<br>conexão, união<br>junta, união<br>nó<br>base                                                   |
| LÍNEA<br>recta<br>②<br>LINHA<br>reta        | vertical<br>vertical                  | ┆ | 1 pilar, columna<br>2 elemento suspendido<br>3 pie derecho (de pórtico)<br>4 barra vertical<br>5 puntal                                         | apoio, coluna<br>elemento de suspensão<br>perna (pórtico)<br>vara e barra verticais<br>barra dispensora                                            |
|                                             | inclinada<br>inclinada                | ／ | 1 tornapuntas<br>2 cable de retención<br>3 rigidización<br>4 barra diagonal                                                                     | estrutura de reforço<br>cabo de restrição<br>reforço<br>barra diagonal                                                                             |
|                                             | horizontal<br>horizontal              | — | 1 viga, jácena<br>2 dintel<br>3 travesaño<br>4 tirante<br>5 cordón superior / inferior<br>6 nervios (paralelos)                                 | viga<br>dintel<br>viga de pórtico<br>tirante<br>corda de topo / inferior<br>viguetas (paralelas)                                                   |
| LÍNEA<br>compleja<br>③<br>LINHA<br>complexa | en ángulo<br>dobrada                  | └ | 1 viga doblada<br>2 viga de hastial<br>3 pórtico<br>4 pilar con voladizo                                                                        | viga doblada<br>viga sección duas águas<br>pórtico rígido, dobrado<br>coluna com balanço                                                           |
|                                             | curva<br>curvada                      | ⤿ | 1 viga curva<br>2 dintel<br>3 arco funicular<br>4 cable portante<br>5 cable estabilizado<br>6 cordón superior / inferior<br>7 anillo perimetral | viga curvada<br>dintel segmentado<br>arco (funicular)<br>cabo de carga<br>cabo de estabilização<br>corda superior/inferior<br>tirante, base anular |

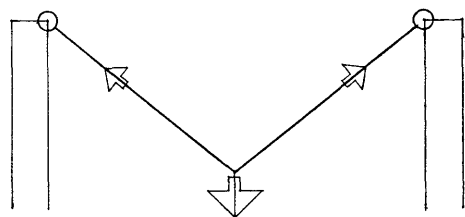


| Geometría<br>Geometria                                          | Posición / figura<br>Posição / Figura         |                                                                                     | Elemento estructural / Componente constructivo<br>Componentes estruturais / Componentes construtivos                                                        |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Intersección<br>de LÍNEA<br><br>④<br><br>Interseção<br>de LINHA | plana<br>reta                                 |    | 1 celosía<br>2 pórticos varios vanos<br>3 retícula de vigas<br>4 casetones<br>5 nervios<br>perpendiculares                                                  | treliça<br>pórtico múltiplo<br>malha de vigas<br>cofres<br>viguetas cruzadas                                                      |                                                                                                   |
|                                                                 | curva<br>curvada                              |    | 1 celosía<br>2 retícula de lamas<br>3 celosía (apoyada)<br>4 malla (suspendida)                                                                             | treliça<br>malha lamelar<br>estrutura (de empuxo)<br>malha (em suspensão)                                                         |                                                                                                   |
|                                                                 | espacial<br>espacial                          |    | 1 malla espacial<br>2 celosía espacial<br>3 red espacial<br>4 portico biaxial                                                                               | treliça espacial<br>estrutura espacial<br>malha espacial<br>pórtico biaxial                                                       |                                                                                               |
| SUPERFICIE<br>plana<br><br>⑤<br><br>SUPERFÍCIE<br>plana         | vertical<br>vertical                          |  | 1 lámina (portante)<br>2 muro portante<br>3 rigidización                                                                                                    | placa estructural<br>parede estructural<br>painel de reforço                                                                      |                                                                                                                                                                                |
|                                                                 | horizontal<br>horizontal                      |  | 1 lámina (portante)<br>2 lámina horizontal<br>3 lamina rigidizadora                                                                                         | laje estrutural<br>placa de viga horizontal<br>placa de reforço                                                                   |                                                                                                                                                                                |
|                                                                 | en ángulo<br>dobrado                          |  | 1 lám. plegadas (prismáticas)<br>2 lám. plegadas (piramidales)<br>3 viga de láminas dobladas<br>4 pórtico de láminas dobladas<br>5 arco de láminas dobladas | estr. prismática doblada<br>estr. piramidal doblada<br>placa de viga doblada<br>pórtico de placa doblada<br>arco de placa doblada |      |
| SUPERFICIE<br>compleja<br><br>⑥<br><br>SUPERFÍCIE<br>complexa   | curvatura<br>sencilla<br>curvatura<br>simples |  | 1 membrana<br>2 tubo / tubo neumático<br>3 bóveda<br>4 nave neumática                                                                                       | casca<br>tubo / tubo pneumático<br>abóbada<br>nave pneumática                                                                     |                                                                                                                                                                                |
|                                                                 | curvatura<br>doble<br>curvatura<br>dupla      |  | 1 membrana<br>2 membrana en tienda<br>3 colchón neumático<br>4 tubo neumático<br>5 tubos                                                                    | casca<br>membrana em tenda<br>colchão pneumático<br>tubo pneumático<br>cascas tubulares                                           |                                                                                           |
|                                                                 | combinada<br>combinada                        |  | 1 pórtico-caja<br>2 retícula de láminas                                                                                                                     | armação em caixa<br>malha de placas                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                     |

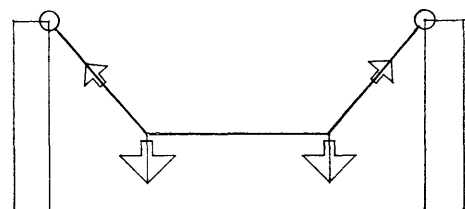
## Diagramas de fuerzas y su geometría matemática

Los cables no pueden absorber flexiones debido a su reducida sección respecto a su longitud. Por lo tanto, la forma portante de un cable suspendido por sus dos extremos coincide con el diagrama de fuerzas para cada caso de carga. Se confirma la relación entre la materialización de los diagramas de fuerzas y la abstracción de la geometría matemática.

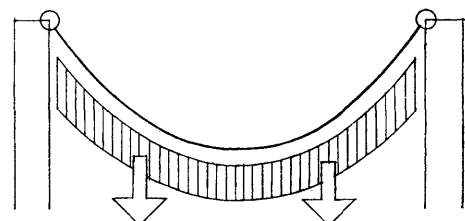
Diagramas de fuerzas / Diagramas de forças



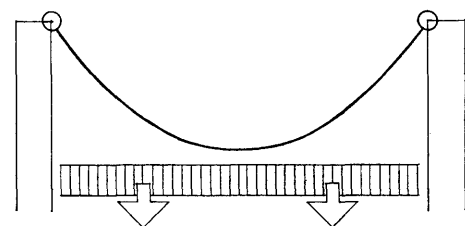
Carga puntual en el centro  
Carga puntual central



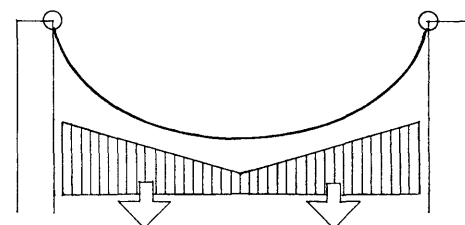
Dos cargas puntuales simétricas  
Duas cargas pontuais simétricas



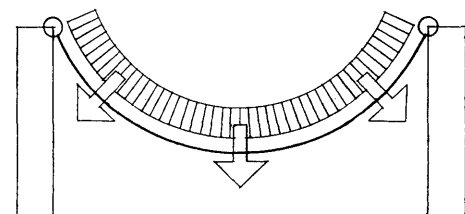
Peso propio = carga uniforme lineal  
Peso próprio = carga linear uniforme



Carga horizontal lineal y uniforme  
Carga linear horizontal



Carga lineal creciente hacia los extremos  
Carga linear crescente lateralmente

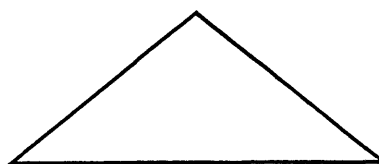


Carga de dirección radial  
Cargas atuando radialmente

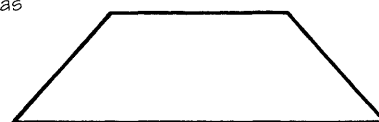
## Diagramas de forças e sua geometria matemática

Os cabos, devido às suas pequenas seções em relação ao seu comprimento, não podem resistir à flexão. Então, a forma estrutural de um cabo suspenso pelos dois extremos é a materialização do diagrama de forças para uma condição de carga específica. Isto confirma uma ligação fundamental entre a corporalidade das imagens de forças e a abstração da geometria matemática.

Figuras geométricas / Figuras geométricas



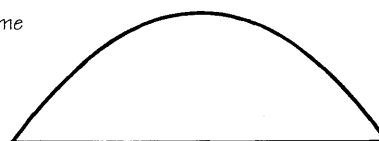
Triângulo isósceles  
Triângulo isósceles



Trapecio  
Trapezóide



Arco funicular o catenaria  
Linha de empuxo funicular ou catenária



Parábola  
Parábola



Segmento elíptico  
Segmento elíptico



Segmento circular  
Segmento circular

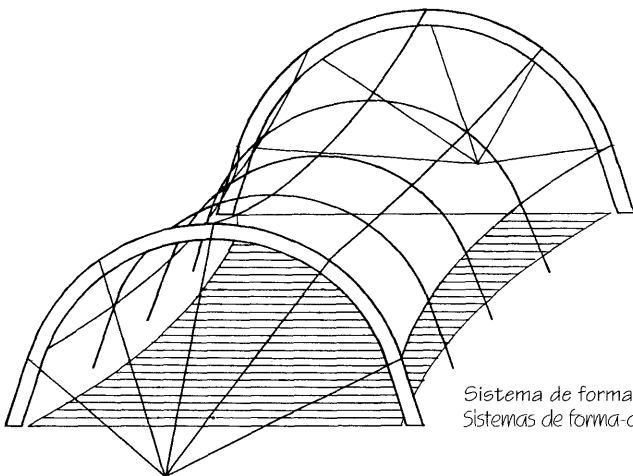
Potencial de las figuras geométricas básicas para  
el diseño de estructuras  
Potencial das formas geométricas básicas para imagens  
de sistemas estruturais

Las formas geométricas básicas se comportan frente a fuerzas exteriores de una manera específica para ellas. Esto quiere decir que cada forma básica posee un mecanismo de resistencia típico. Sin embargo, dentro de esta especificidad, son posibles diferentes sistemas estructurales

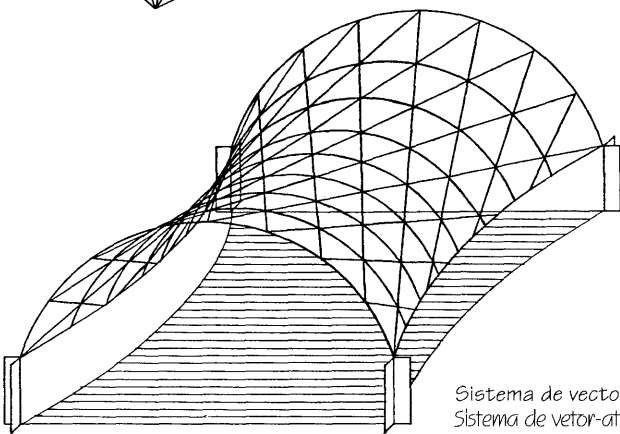
Ejemplo  
Exemplo

Hiperboloide  
Hiperbolóide

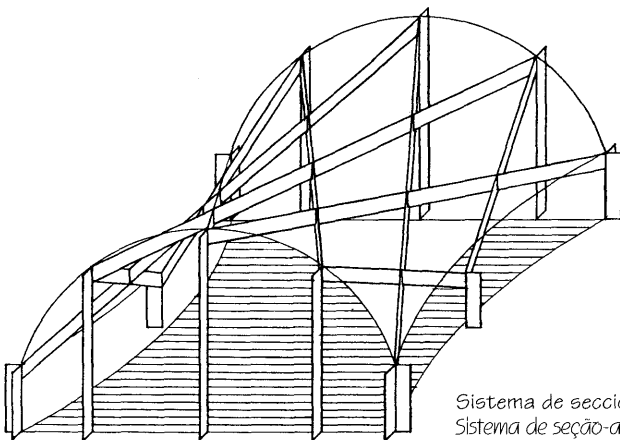
As formas geométricas básicas submetidas a forças externas comportam-se de maneira específica. Isto é, a cada forma básica é atribuído um mecanismo típico de resistência. Apesar disso, dentro desta categoria de comportamento -dependente das propriedades geométricas- podem ser empregados diferentes sistemas estruturais



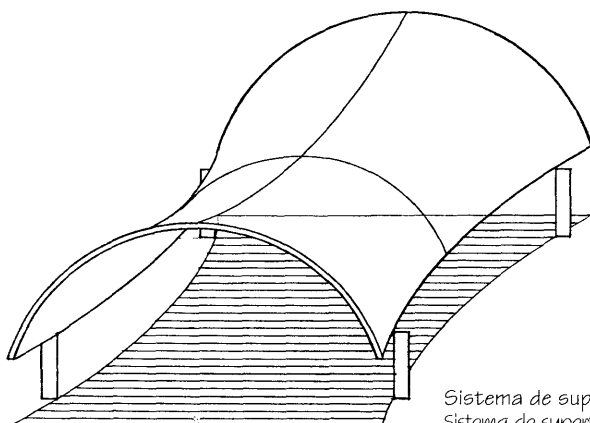
Sistema de forma activa: malla de cables  
Sistemas de forma-ativa: rede de cabos



Sistema de vector activo: malla de lamas  
Sistema de vetor-ativo: malha lamelar

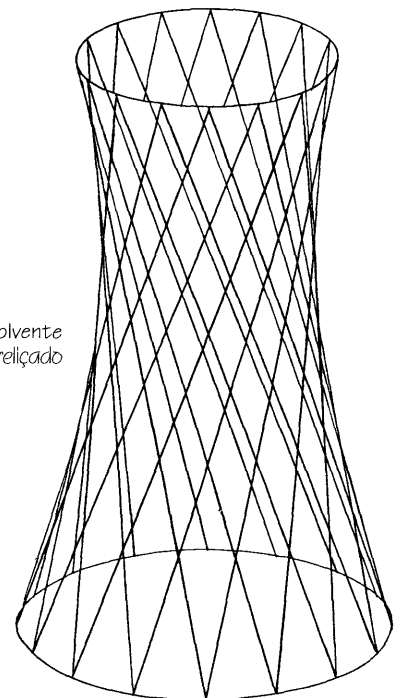


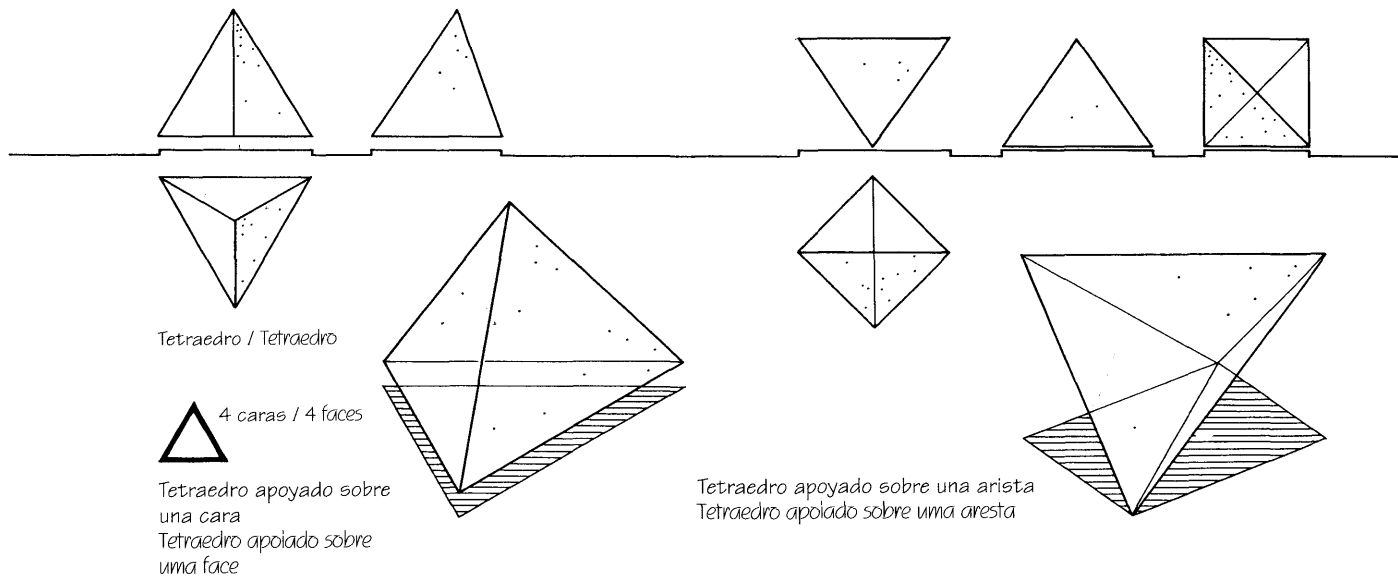
Sistema de sección activa: retícula de vigas  
Sistema de seção-ativa: malhas de viga



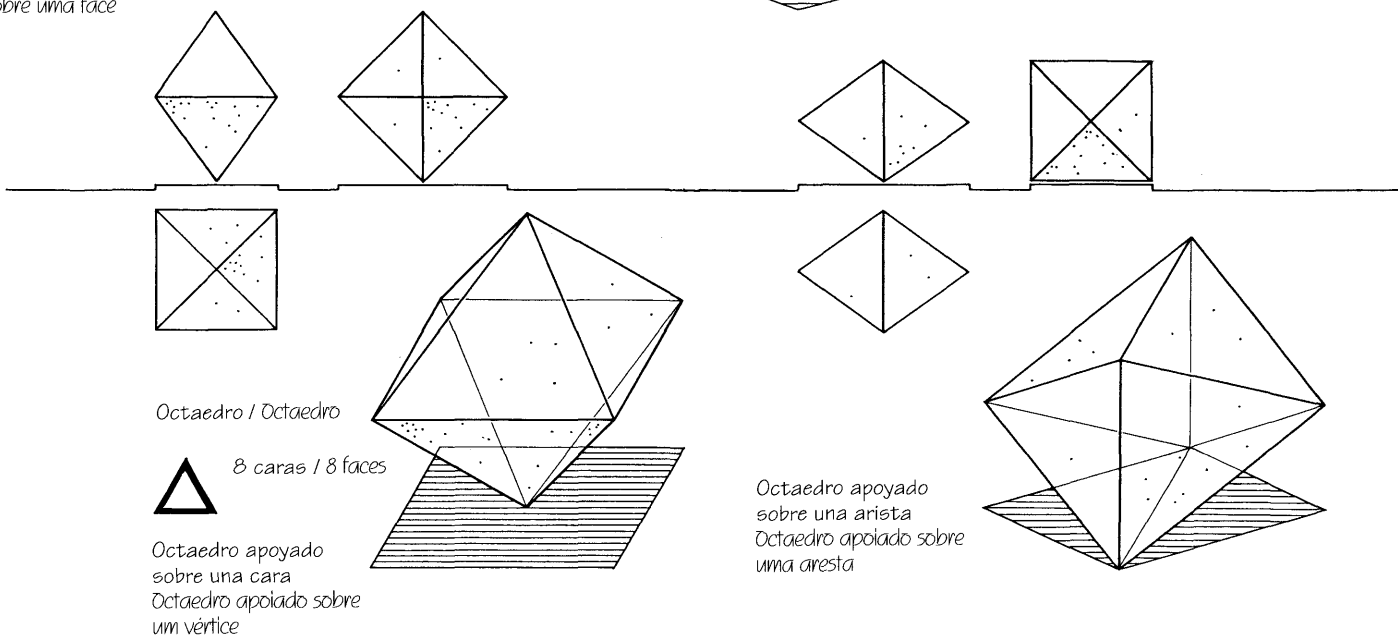
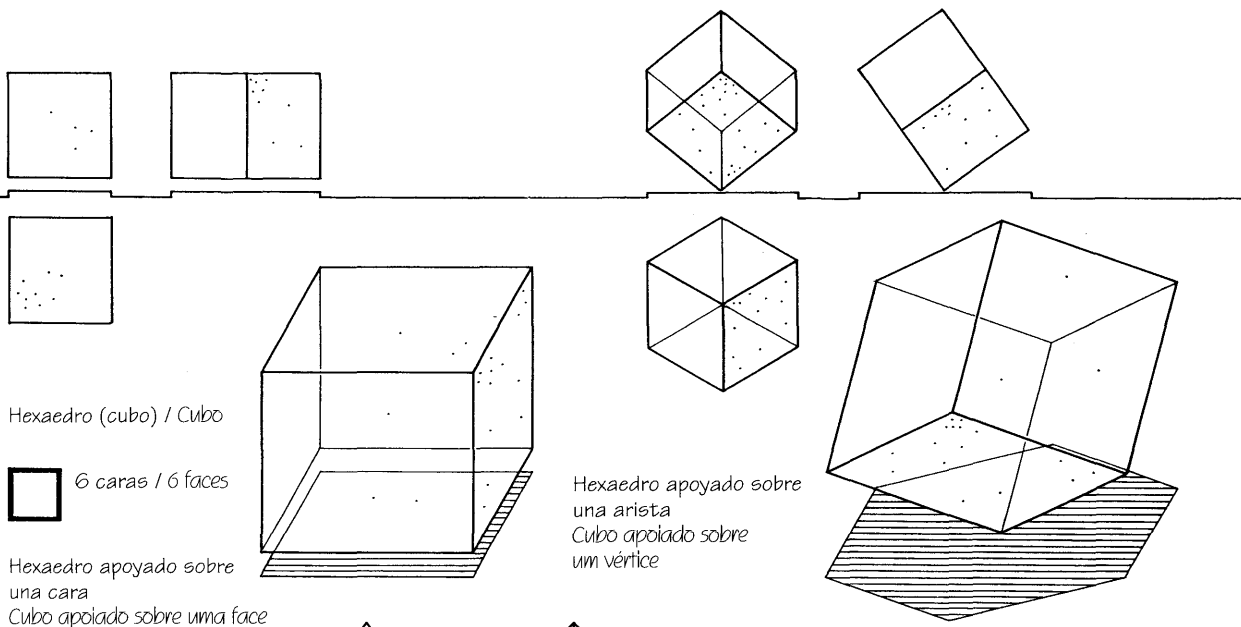
Sistema de superficie activa: membrana  
Sistema de superfície-ativa: casca

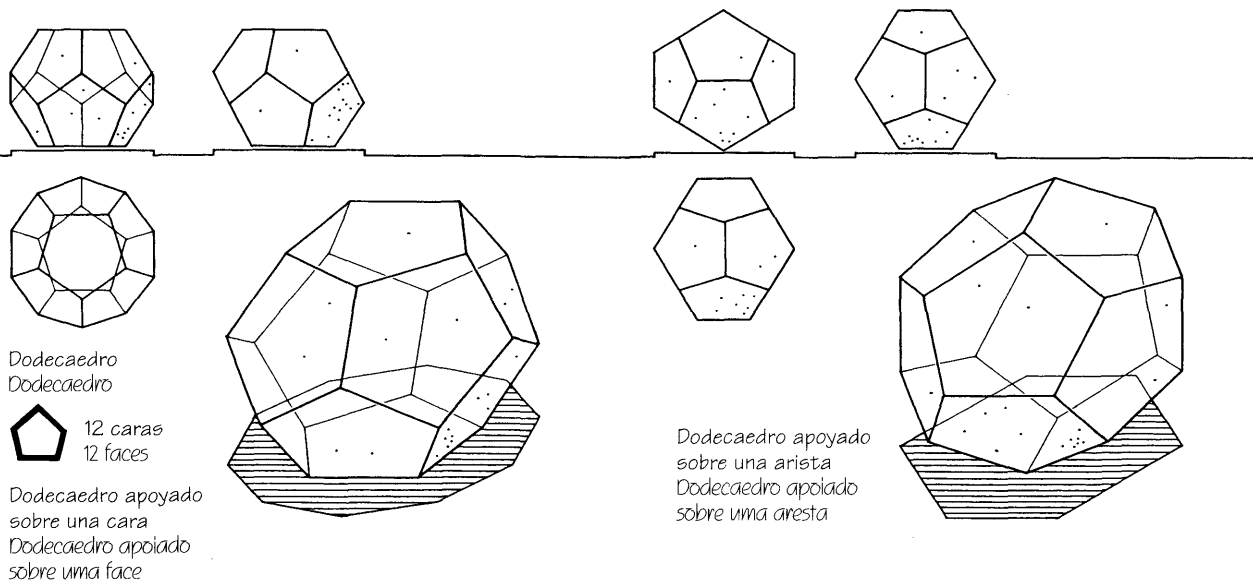
Sistema de altura activa: celosía envolvente  
Sistema de altura-ativa: tubo entrelaçado



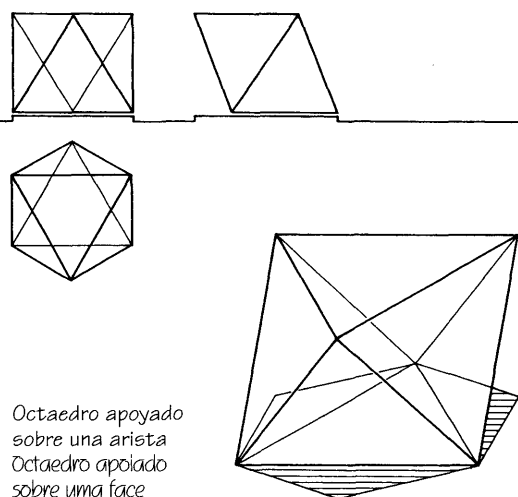
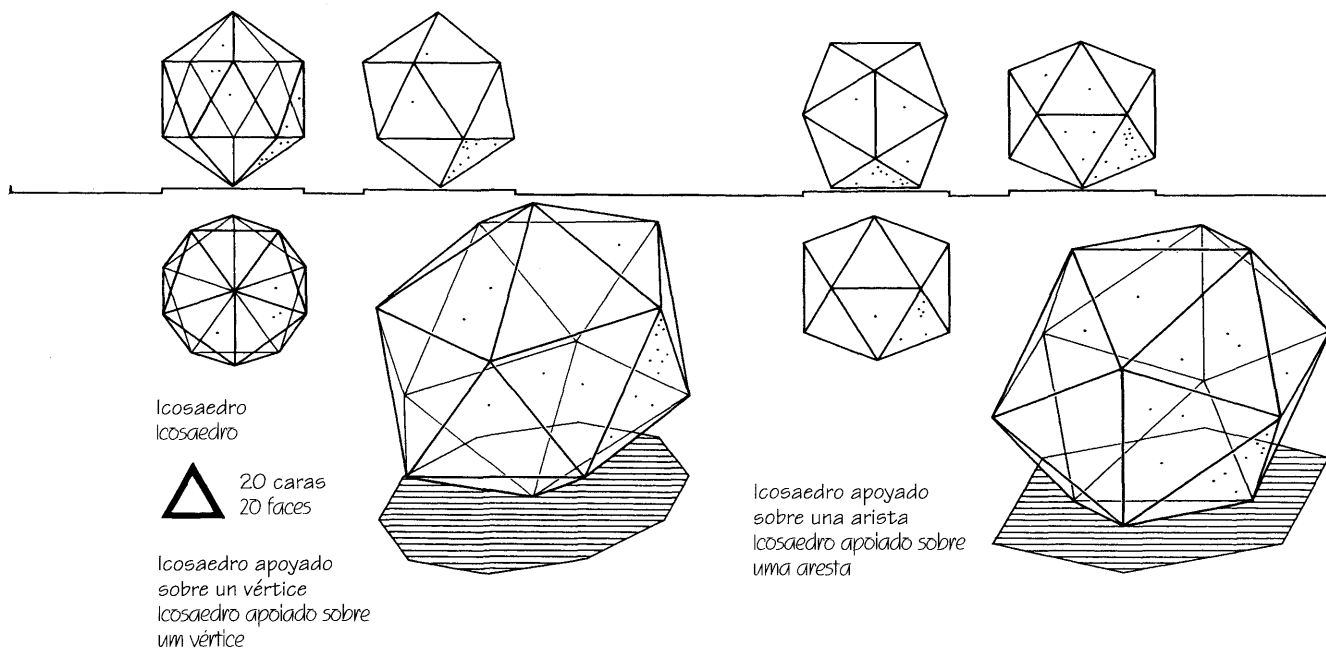


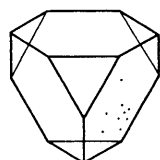
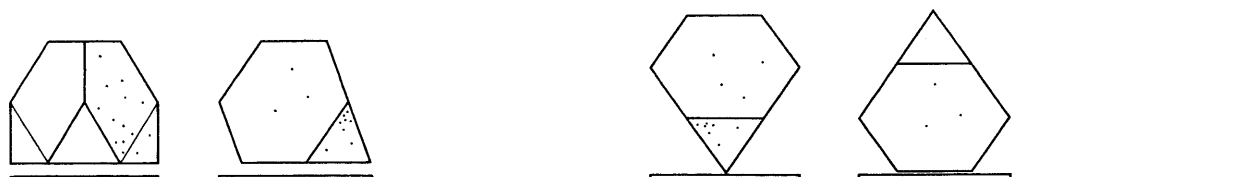
## Pliegues con superficies iguales: geometría de los poliedros



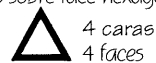


Sistemas doblados con superficies iguales: geometría dos poliedros

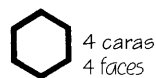




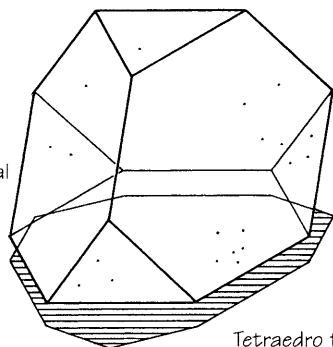
Apoyado sobre cara hexagonal  
Apoyado sobre face hexagonal



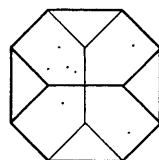
4 caras  
4 faces



4 caras  
4 faces

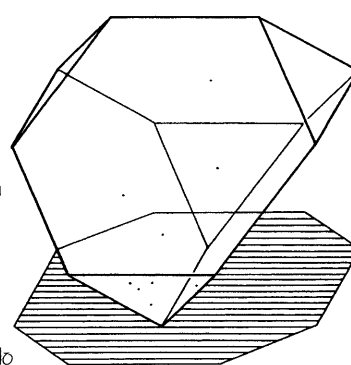


Tetraedro truncado

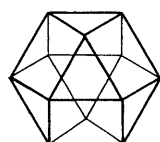
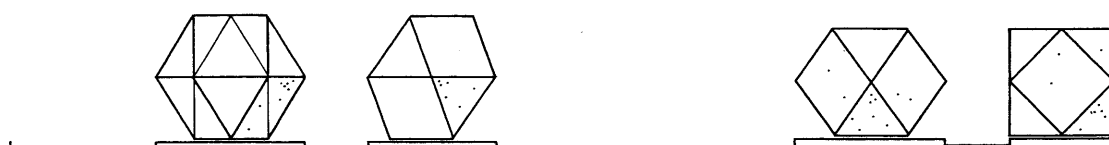


Apoyado sobre una arista  
Apoyado sobre uma aresta

Tetraedro truncado



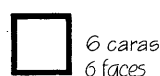
Pliegues con superficies iguales: geometría de los poliedros



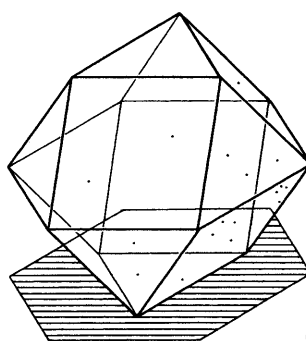
Apoyado sobre una cara triangular  
Apoyado sobre face triangular



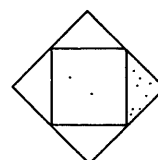
8 caras  
8 faces



6 caras  
6 faces

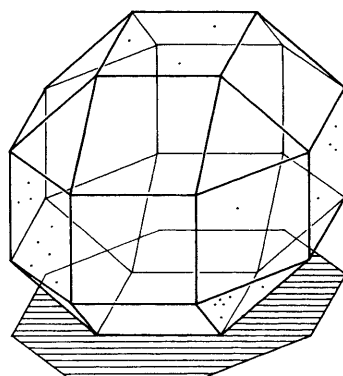
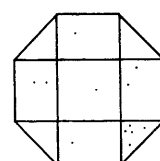
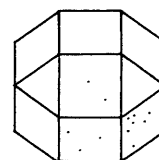
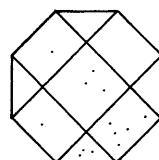
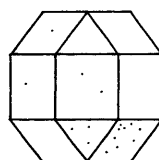
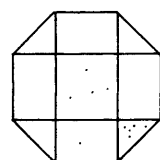
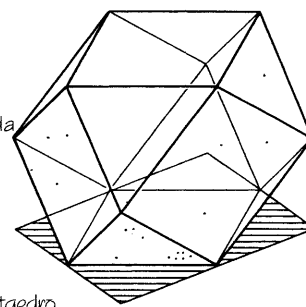


Cubooctaedro

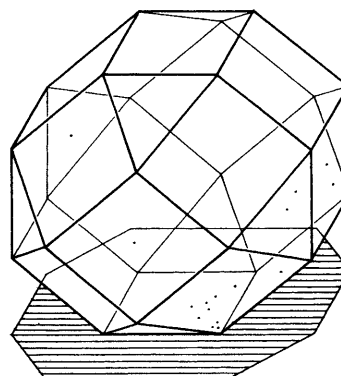
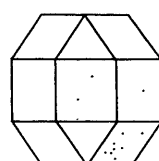
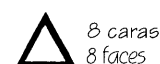


Apoyado sobre una cara cuadrada  
Apoyado sobre face quadrada

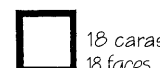
Cubo-octaedro



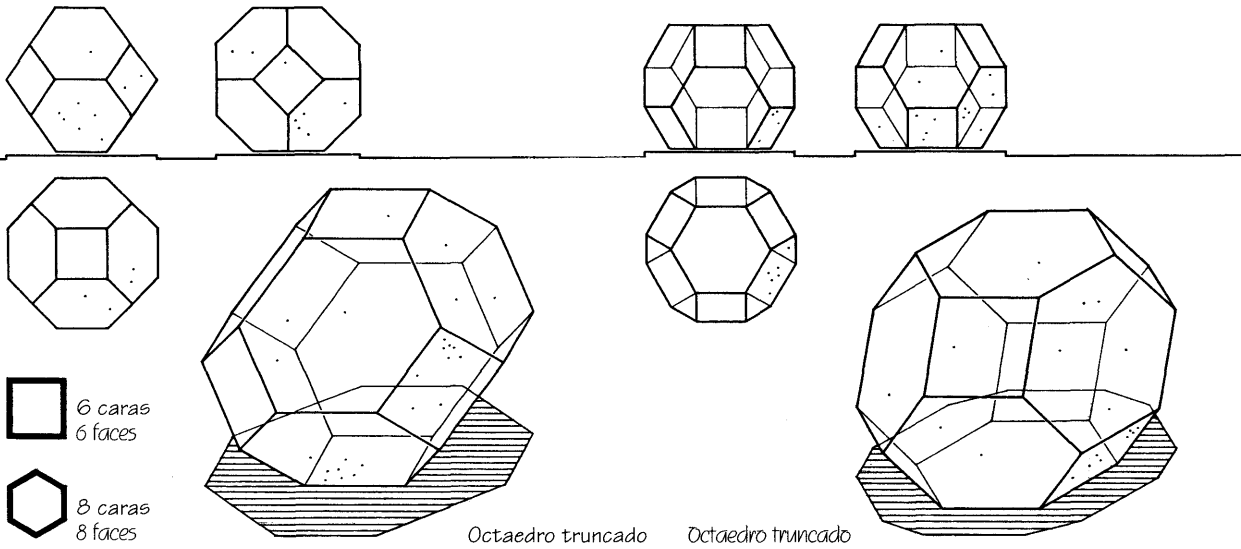
rombocubooctaedro


Cubo-octaedro  
rômbico


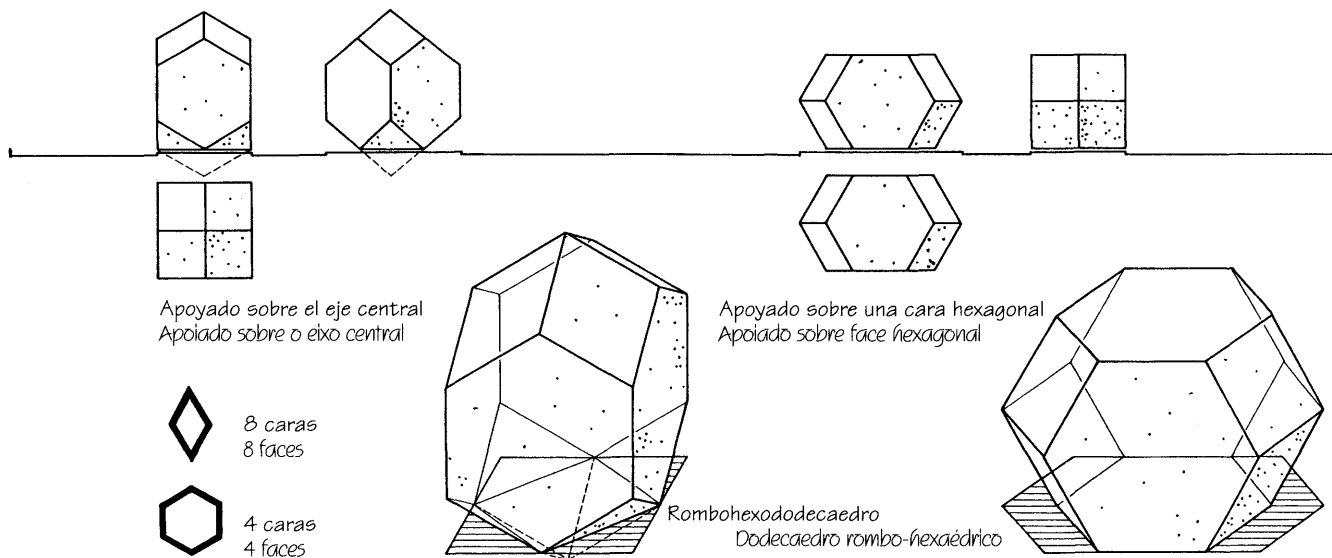
8 caras  
8 faces

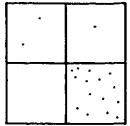
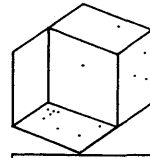
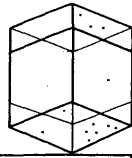
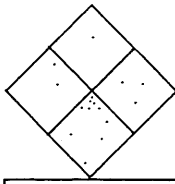
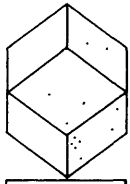


18 caras  
18 faces



Sistemas doblados con superficies iguales: geometría dos poliedros



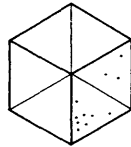
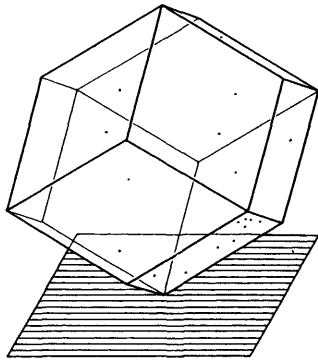


Rombododecaedro  
Dodecaedro rômico

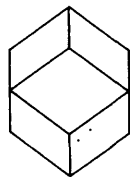
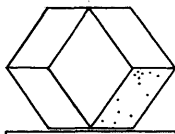
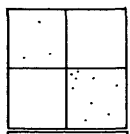
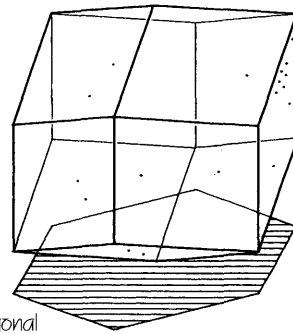


12 caras  
12 faces

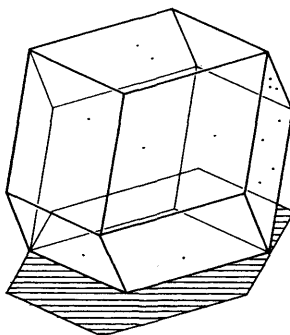
Apoyado sobre una cara  
cuadrada  
Apoiado sobre planta quadrada



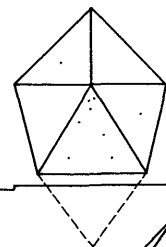
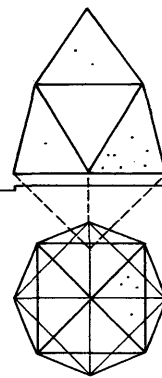
Apoyado sobre una cara  
hexagonal  
Apoiado sobre planta hexagonal



Apoyado sobre una cara  
Apoiado sobre uma face



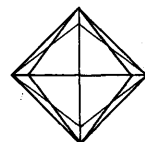
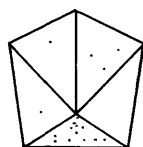
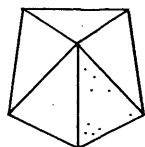
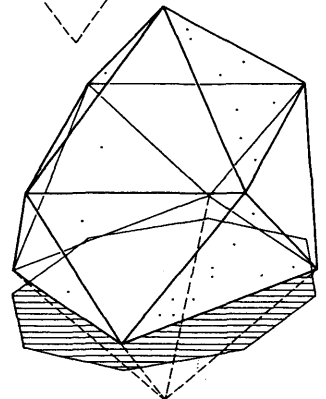
Pliegues con superficies iguales: geometría de los poliedros  
Sistemas dobrados com superficies iguais: geometria dos poliedros



Deltaedro Deltaedro

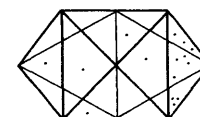
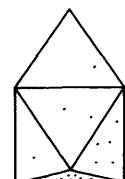
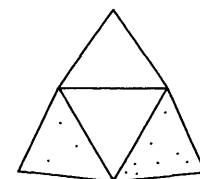
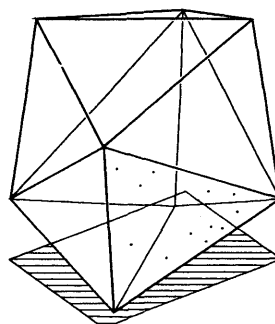
16 caras  
16 faces

Deltaedro de 16 caras  
Deltaedro de 16 faces



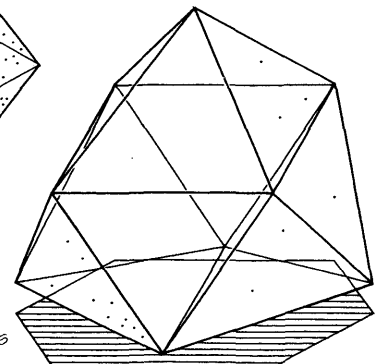
12 caras  
12 faces

Deltaedro de 12 caras  
Deltaedro de 12 faces



14 caras  
14 faces

Deltaedro de 14 caras  
Deltaedro de 14 faces

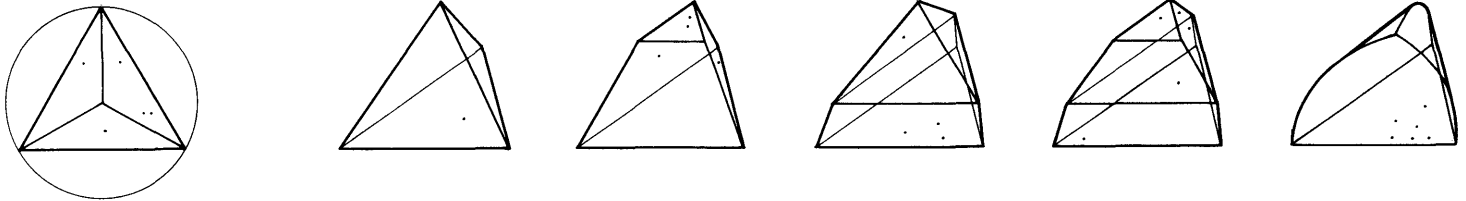




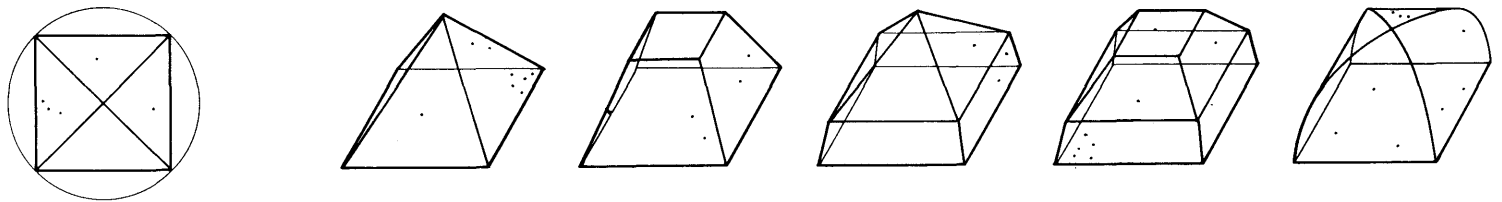
Superficies plegadas piramidalmente sobre una geometría especial en planta

Superficies dobladas piramidais sobre plantas de geometrías especiales

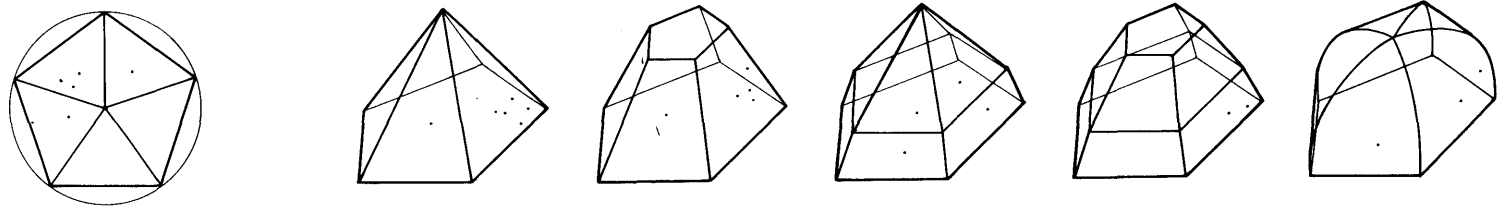
Planta triangular / Planta triangular



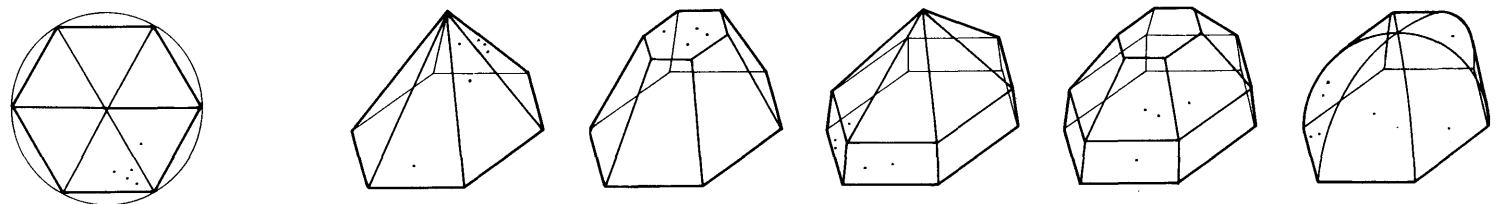
Planta cuadrada / Planta cuadrada



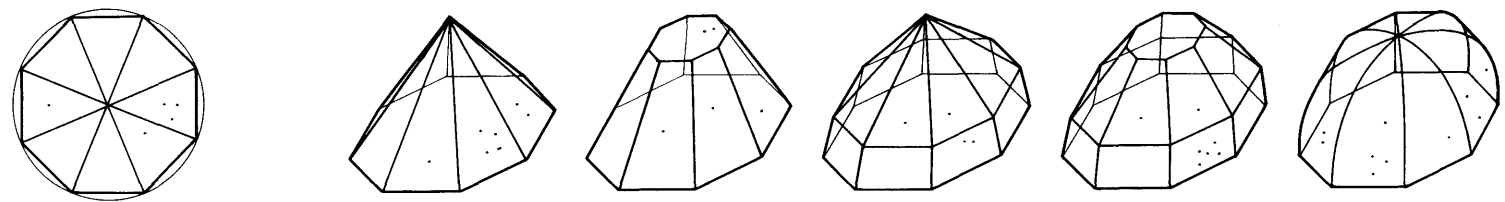
Planta pentagonal / Planta pentagonal



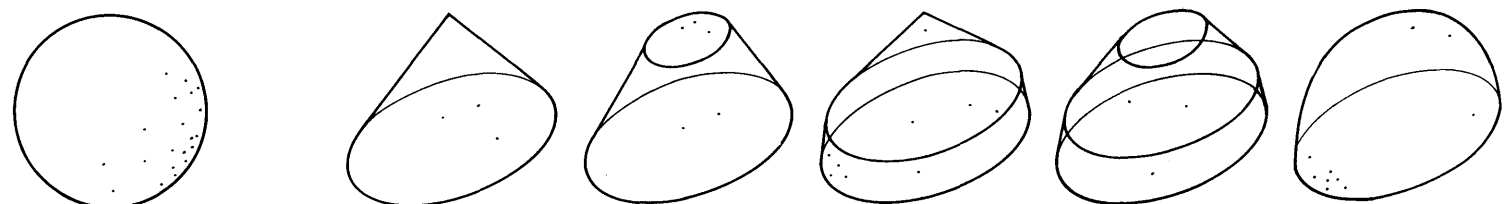
Planta hexagonal / Planta hexagonal



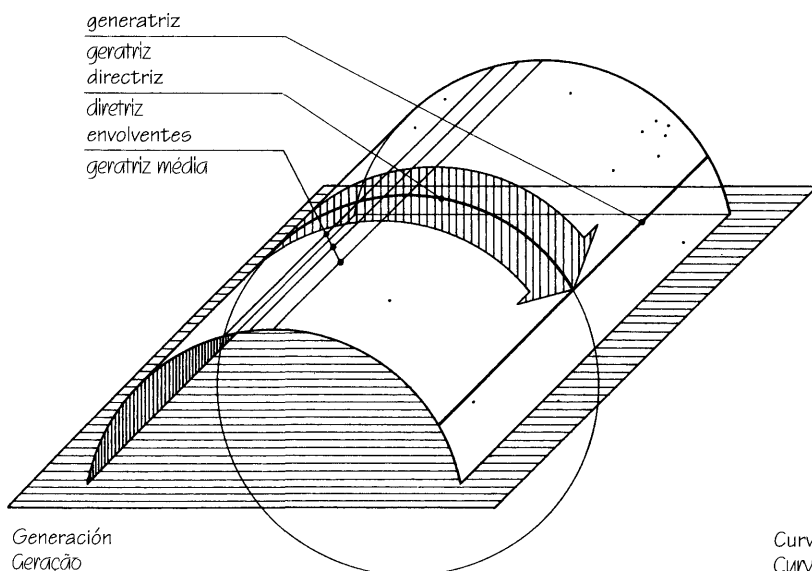
Planta octogonal / Planta octogonal



Planta circular / Planta circular



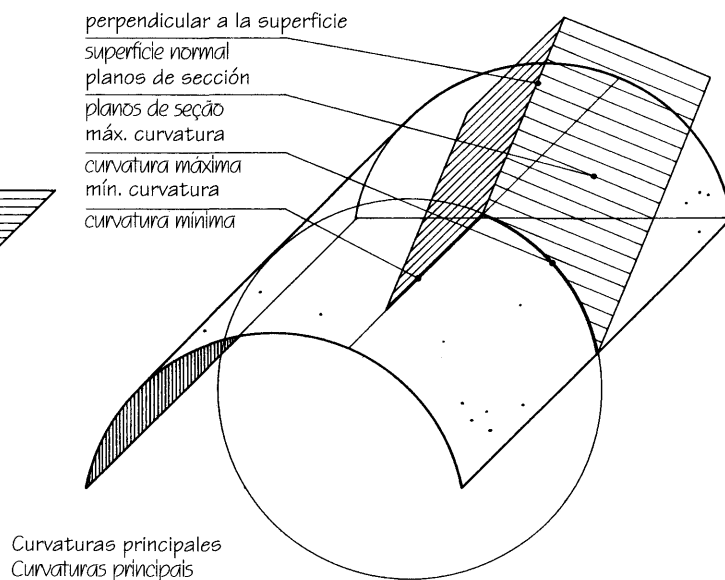
## Geometría de las superficies cilíndricas



La superficie se genera deslizando un línea recta horizontal (generatriz) a lo largo de una directriz, que se encuentra en un plano perpendicular a la generatriz.

A superfície é gerada por deslizamento de uma linha reta (geratriz) ao longo de uma curva (diretriz), que se encontra em um plano perpendicular à geratriz.

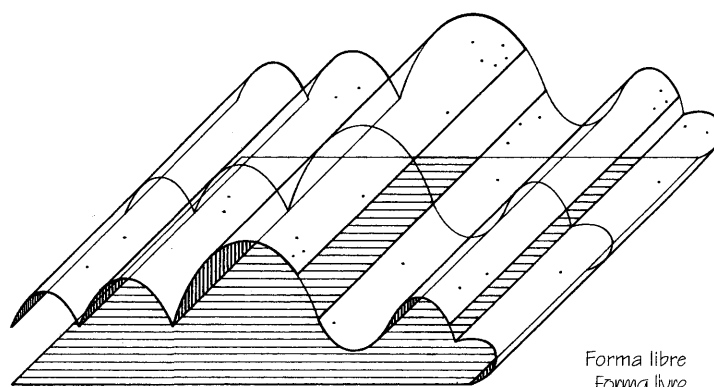
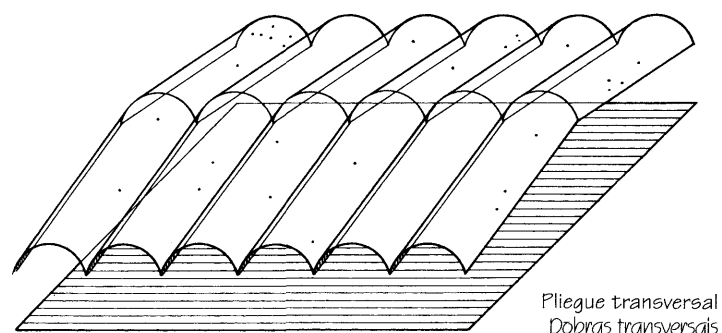
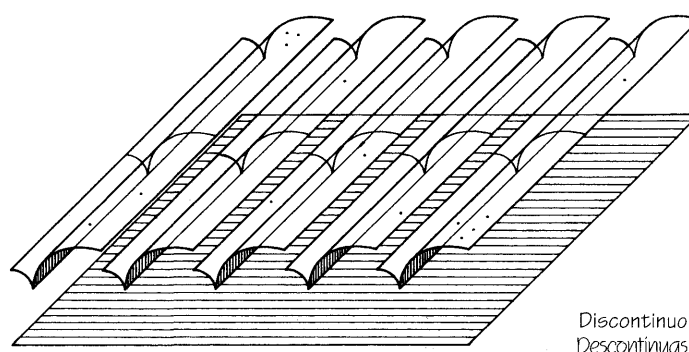
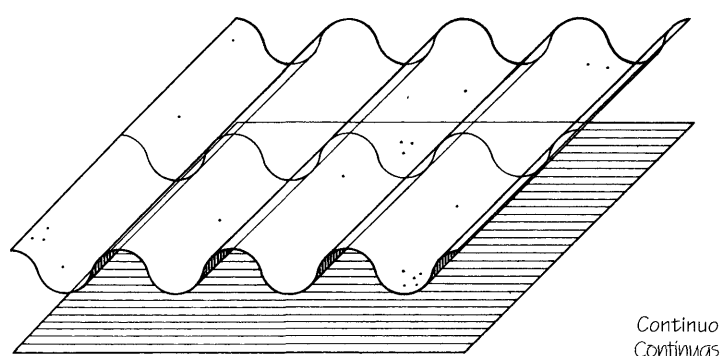
## Geometria das superfícies cilíndricas



La máxima curvatura de un punto de la superficie viene dada por la directriz, mientras que la mínima curvatura se encuentra en la dirección de la generatriz y es igual a cero.

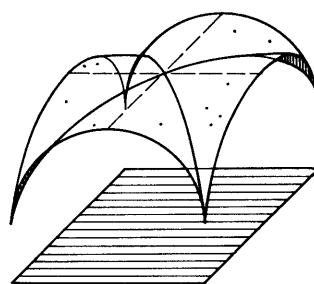
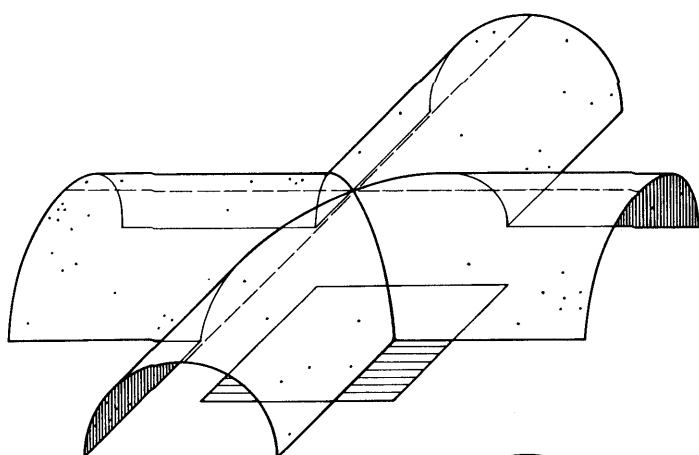
A curvatura máxima de qualquer ponto é dada pela diretriz, já a curvatura mínima encontra-se na direção da geratriz e é igual a zero.

## Alineación de superficies cilíndricas para cubrir grandes superficies

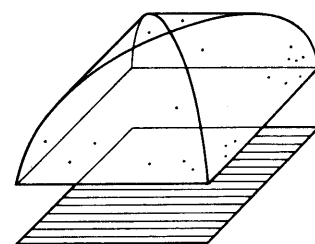


Sistemas de estructuras a partir de la intersección  
de superficies cilíndricas

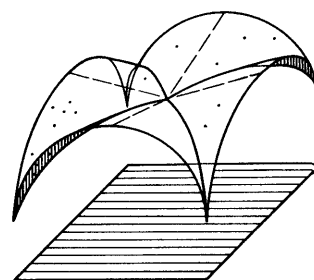
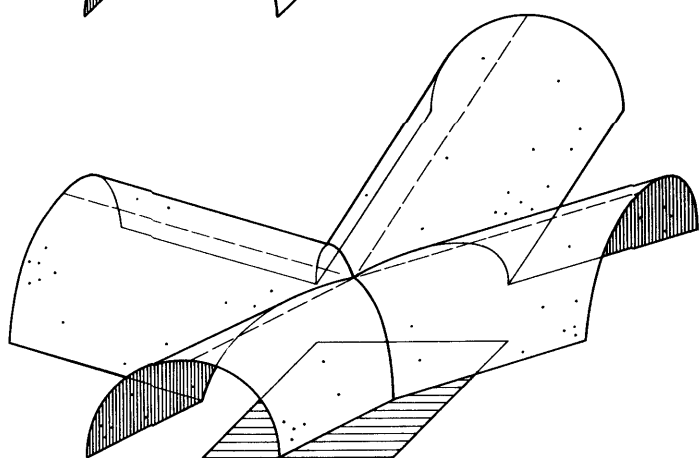
Sistemas estruturais de interseção  
de superfícies cilíndricas



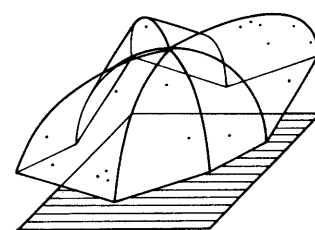
Generatriz en un plano



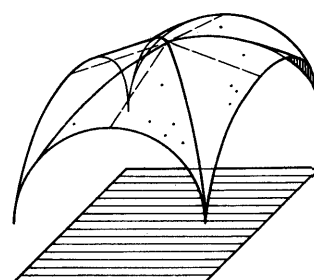
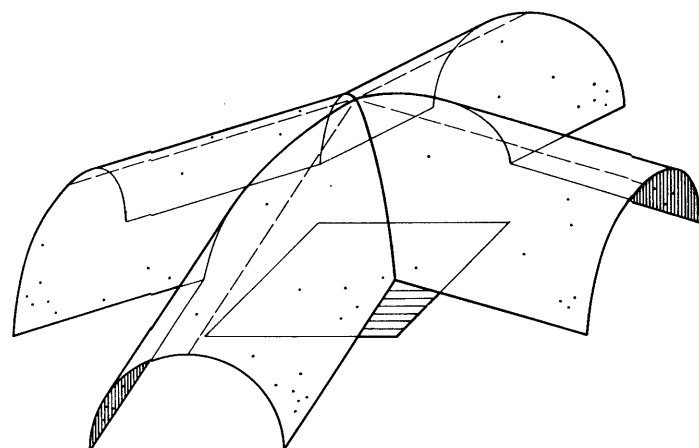
Geratriz em um plano



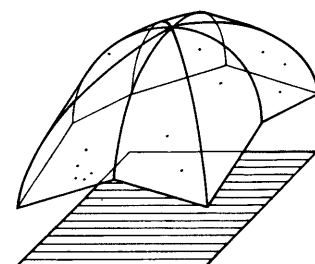
Generatriz decreciente hacia el centro



Geratriz inclinada em direção ao centro



Generatriz creciente hacia el centro

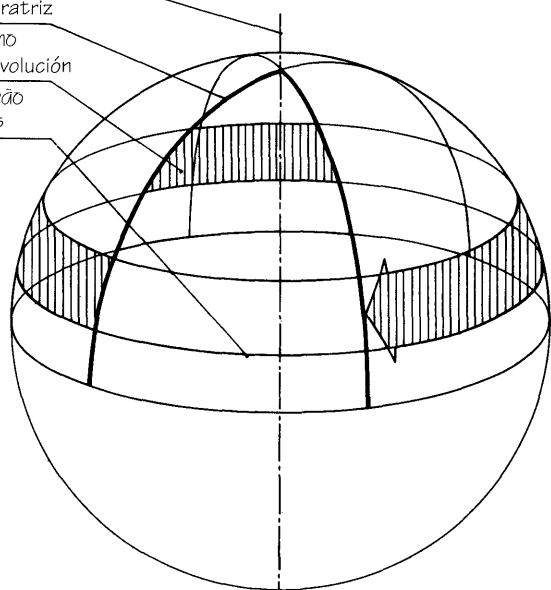


Geratriz elevando-se em direção ao centro

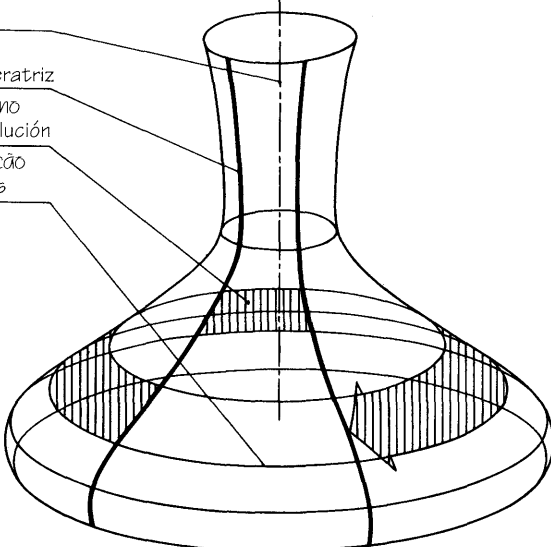
Geometría de las superficies de rotación:  
sólidos de revolución

eje de revolución  
eixo de revolução  
meridiano = generatriz  
geratriz = meridiano  
movimiento de revolución  
direção da revolução  
círculos paralelos  
paralelos

Generación / Geração



eje de revolución  
eixo de revolução  
meridiano = generatriz  
geratriz = Meridiano  
dirección de revolución  
direção da revolução  
círculos paralelos  
paralelos



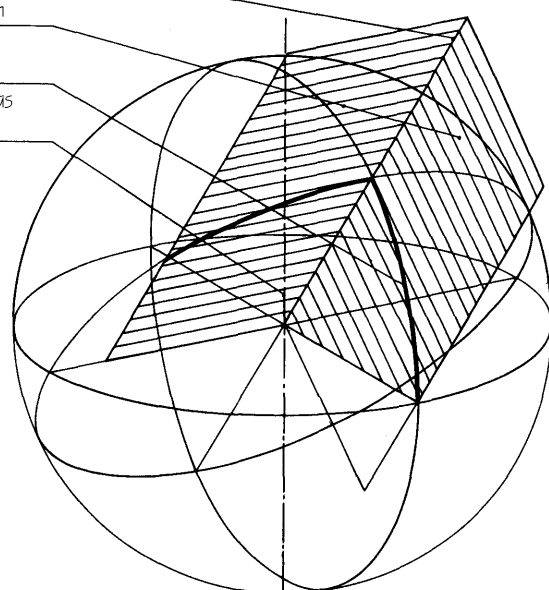
La superficie se genera rotando una curva plana de forma geométrica o libre (meridiano) alrededor de un eje vertical. Todas las curvas de sección horizontal son círculos.

A superfície é gerada pela rotação de uma curva plana de forma geométrica ou livre, chamada geratriz (meridiano), em torno de um eixo vertical. Todas as curvas de seção horizontal são círculos.

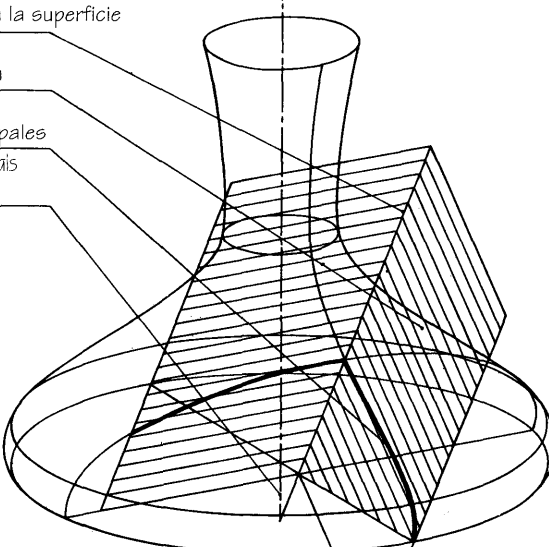
Geometria das superfícies rotativas:  
sólidos de revolução

perpendiculares a la superficie  
superficie normal  
planos de sección  
planos de seção  
máx. curvatura  
curvaturas máximas  
eje de revolución  
eixo de revolução

Curvaturas principales  
Curvaturas principais



perpendiculares a la superficie  
superficie normal  
planos de sección  
planos de seção  
curvaturas principales  
curvaturas principais  
eje de revolución  
eixo de revolução



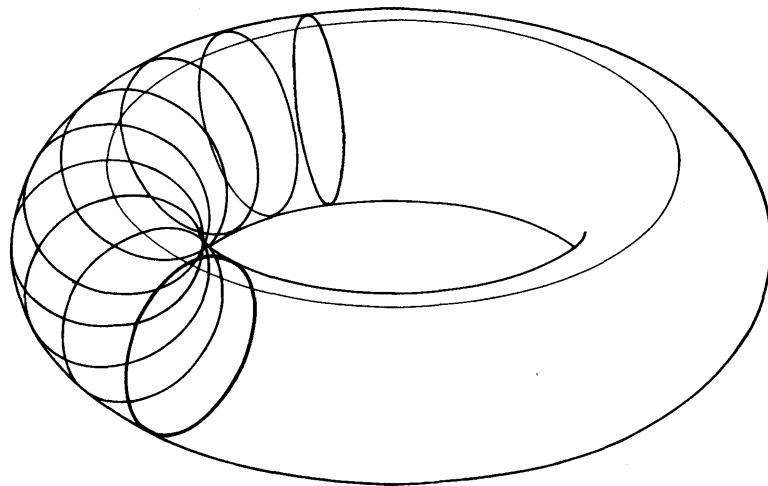
Una de las curvaturas principales siempre queda definida por el meridiano, la otra por la sección con un plano perpendicular al plano del meridiano.

Uma curvatura principal de qualquer ponto é dada pelo meridiano; a outra pela seção com um plano que corta a superfície normal, sendo vertical ao plano meridional.

Formas especiales de las superficies de revolución  
Formas especiais de superfícies rotativas

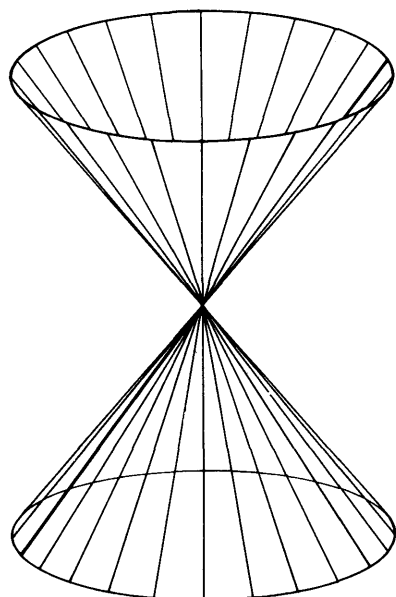
Si la generatriz es un círculo y el eje de revolución se encuentra en el plano del círculo, pero tangente o fuera de él, se crea una superficie en forma de anillo circular: un toro.

Quando a geratriz é um círculo, e quando o eixo de rotação está no plano desse círculo, ou mesmo tangencial a ele ou fora dele, gera-se uma superfície toroidal.

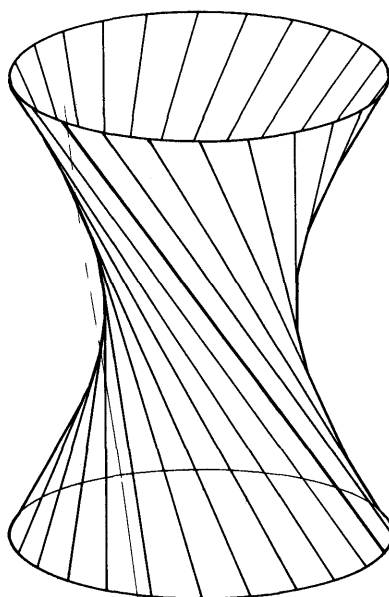


toro

toro

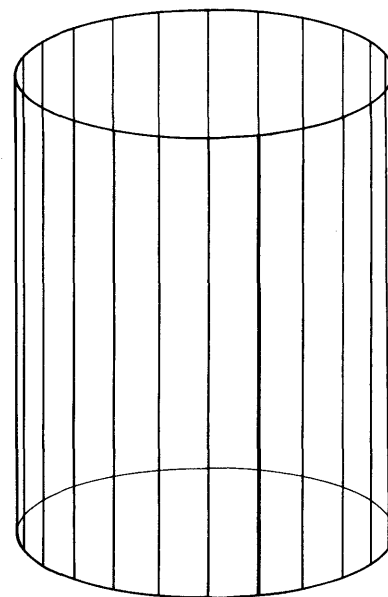


conos invertidos



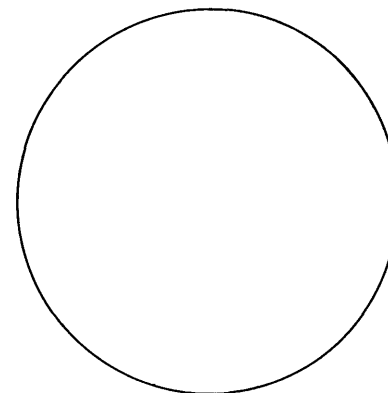
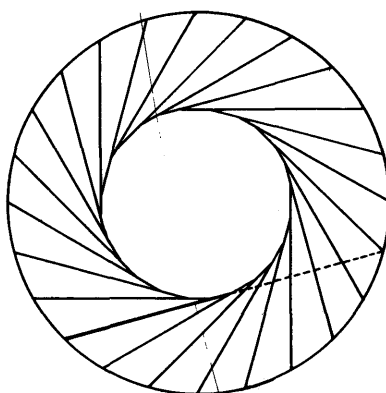
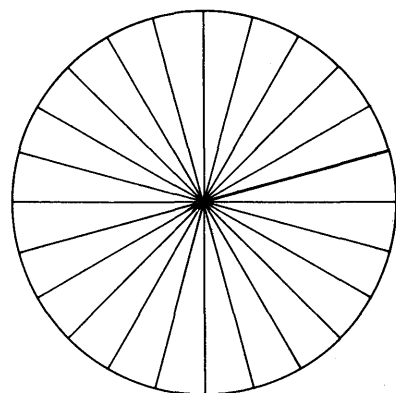
hiperboloide

hiperboloide



cilindro circular

cilindro circular

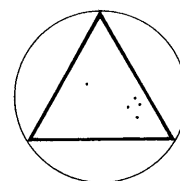
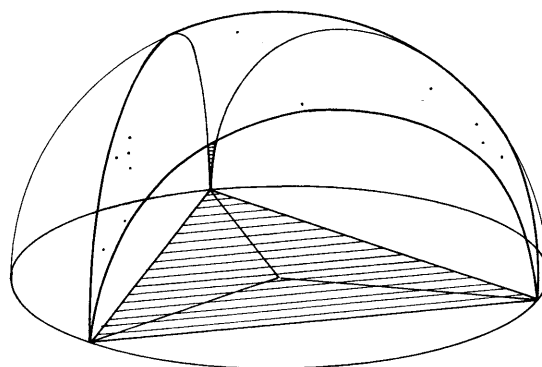


Si la generatriz es una recta se crean, según cual sea su posición en el espacio respecto al eje de revolución, las superficies típicas: cono, hiperboloide y cilindro.

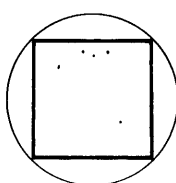
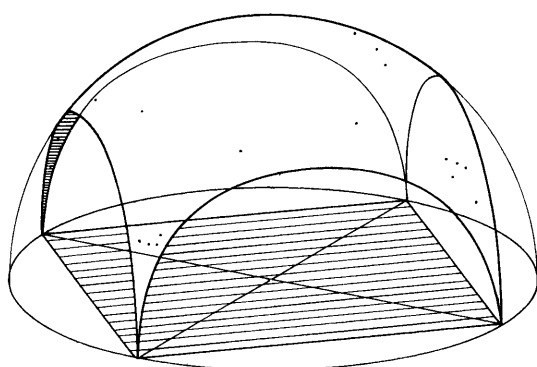
Quando a geratriz for uma linha reta, dependendo de sua posição no espaço com relação ao eixo de rotação, surgirão superfícies típicas de cone, de hiperboloide ou de cilindro.

Superficies semiesféricas para geometrías  
de aristas rectas en planta

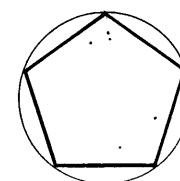
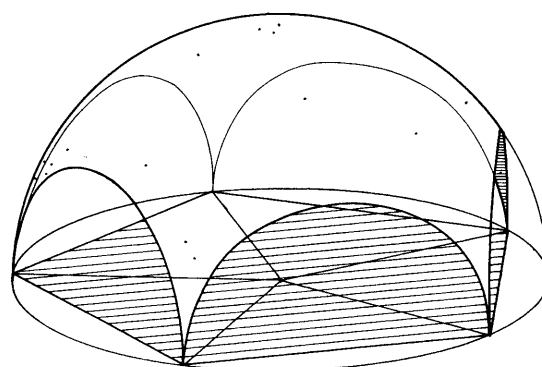
Superficies semi-hemisféricas para plantas  
de geometría retilínea



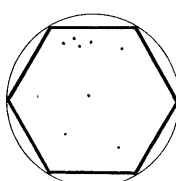
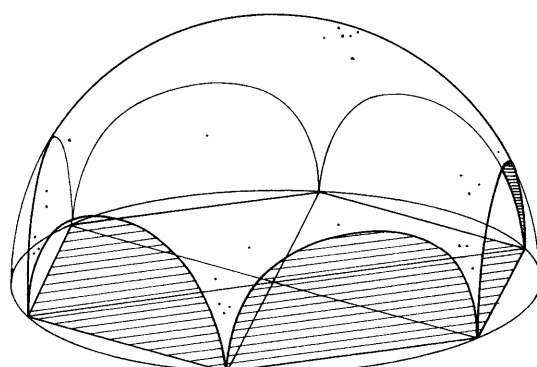
planta triangular  
planta triangular



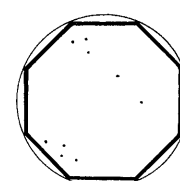
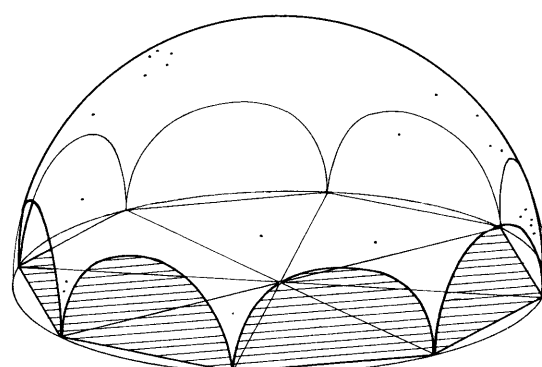
planta cuadrada  
planta cuadrada



planta pentagonal  
planta pentagonal



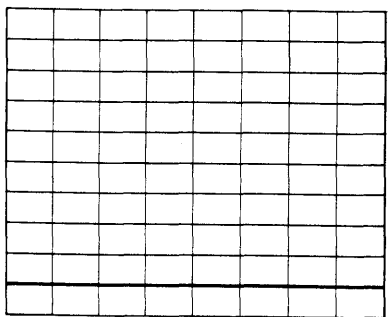
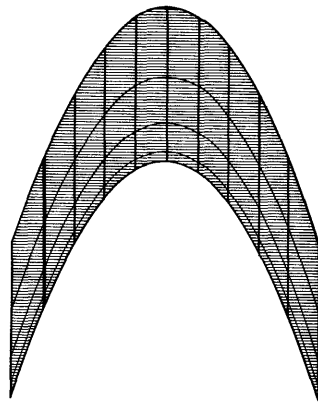
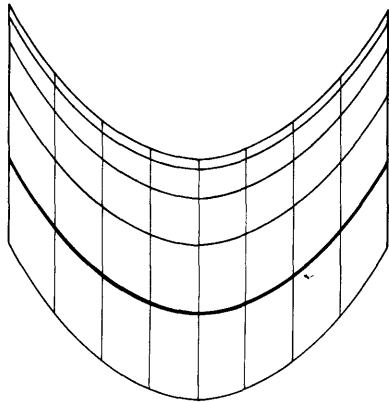
planta hexagonal  
planta hexagonal



planta octogonal  
planta octogonal

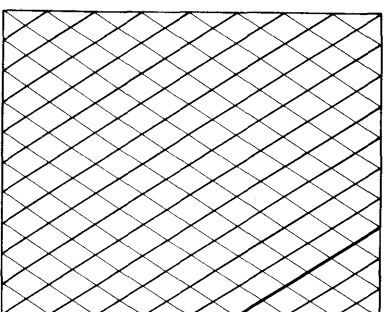
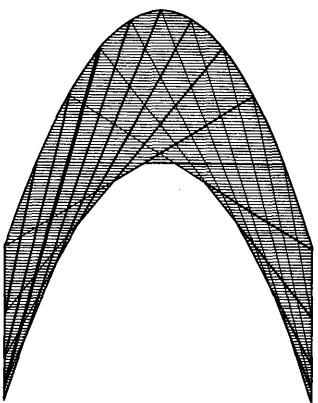
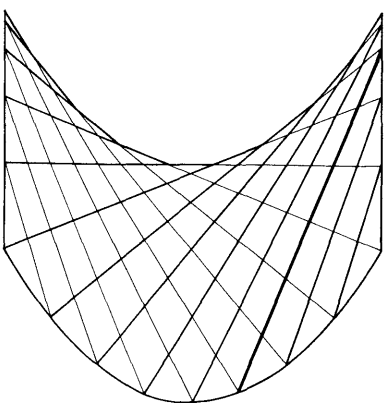
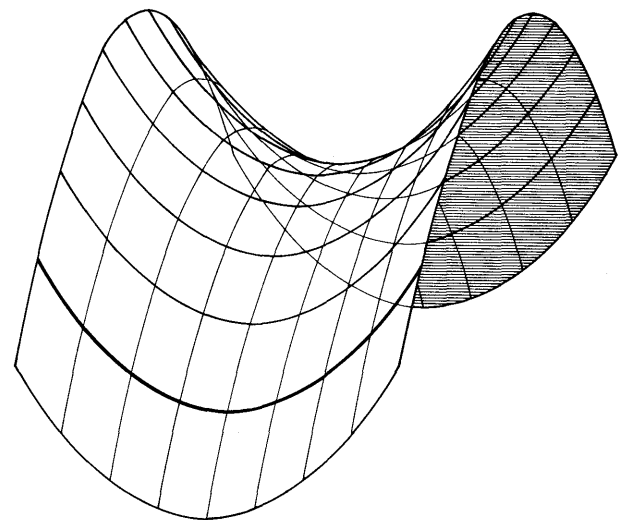
Generación de superficies en forma de paraboloides hiperbólicos

Geração de "superfícies hp" (parabolóide hiperbólico)



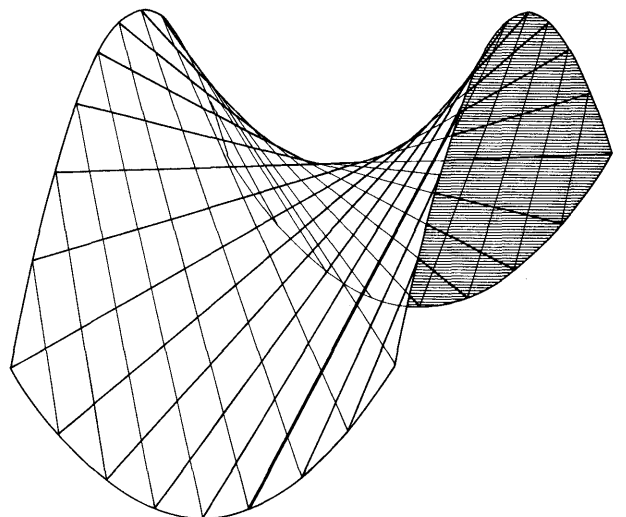
Generación como superficie de traslación: se deslaza una parábola suspendida (generatriz) a lo largo de una parábola vertical (directriz), o a la inversa.

Geração como superfície de translação: a parábola suspensa (geratriz) desliza ao longo da parábola perpendicular (diretriz), ou inversamente.

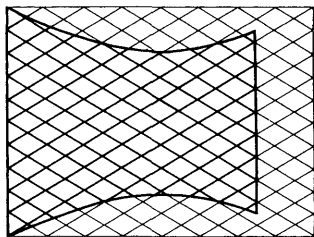
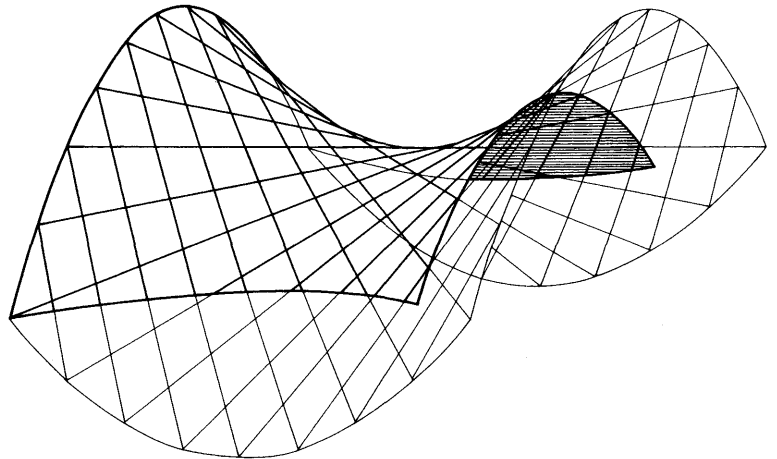
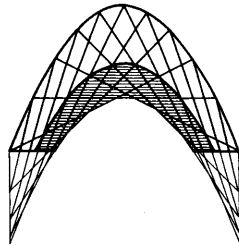
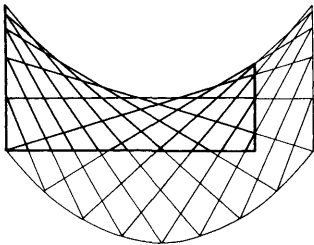


Generación como superficie reglada: la generatriz recta se deslaza a lo largo de dos parábolas o de dos rectas que no se encuentren en el mismo plano (directrices).

Geração como superfície regulada: a linha reta (geratriz) desliza sobre duas parábolas ou sobre duas linhas retas (diretrizes) que não estão em mesmo plano.

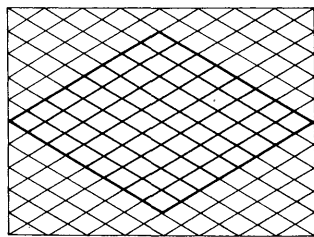
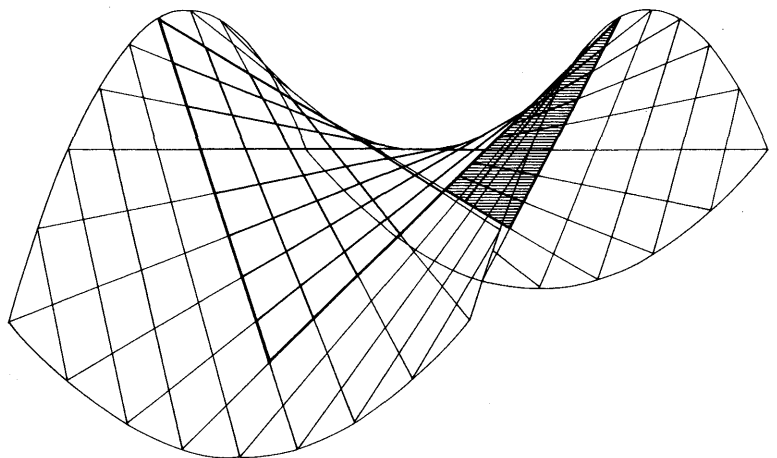
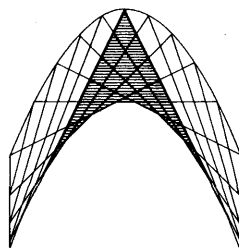
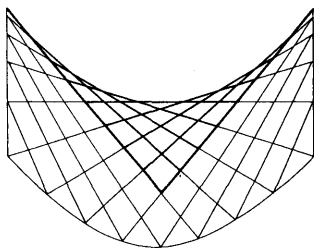


## Curvas de sección de los paraboloides hiperbólicos

Curvas seccionais de superficies "hp"  
(parabolóide hiperbólico)

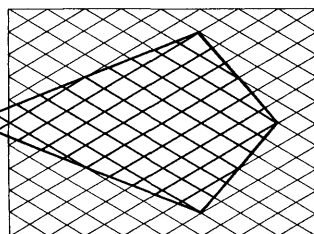
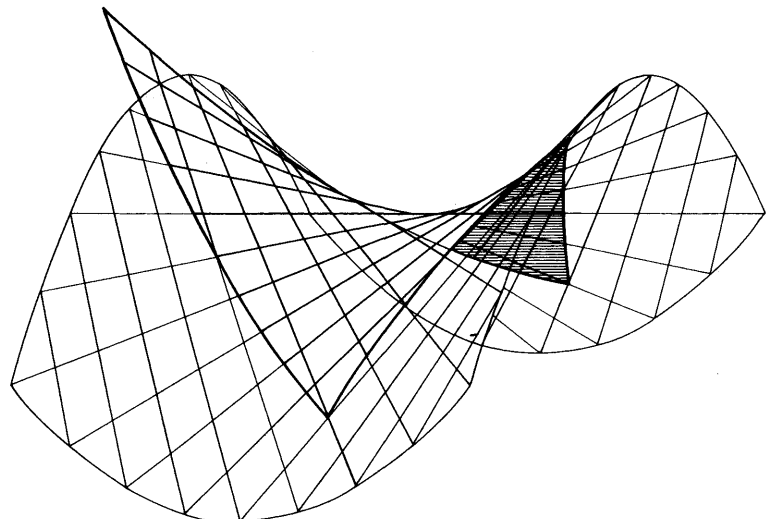
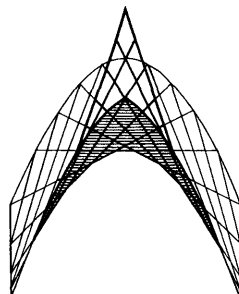
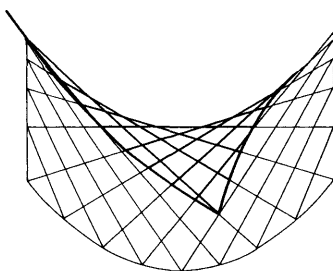
De las secciones verticales resultan parábolas, de las secciones horizontales se obtienen hipérbolas

Seções verticais produzem parábolas, seções horizontais produzem hipérbolas



De las secciones verticales paralelas a la generatriz (interpretación como superficie reglada) se obtienen líneas rectas

Seções verticais paralelas à geratriz (interpretação como superfície reglada) produzem linhas retas



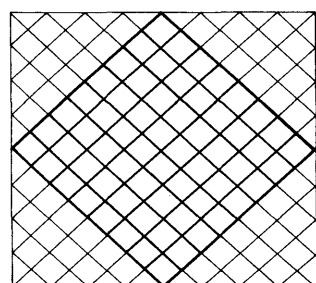
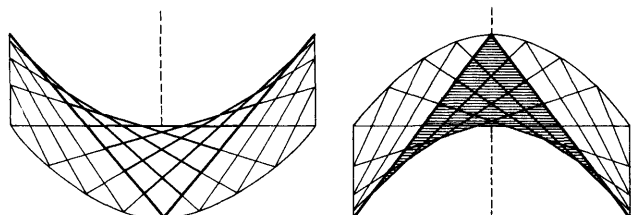
De las secciones verticales en ángulo respecto a la generatriz se obtienen parábolas cóncavas y/o convexas

Seções verticais inclinadas com relação à geratriz produzem parábolas convexas e/ou côncavas



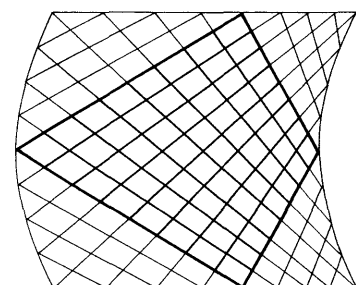
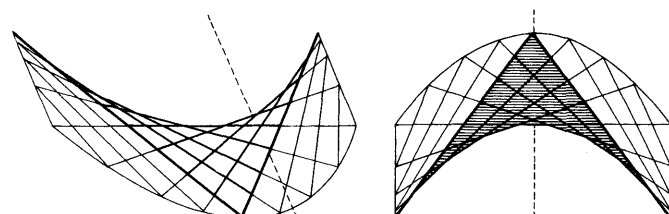
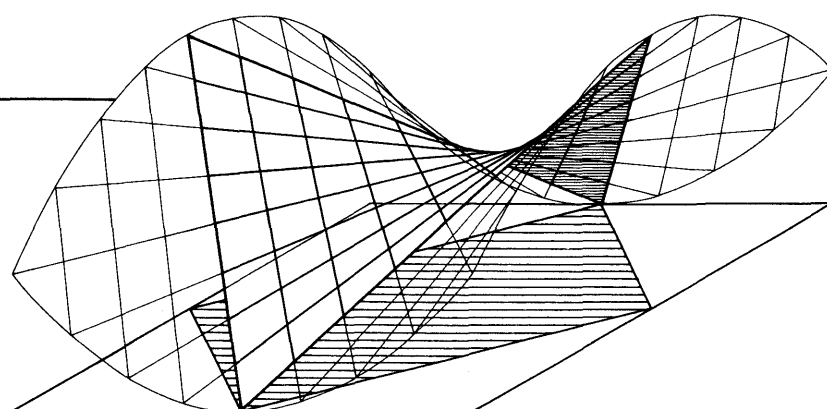
Influencia de la posición en el espacio del eje del paraboloide hiperbólico sobre la forma de la superficie y la planta

Influência da posição do eixo "hip" no espaço sobre a forma da superfície e da planta



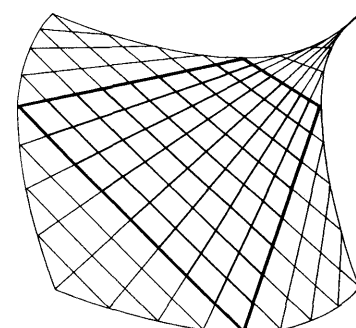
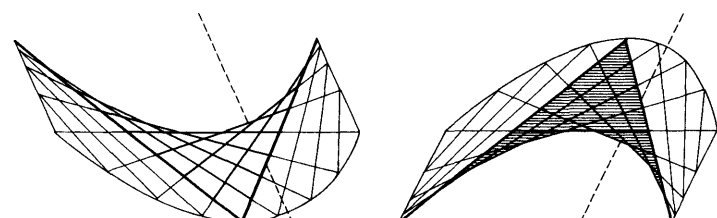
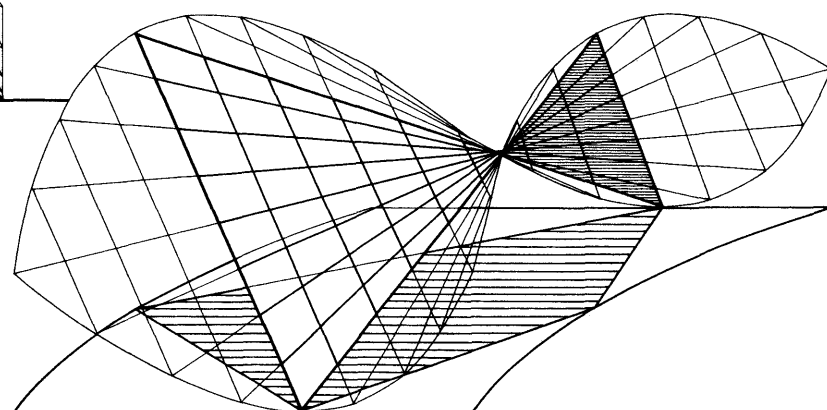
Eje del paraboloide hiperbólico vertical en ambos alzados

Eixo "hip" vertical em ambas as elevações



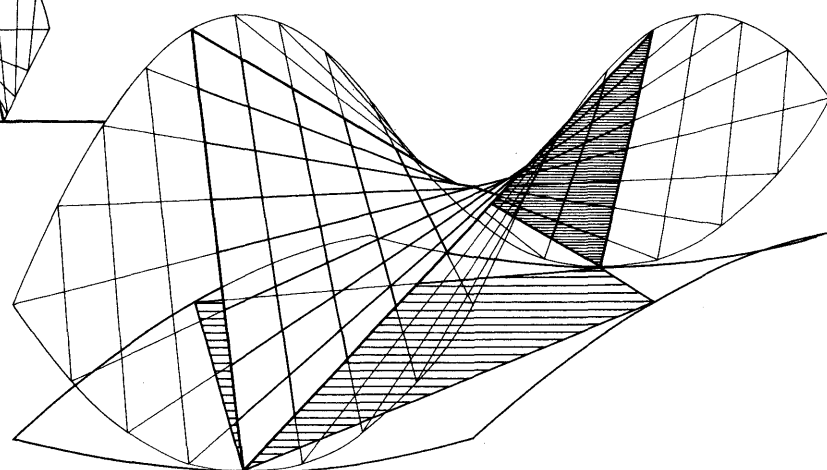
Eje del paraboloide hiperbólico inclinado en un alzado

Eixo "hip" inclinado em uma elevação



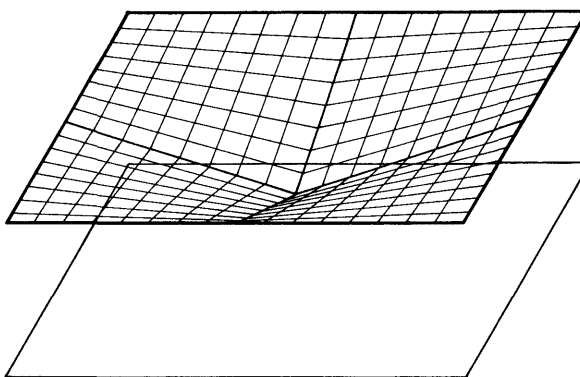
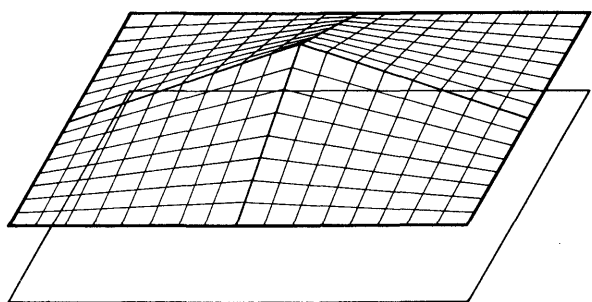
Eje del paraboloide hiperbólico inclinado en ambos alzados

Eixo "hip" inclinado em ambas as elevações

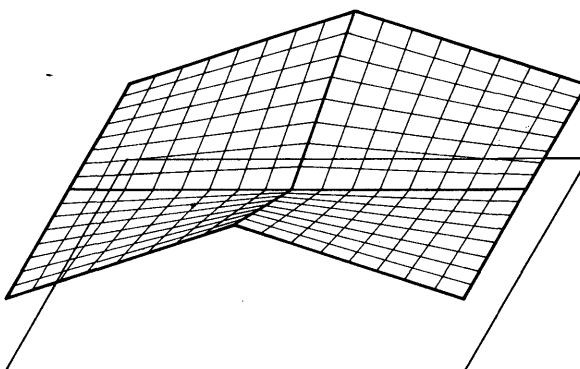
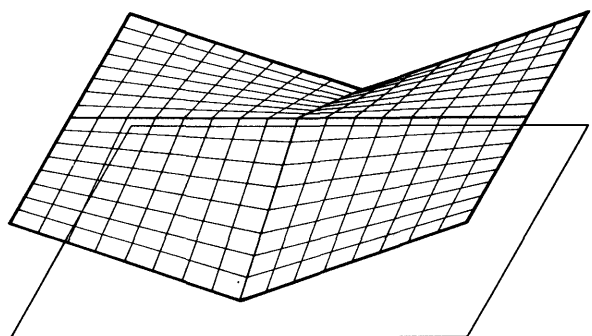


Composiciones con 4 paraboloides hiperbólicos sobre una planta cuadrada

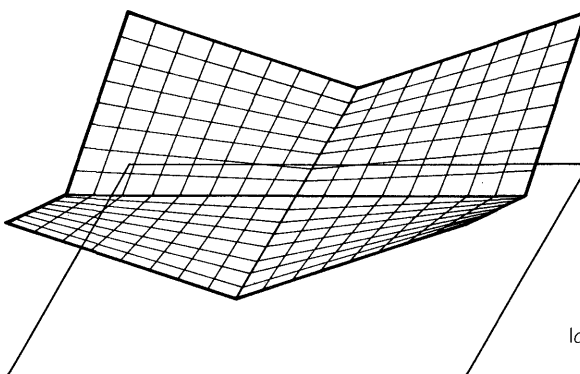
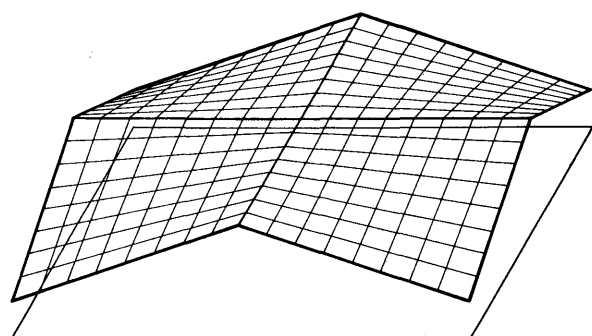
Composições de 4 superfícies "hp" sobre planta quadrada



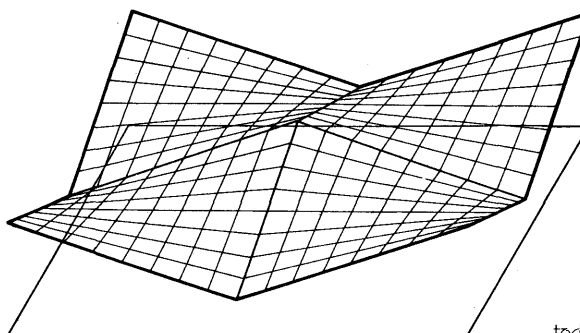
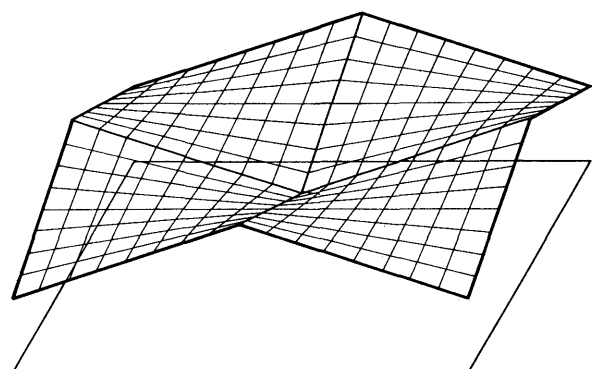
los cuatro lados a la misma altura  
todas as 4 bordas em nível



2 lados y 2 pliegues a la misma altura  
2 bordas, 2 dobras em nível



los 4 pliegues a la misma altura  
todas as 4 dobras em nível



todos los lados y todos los pliegues inclinados  
todas as bordas e dobras inclinadas

# Bibliografía

## Bibliografia

- Ackermann, Kurt, *Tragwerke in der konstruktiven Architektur*, Stuttgart, 1988
- Ambrose, James, *Structure Primer*, Los Angeles, 1963
- Ambrose, James, *Building Structures*, New York, 1993; (versión castellana/edição em espanhol: *Estructuras* (2ª edición), Limusa, Ciudad de México, 1997)
- Angerer, Fred, *Bauen mit tragenden Flächen*, München, 1960; (versión castellana/edição em espanhol: *Construcción laminar: elementos y estructuración*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1961)
- Bachmann, Hugo, *Hochbau für Ingenieure*, Stuttgart, 1994
- Becker, Gerd, "Tragkonstruktionen des Hochbaues", parte 1. *Konstruktionsgrundlagen*, Düsseldorf, 1983
- Bill, Max, Robert Maillart, *Brücken und Konstruktionen*, Zürich, 1965
- Borrego, John, *Skeletal Frameworks and Stressed Skin Systems*, Cambridge (Mass.), 1968
- Brennecke, Wolfgang; Folkerts, Heiko; Haferland, Friedrich; Hart, Franz, *Dachatlas*, München, 1975
- Büttner, Oskar; Hampe, Erhard, *Bauwerk Tragwerk Tragstruktur*, vols. 1/2, Berlin, 1977-1984
- Catalano, Eduardo, "Structures of Warped Surfaces", *Student Publication*, vol. 19, n° 1, Raleigh, North Carolina
- Contini, Edgardo, *Design and Structure*, Progressive Architecture, New York, 1958
- Cowan, Henry J., Wilson, Forrest, *Structural Systems*, New York, 1981
- Corkill, Puderbaugh, Sawyers, *Structure and Architectural Design*, Elridge (Iowa), 1984
- Critchlow, Keith, *Order in Space*, New York, 1978
- Domke, Helmut, *Grundlagen konstruktiver Gestaltung*, Wiesbaden, Berlin, 1972
- Dubas & Gehri, *Stahlhochbau*, 1988
- Faber, Colin, *Candela - The Shell Builder*, New York, 1963; (versión castellana/edição em espanhol: *Las estructuras de Candela*, CECSA, Ciudad de México, 1970)
- Feininger, Andreas, *Anatomy of Nature*, New York, 1956
- Führer, Wilfried; Ingendaaij, Susanne; Stein, Friedhelm, *Der Entwurf von Tragwerken*, Köln-Braunsfeld, 1984
- Gheorghiu, Adrian; Dragomir, Virgil, *Geometry of Structural Forms*, London, 1978
- Götz, Karl-Heinz; Hoor, Dieter; Möhler, Karl; Natterer, Julius, *Holzbau-Atlas*, München, 1978
- Hart, Franz, *Kunst und Technik der Wölbung*, München, 1965
- Hart, Franz; Henn, Walter; Sonntag, Hans-Jürgen, *Stahlbauatlas*, Augsburg/Köln, 1982; (versión castellana/edição em espanhol: *Atlas de construcción metálica*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1976)
- Heidegger, Martin, *Die Frage nach der Technik*. Tübingen, 1954
- Herget, Werner, *Tragwerkslehre*, Stuttgart, 1993
- Herzog, Thomas, *Pneumatische Konstruktionen*, Stuttgart, 1976; (versión castellana/edição em espanhol: *Construcciones neumáticas: manual de arquitectura hinchable*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1977)
- Howard, Seymour, "Structural Forms", *Architectural Record*, New York, 1951-1961
- IL 21: *Grundlagen - Basics*, Stuttgart, 1979
- IL 27: *Natürlich Bauen*, Stuttgart, 1980
- IL 32: *Leichtbau in Architektur und Natur*, Stuttgart, 1983
- Joedicke, Jürgen, *Schalenbau*, Stuttgart, 1962
- Klinckowstroem, Carl Graf von, *Geschichte der Technik*, München/Zürich, 1959; (versión castellana/edição em espanhol: *Historia de la técnica: del descubrimiento del fuego a la conquista del espacio*, Labor, Barcelona, 1965)
- Kraus, Franz; Führer, Wilfried; Neukäter, Hans-Joachim, *Grundlagen der Tragwerklehre 1*, Köln-Braunsfeld, 1980
- Kraus, Franz; Willems, Claus Christian, *Grundlagen der Tragwerklehre 2*, Köln-Braunsfeld
- Leder, Gerhard, *Hochbaukonstruktionen*, vol. 1: *Tragwerke*, Berlin, 1985
- Mann, Walther, *Vorlesungen über Statik und Fertigungslehre*, Stuttgart, 1986; (versión castellana/edição em espanhol: *Fundamentos de cálculo avanzado*, Limusa, Ciudad de México, 1989)
- Marks, Robert W., *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*, New York, 1960
- Makowski, Z.S., "Raumtragwerke", *Bauwelt*, Berlin, 1965; (versión castellana/edição em espanhol: *Estructuras espaciales de acero*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1968)
- Mengeringhausen, Max, *Raumfachwerke aus Stäben und Knoten*, Würzburg, 1975
- Nervi, Pier Luigi, *Structures*, New York, 1956; (versión castellana/edição em espanhol: *Pier Luigi Nervi: construcciones y proyectos*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1958)
- Nervi, Pier Luigi, *Neue Strukturen*, Stuttgart, 1963
- Ortega y Gasset, José, *Ciencia y filosofía*, Alianza, Madrid, 1995
- Otto, Frei, *Das Hängende Dach, Gestalt und Struktur*, Berlin, 1954; (versión castellana/edição em espanhol: *Cubiertas colgantes*, Labor, Barcelona, 1958)
- Otto, Frei, *Lightweight Structures*, Berkeley, 1962
- Pflüger, Alf, *Elementare Schalenstatik*, Berlin - Göttingen - Heidelberg, 1960
- Rapp, Robert, *Space Structures in Steel*, New York, 1961
- Roland, Conrad, *Frei Otto - Spannweiten*, Berlin - Frankfurt a. M., 1965; (versión castellana/edição em espanhol: *Frei Otto. Estructuras. Estudios y trabajos sobre la construcción ligera*, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1973)
- Rosenthal, H. Werner, *Structure*, London, 1972; (versión castellana/edição em espanhol: *La estructura*, Blume, Madrid, 1975)
- Salvador, Mario, "Teaching Structures to Architects", *Journal of Architectural Education*, Greenville (South Carolina), 1958
- Salvador, Mario, Heller, Robert, *Structure in Architecture*, Englewood Cliffs, New York, 1963
- Salvador, Mario; *Why Buildings Stand up*, New York, 1980
- Sandacker, Björn Norman; Eggen, Arne Petter, *Die konstruktiven Prinzipien der Architektur*, Basel, 1994
- Schadewaldt, Wolfgang, *Natur - Technik - Kunst*, Göttingen - Berlin - Frankfurt a. M., 1960
- Siegel, Curt, *Strukturformen der Modernen Architektur*, München, 1960; (versión castellana/edição em espanhol: *Formas estructurales en la arquitectura moderna*, Compañía Continental, Ciudad de México, 1966)
- Timber, Companion, *Kukan Kozu e no Appurochi*, Tokyo, 1990
- Torroja, Eduardo, *Razón y ser de los tipos estructurales*, CSIC, Madrid, 1991
- Wachsmann, Konrad, *Wendepunkte im Bauen*, Wiesbaden, 1959
- Wilson, Forrest, *Structure - The Essence of Architecture*, New York, 1971
- Wormuth, Rüdiger, *Grundlagen der Hochbaukonstruktion*, Düsseldorf, 1977
- Zuk, William, *Concepts of Structure*, New York, 1963

**Sistemas de estructuras** se caracteriza por la concisa definición y organización de sus temas. Se ordena el mundo de las estructuras, por primera vez de manera convincente, según un único criterio que permite acceder a los múltiples sistemas estructurales. Para alcanzar este objetivo se prescinde al máximo de textos teóricos y cálculos matemáticos y, en vez de ello –otra característica de este libro– se emplea como medio de transmisión, página por página, el lenguaje gráfico.

Explícitas ilustraciones muestran el comportamiento complejo de los sistemas de estructuras y la relación entre estructura y forma arquitectónica. Con ello, el proyectista –arquitecto, ingeniero o estudiante– puede adquirir desde una visión general al conocimiento particular para elaborar ideas estructurales.

Tras más de 30 años de existencia, este libro sigue siendo hoy, en esta versión actualizada, el manual de referencia en la materia.

**Sistemas estruturais** caracteriza-se pela concisa definição e organização de seus temas. O mundo das estruturas é ordenado, por primeira vez de maneira convincente, segundo um único critério, permitindo deste modo o acesso aos múltiplos sistemas estruturais. Para alcançar este objetivo, prescinde-se ao máximo de textos teóricos e cálculos matemáticos e, em vez disso –outra característica desse livro– utiliza-se como meio de comunicação, página trás página a linguagem gráfica.

Explícitas ilustrações mostram o comportamento complexo dos sistemas estruturais e a relação entre estrutura e forma arquitetônica. Conseqüentemente, o projetista –arquiteto, engenheiro ou estudante– pode adquirir desde uma visão geral ao conhecimento específico para elaborar idéias estruturais.

Após mais de 30 anos de existência, este livro continua sendo hoje, nesta visão atualizada, o manual de referência na matéria.