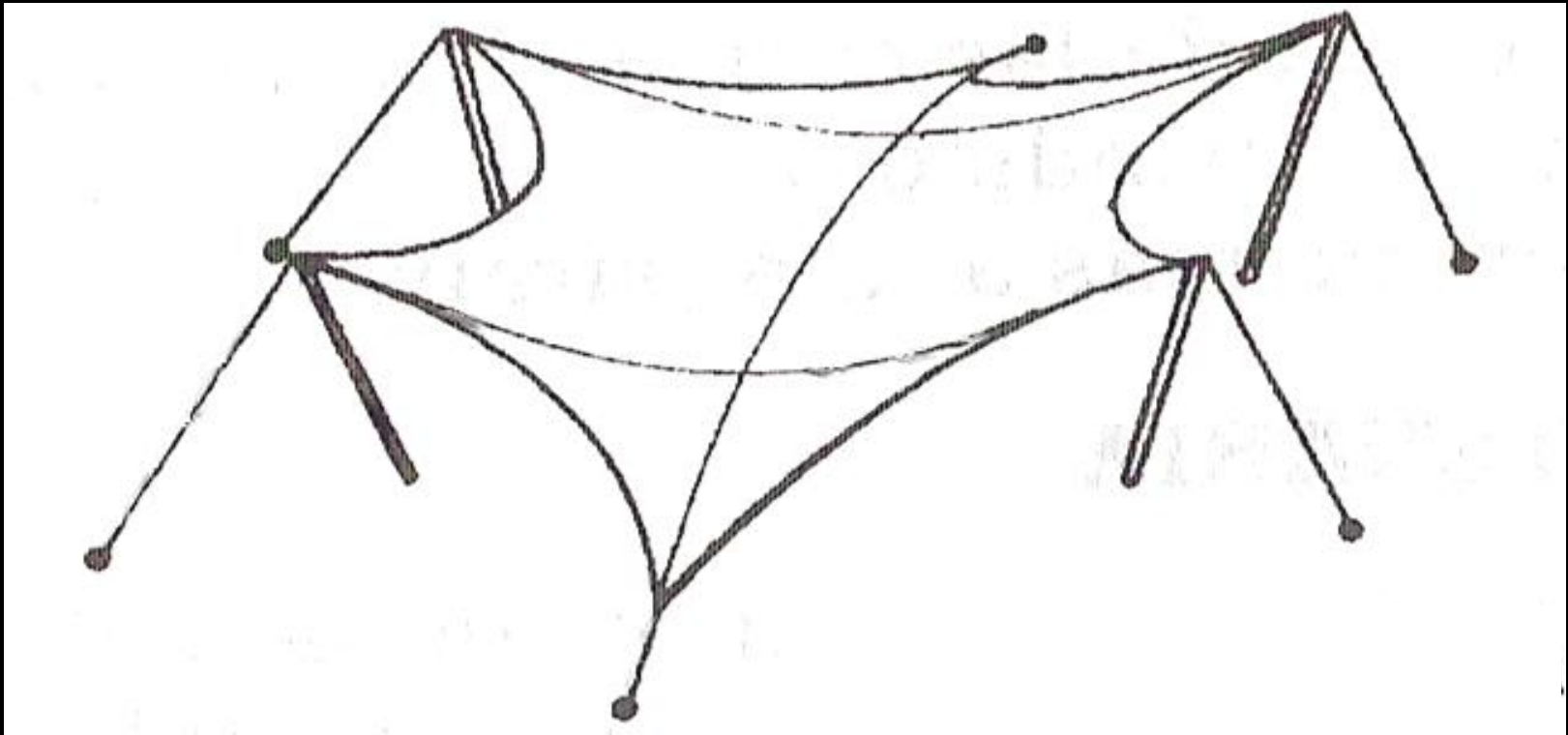
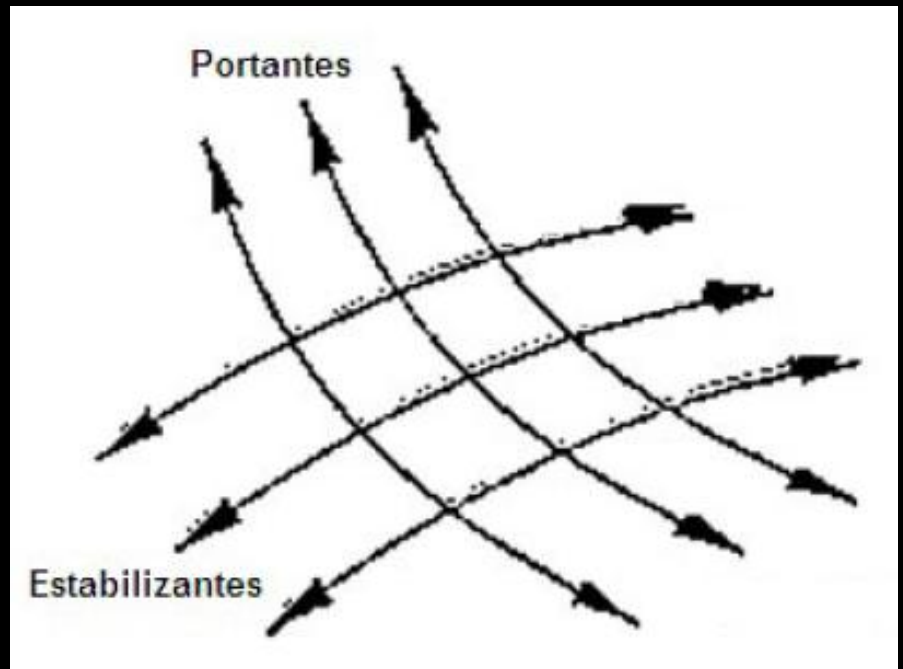
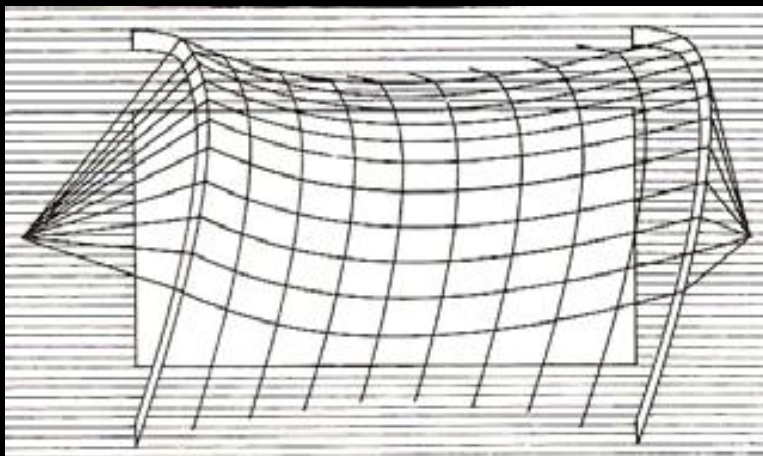
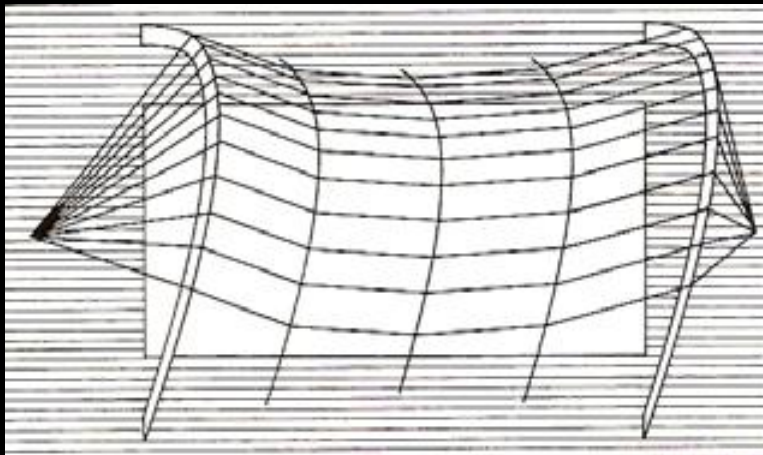
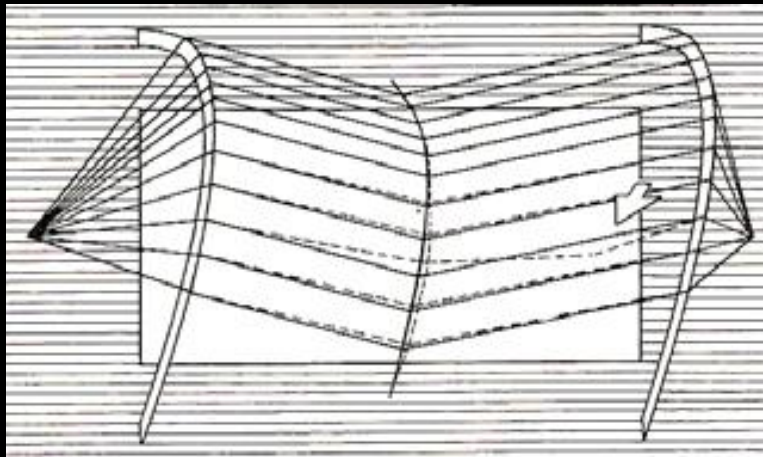


ESTRUCTURAS DE TRACCION 3





doble familia de cables o hilos en dos direcciones perpendiculares, cada punto pertenece a dos curvaturas contrarias, de forma que para cualquier dirección de la carga, se produzcan tensiones de tracción en los cables, con lo que se obtienen formas de doble curvatura (ANTICLASTICAS).

TENSION PREVIA

GARANTIZAR QUE LOS CABLES TRABAJEN SIEMPRE A TRACCION MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UNA SOLICITACION PREVIA DE TRACCION IGUAL O MAYOR A LAS CARGAS DE SERVICIO.

¿COMO SE APLICA LA TENSION PREVIA?

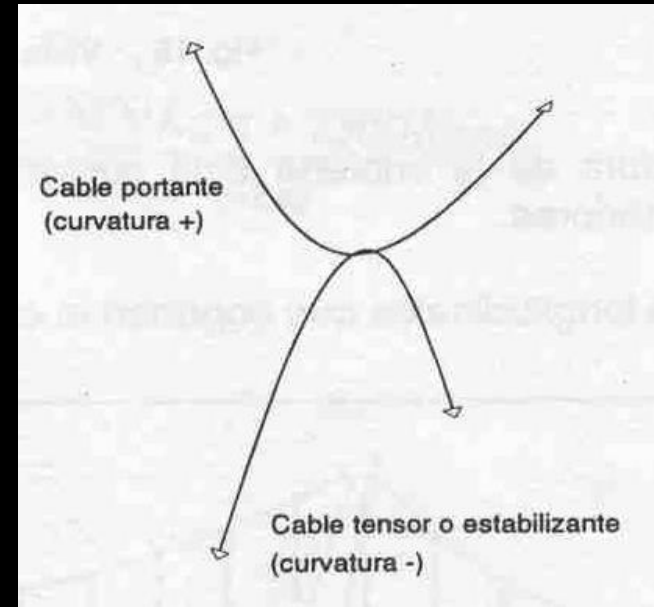
MEDIANTE OTRA FAMILIA DE CABLES DE CURVATURA OPUESTA, LO CUAL PERMITE APLICAR ESFUERZOS EN SENTIDO OPUESTO, ASEGURANDO ASI EL TRABAJO A TRACCION.

CABLES PORTANTES:

SOPORTAN CARGAS GRAVITACIONALES TIENEN CURVATURA POSITIVA

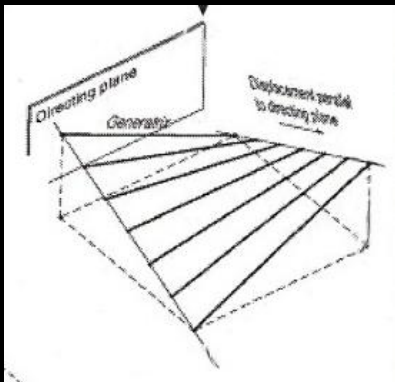
CABLES TENSORES O ESTABILIZANTES:

SOPORTAN LA SUCCION DEL VIENTO Y PERMITEN TENSAR LA ESTRUCTURA PARA ESTABILIZAR SU FORMA. CURVATURA NEGATIVA.

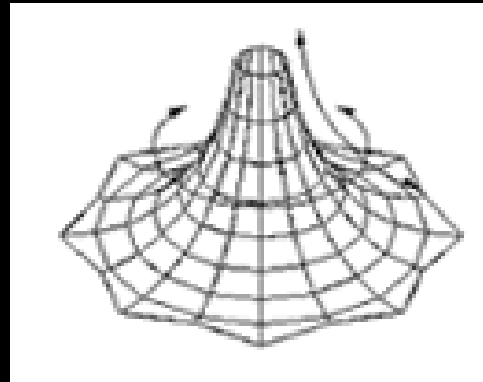
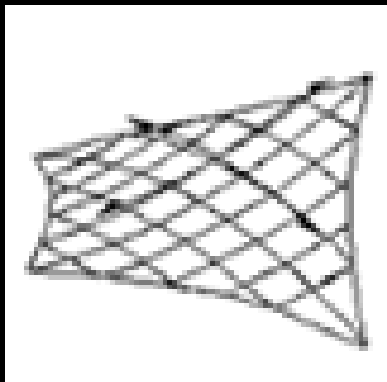


DOS FAMILIAS DE CABLES CURVATURA OPUESTA

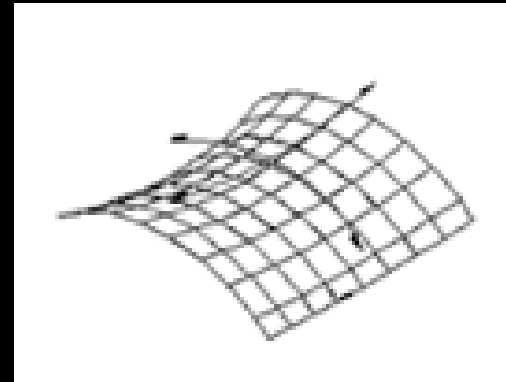
FORMAS BASICAS



PARABOLOIDE HIPERBOLICO

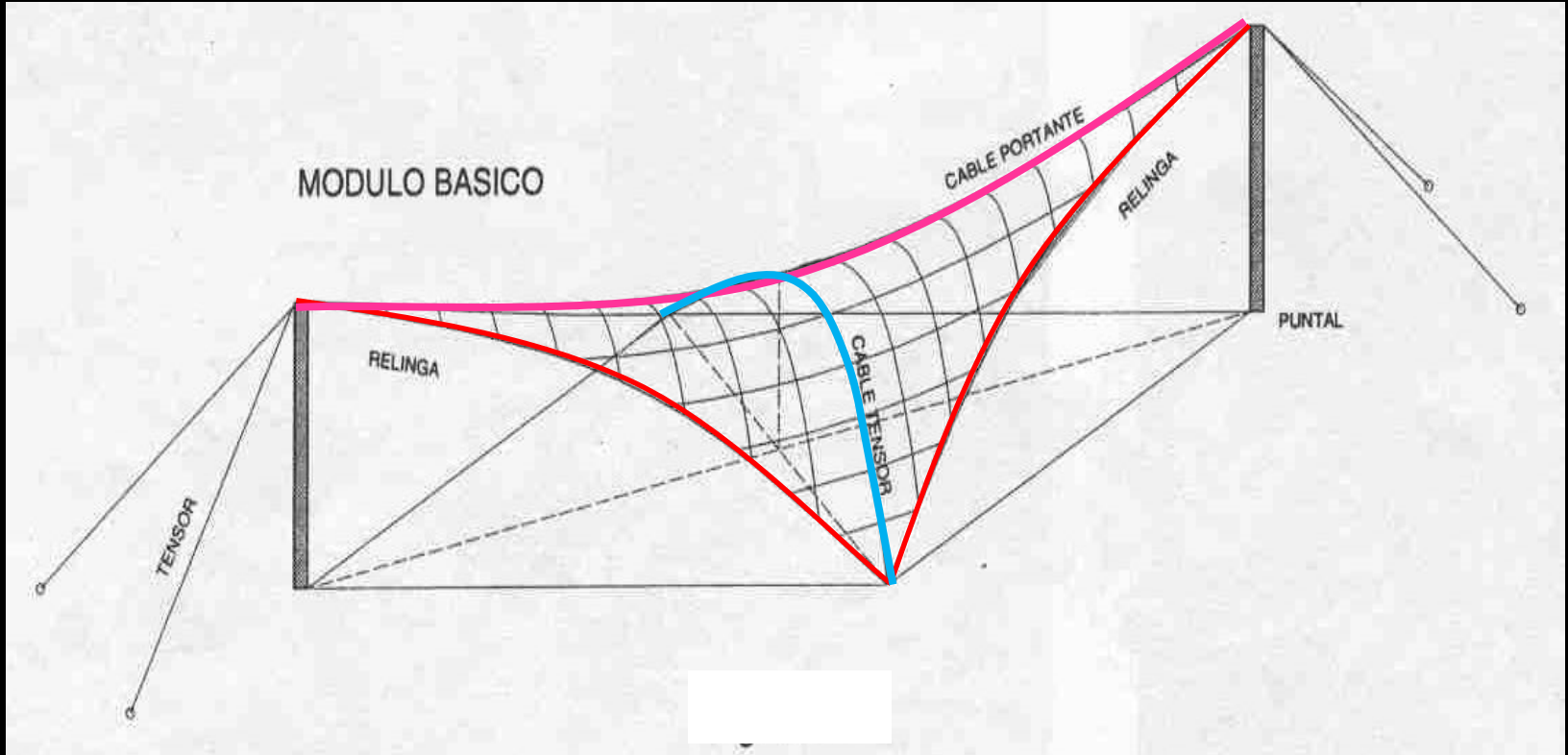


CONOIDE

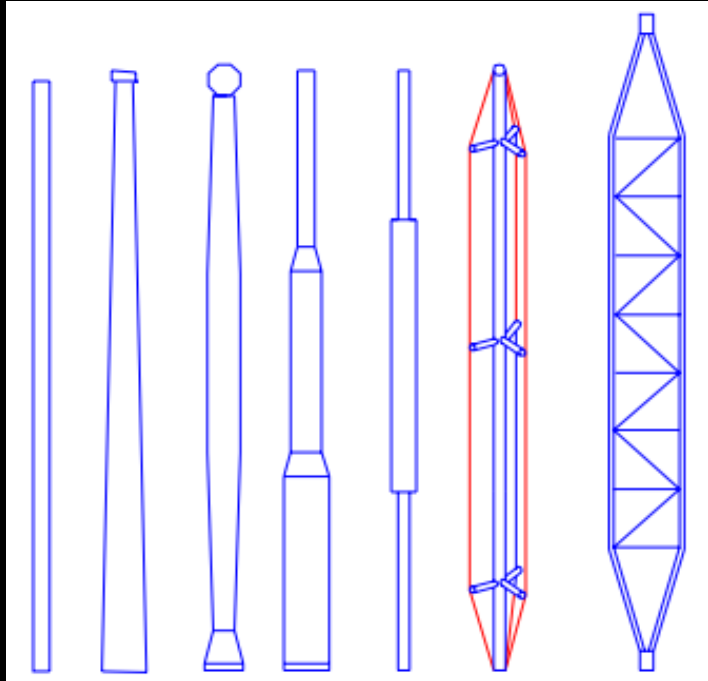


ARCOS

MODULO BASICO DE UNA TENSOESTRUCTURA



- DOS FAMILIAS DE CABLES OPUESTAS: **PORTANTE Y ESTABILIZANTE**
- SUPERFICIE EN FORMA DE **PARABOLOIDE HIPERBOLICO**
- TRANSMISION DE ESFUERZOS A **RELINGAS**
- DESCARGA DE FUERZAS A PUNTOS ALTOS (**PUNTALES DE COMPRESION Y TENSORES**) Y BAJOS (**TENSORES**)
- SE COMBINAN **PUNTOS ALTOS Y PUNTOS BAJOS** ALTERNATIVAMENTE



MASTILES

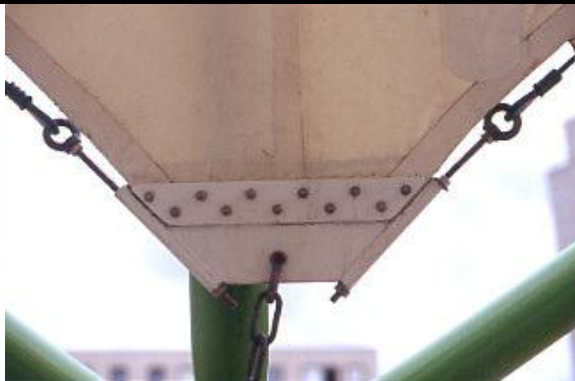
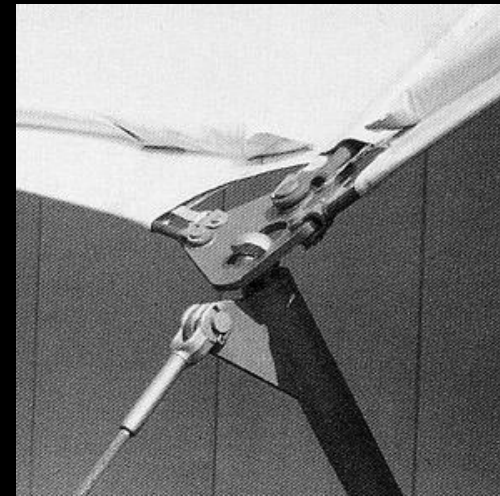
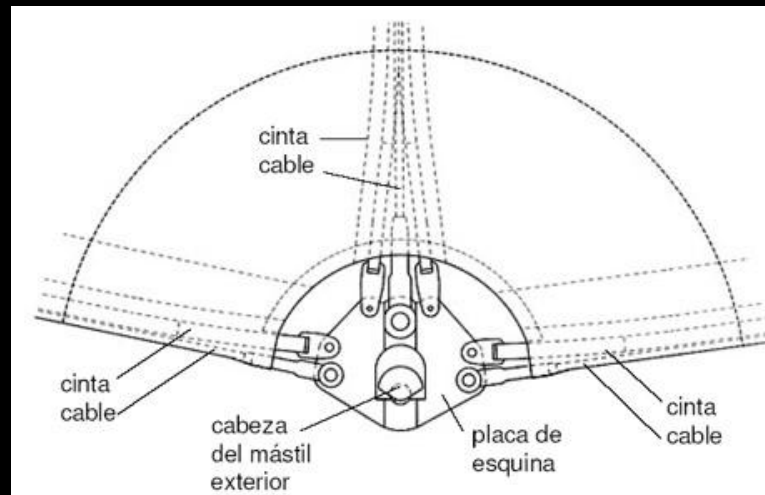
- Estabilizan los puntos altos.
- Transmiten compresión a las reacciones.
- Estabilizados al pandeo.



La estructura de cubierta se apoya mediante elementos auxiliares que permitan repartir las cargas ya que estos puntos se producen las máximas tensiones.

CIERRES DE BORDE

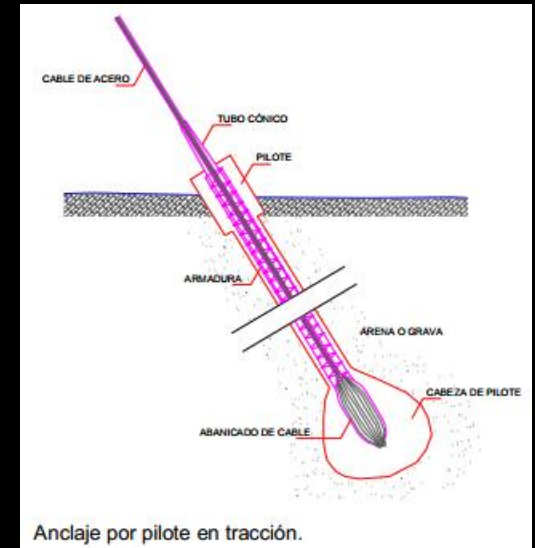
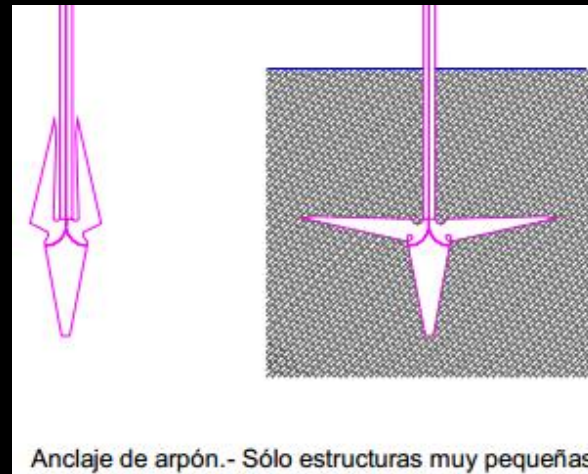
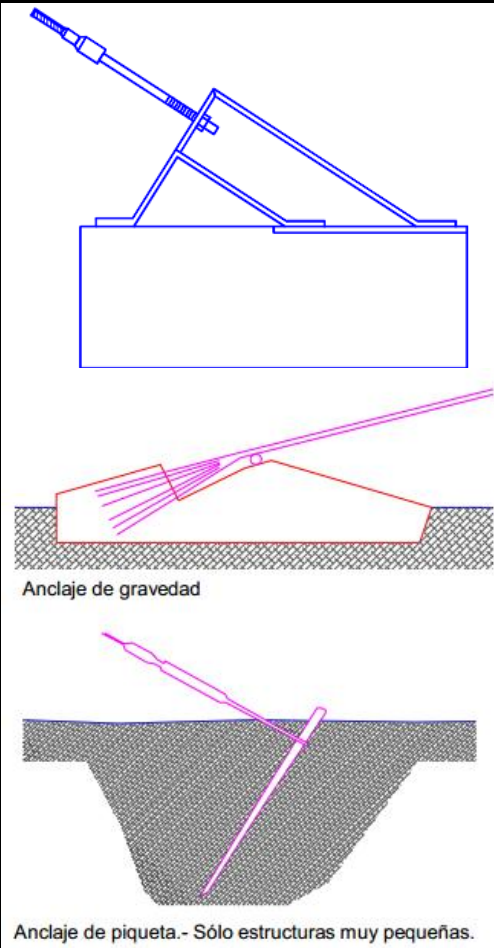
- Refuerzan el borde.
- Recogen todos los esfuerzos y los transmiten a la cimentación o a otros elementos resistentes.
- Pueden ser algunas estructuras rígidas, tales como perfiles metálicos, vigas y celosías trianguladas.
- Se usan cables que adoptan la forma funicular de las cargas que recogen llamados relingas.
- El correcto trazado de las relingas es esencial en el funcionamiento adecuado de la cubierta
- Uniones de relingas : Puños y soluciones especiales.



SISTEMAS CON TENSORES

•Estructuras para fundaciones que trabajan básicamente en tracción

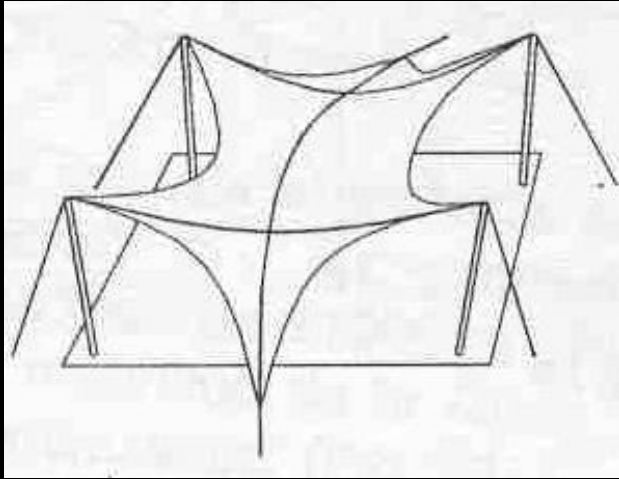
Las tracciones deben transmitirse a las cimentaciones y ser absorbidas mediante disposiciones capaces de resistir el **arrancamiento**



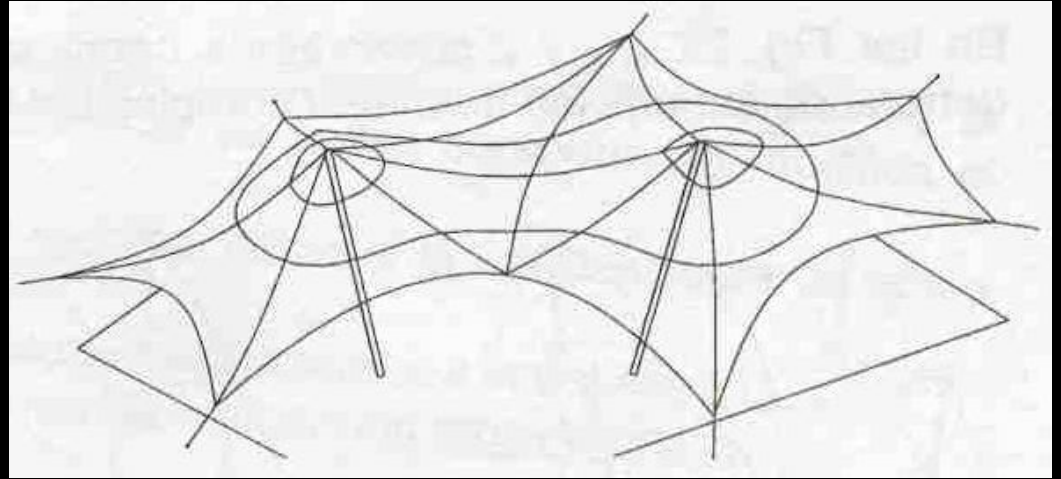
Cimentaciones usuales:

1. Zapatas y bloques masivos que equilibran las tracciones por peso propio
2. Pilotes en tracción
3. Ménsulas ligadas a cimientos comprimidos
4. Anclajes superficiales que se equilibran con el peso de las tierras que arrastran
5. Anclajes profundos, en general metálicos o entubados

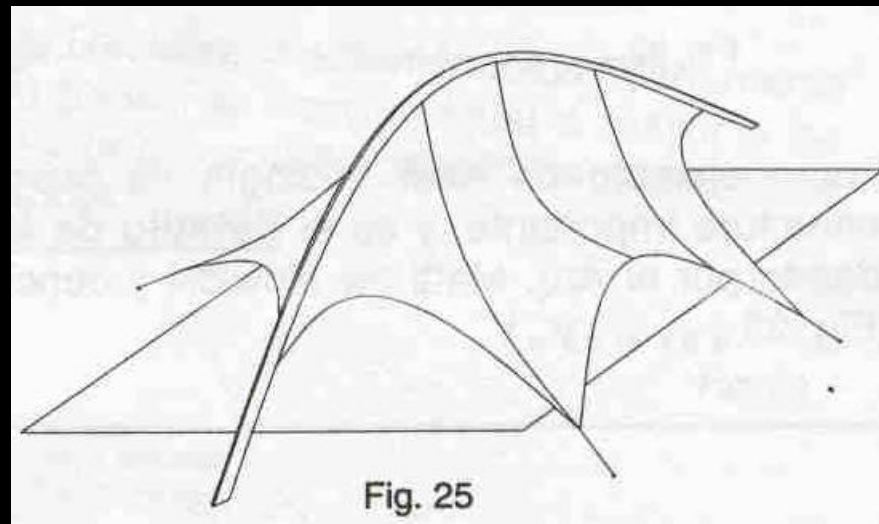
CONFIGURACIONES GEOMETRICAS



MASTILES Y TENSORES EXTERNOS

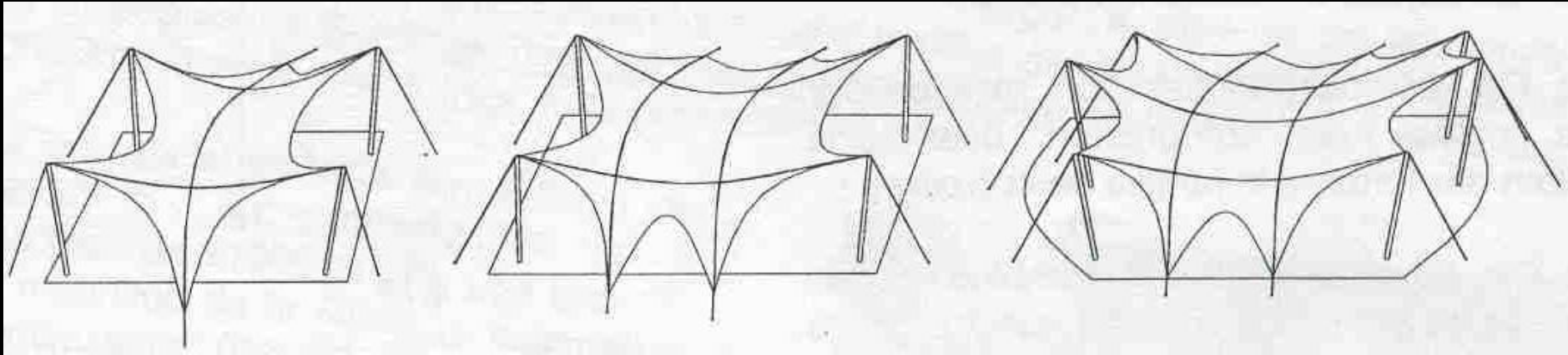


MASTILES INTERNOS Y TENSORES EXTERNOS



ARCOS INTERNOS REEMPLAZAN LOS MASTILES Y TENSORES EXTERNOS

CONFIGURACIONES GEOMETRICAS



INCREMENTO DE PUNTOS ALTOS Y BAJOS



MAYOR COMPLEJIDAD FORMAL



**Intercambiador Las Palmas
(Islas Canarias) 2001**

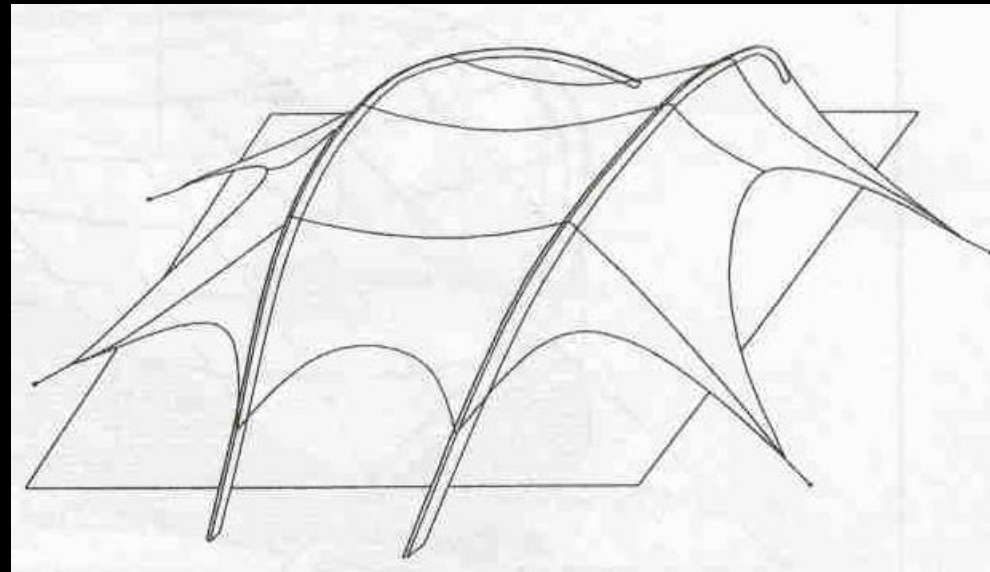
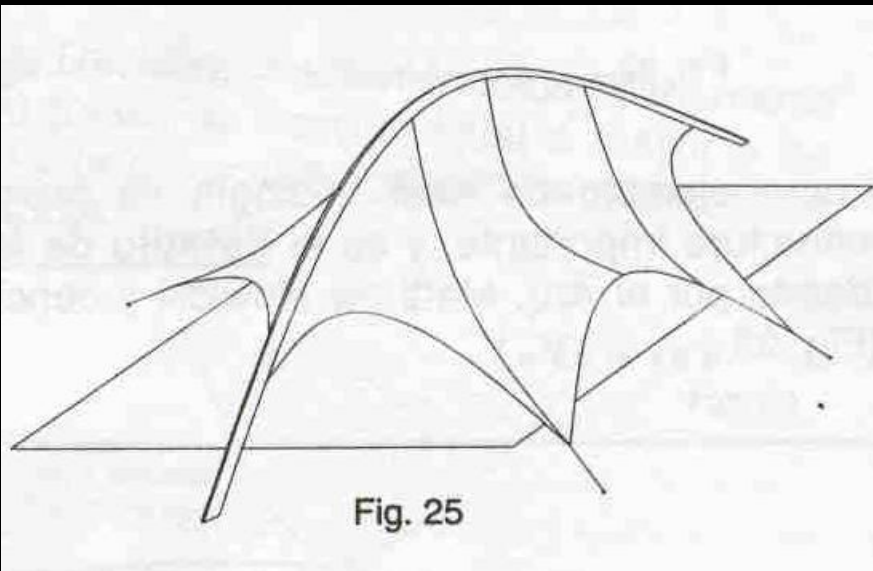


Marquesina de Ingreso



Estilo Pilar 2009

CONFIGURACIONES GEOMETRICAS



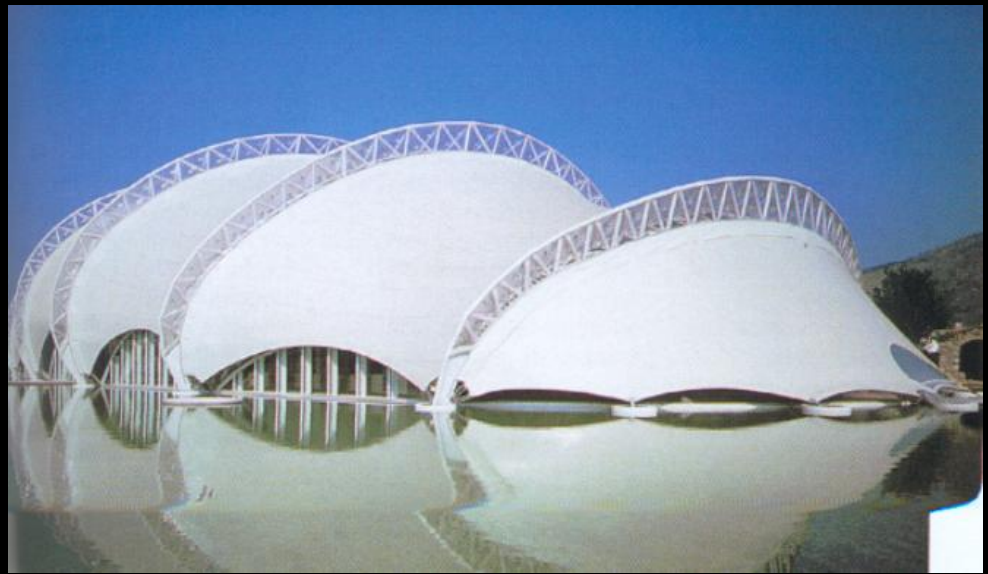
ARCOS DE COMPRESION DOMINANTE
REEMPLAZAN PUNTALES DE COMPRESION



PERMITEN FORMAR CURVAS TENSORAS
SE MANTIENEN TRACCIONADOS LOS CABLES



UMBRACULOS EXPO SEVILLA '92



**M & G Ricerche Center, by Architects: Samyn and Partners.
Structure: IPL Ingenieurplanung Leichtbau GmbH**

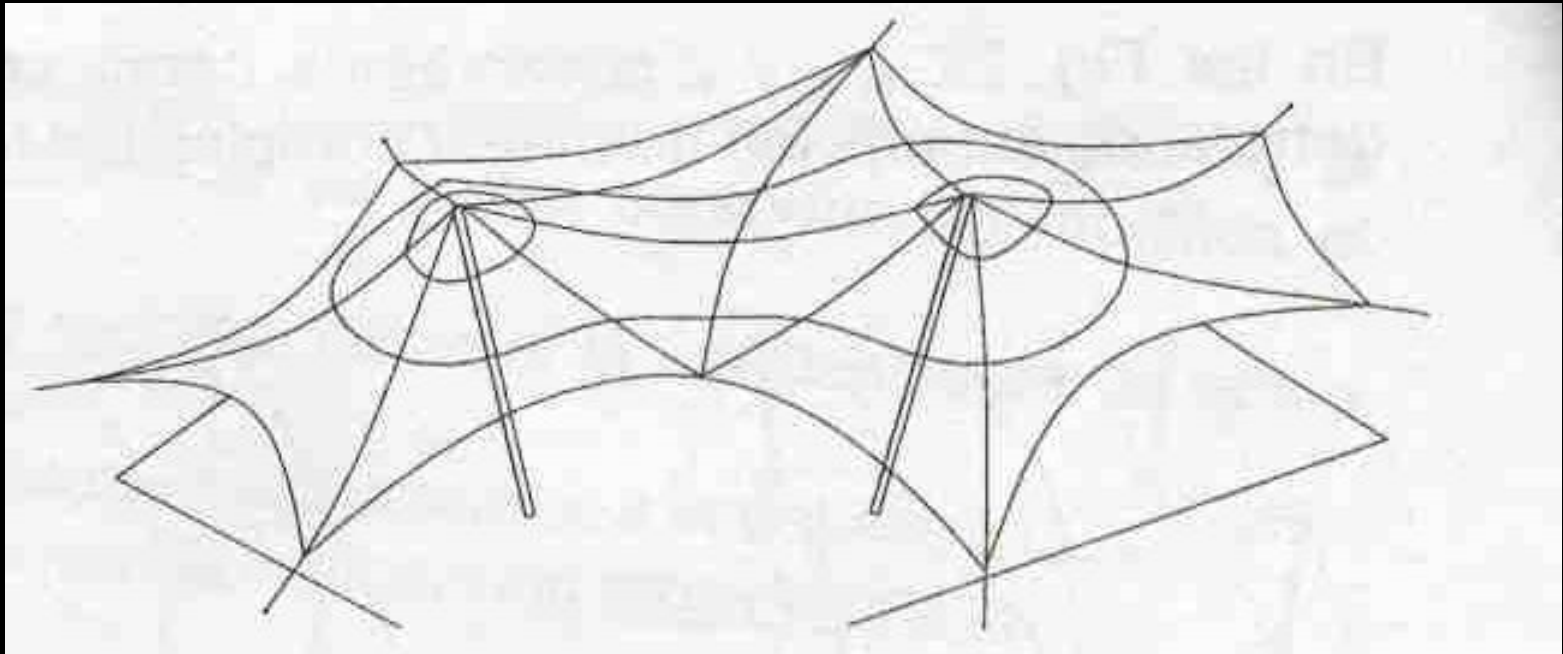


**SODA SHOTEN FISHEY SHOPS
Obihiro, Hokhaido, Japon**

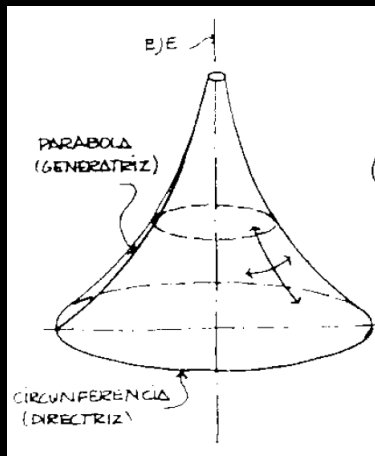


**Tensoestructura de 6.000 m2 para la feria de Milán.
Italia (1986). Proyecto arquitectónico: G. Sgalbazzi**

CONFIGURACIONES GEOMETRICAS



TIENDA CON PUNTOS ALTOS DE COMPRESION EN EL INTERIOR Y PUNTOS BAJOS DE TRACCION EN EL EXTERIOR



CONOIDE

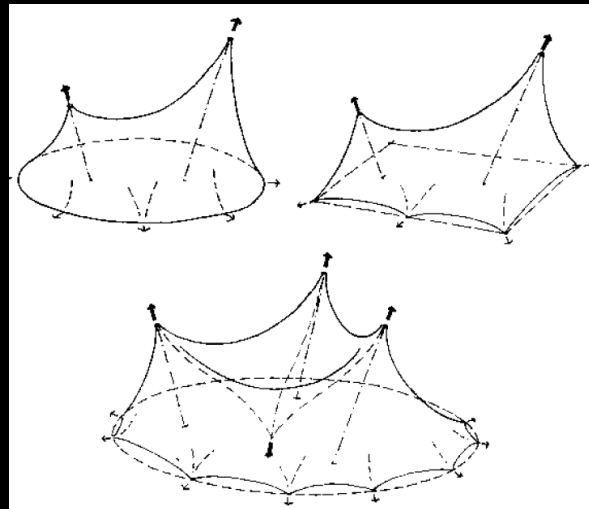
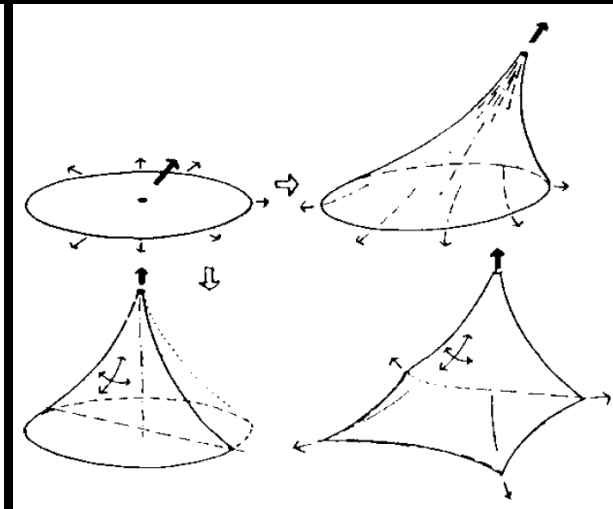


Figura 2.9. Combinación de conoides.



des asimétricos y semiconoides.





ARCO DE DESCARGA EN EL PERIMETRO



REFUERZO EN LA CUSPIDE DONDE HAY
CONCENTRACION DE TENSIONES



REFUERZO EN LA CUSPIDE DONDE HAY
CONCENTRACION DE TENSIONES

PROCESO DE DISEÑO DE UNA TENSOESTRUCTURA

- 1. Búsqueda de la forma óptima**
- 2. Materialización y respuesta a los requerimientos constructivos**
- 3. Estudio de las acciones y cálculo de esfuerzos y deformaciones**
- 4. Dimensionado de los elementos.**
- 5. Soluciones constructivas: detalles, encuentros, etc**
- 6. Proceso de montaje**

1 - CONCEPCION ESPACIAL

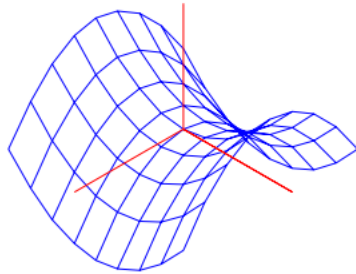
- 1. Requerimientos funcionales**
- 2. Búsqueda de la forma óptima**
 - Método matemático**
 - Método modelístico - modelos analógicos**
 - Método de simulación - modelos digitales**

METODO MATEMATICO

ECUACIONES ANALÍTICAS PREDETERMINADAS

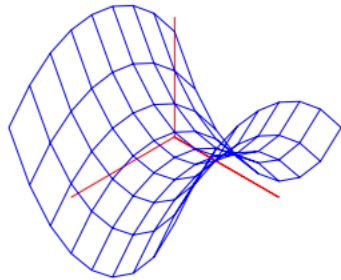
Paraboloide hiperbólico

$$z = a^2x^2 - b^2y^2$$



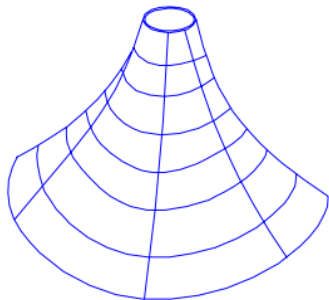
Superficie anticlástica de catenarias

$$z = -\frac{1}{k_x} \operatorname{ch} k_x \cdot x + \frac{1}{k_y} \operatorname{ch} k_y \cdot y$$



Hiperboloide de revolución

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



Superficies trigonométricas

$$z = \frac{k_x}{\alpha^2} \cos \alpha x - \frac{k_y}{\beta^2} \cos \beta y$$

Superficies de arcos de círculo

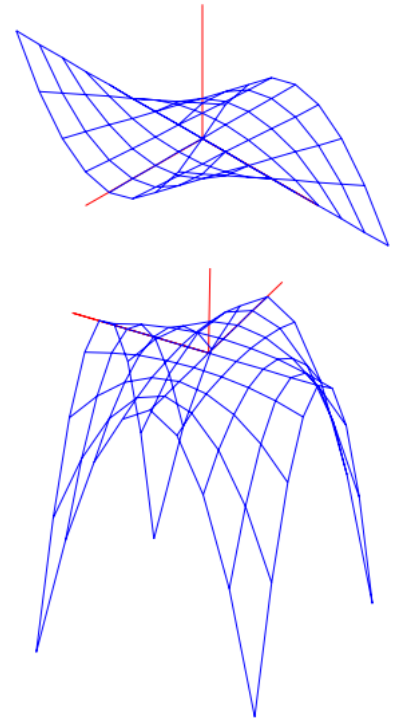
$$z = -\frac{1}{k_x} \left(1 - \sqrt{1 - k_x^2 \cdot x^2} \right) + \frac{1}{k_y} \left(1 - \sqrt{1 - k_y^2 \cdot y^2} \right)$$

Superficies de productos

$$z = f(x) \cdot g(y)$$

Superficie bicuadrática

$$z = c(a^2 - x^2) \cdot (b^2 - y^2)$$

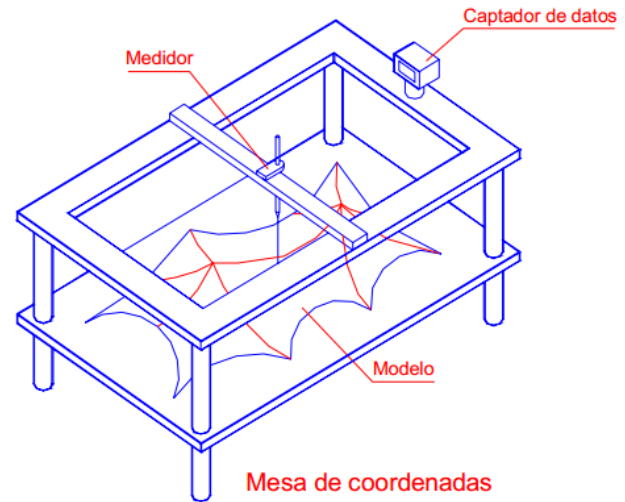


MODELOS DIGITALES

METODO MODELISTICO

MODELOS ANALOGICOS

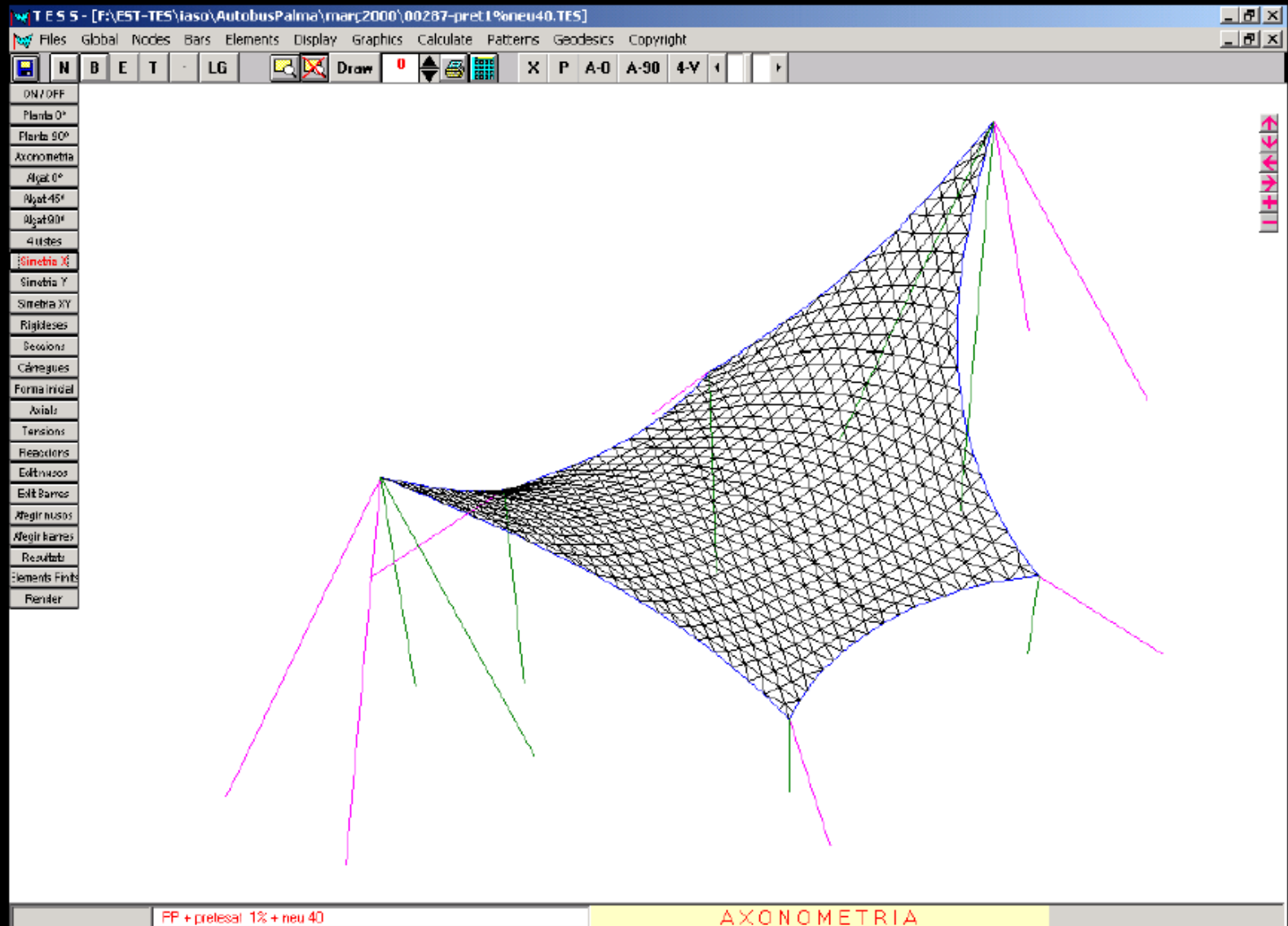
- Es un método para una primera aproximación, que precisa ser complementado con cálculos.
- Se parte de un modelo reducido y se miden las coordenadas de sus nudos.





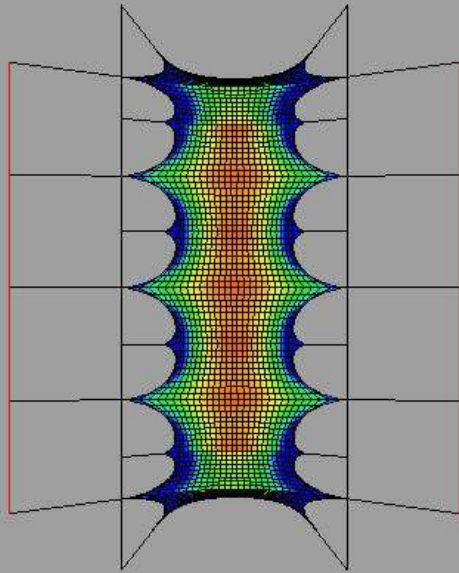
generación de la forma estructural a partir del trabajo con maquetas



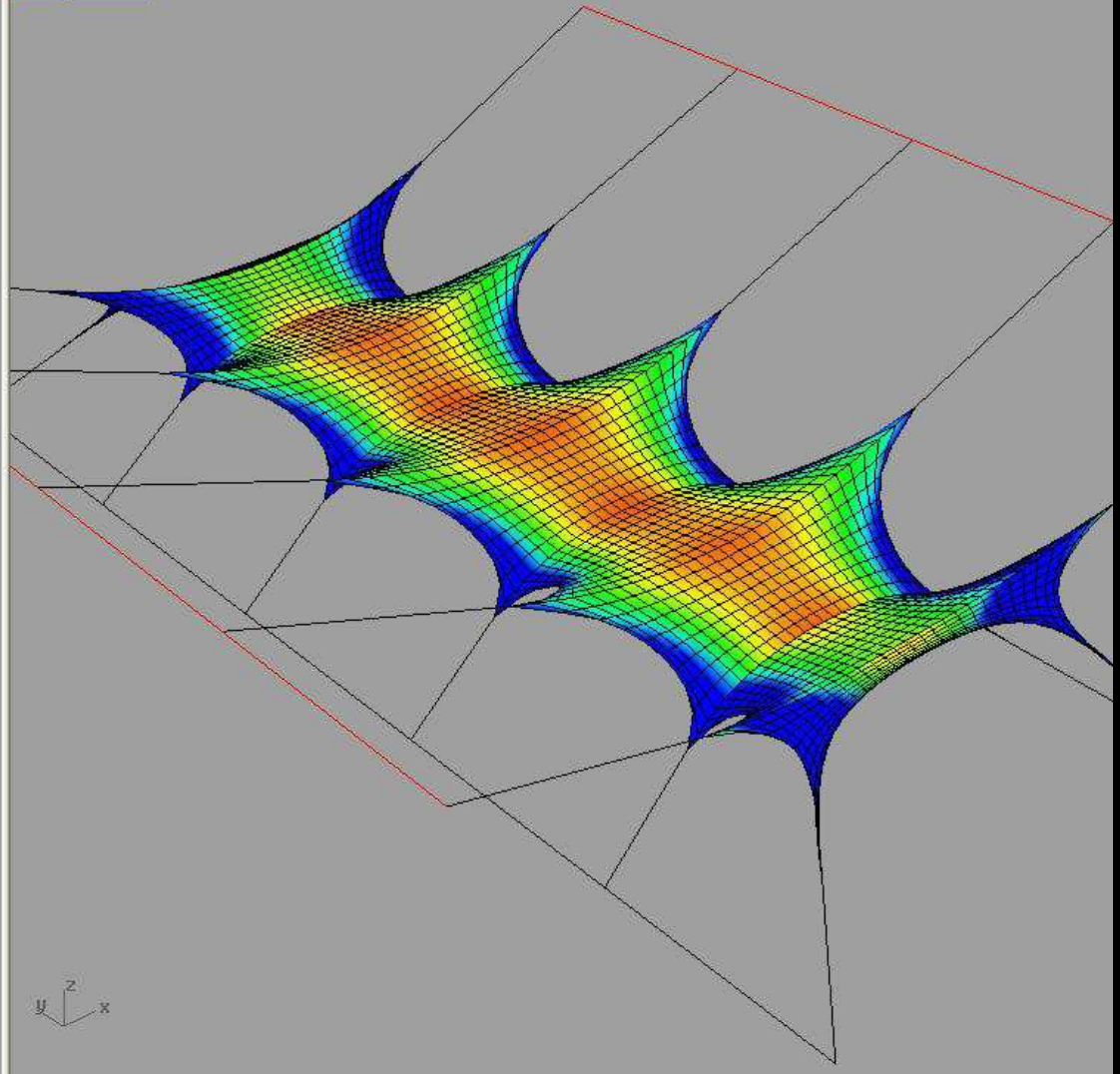


FORMFINDER

Superior



Perspectiva

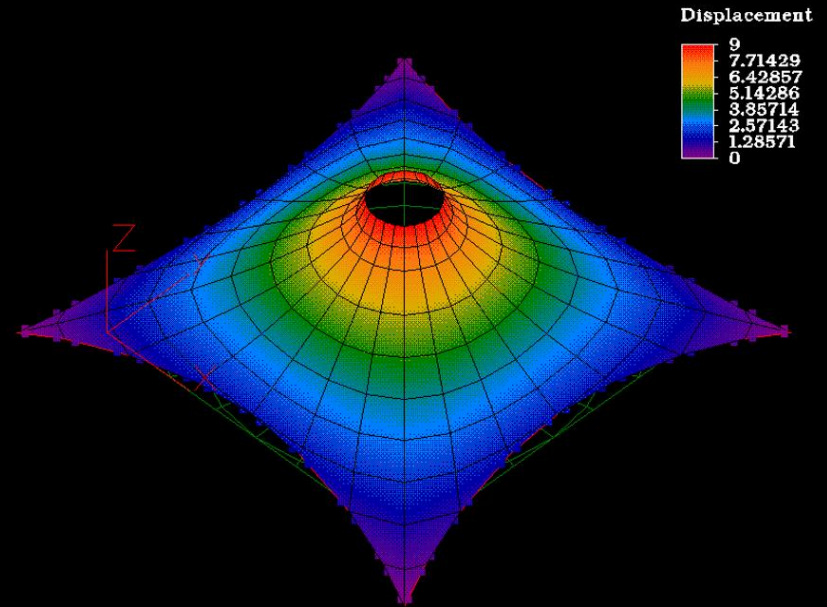
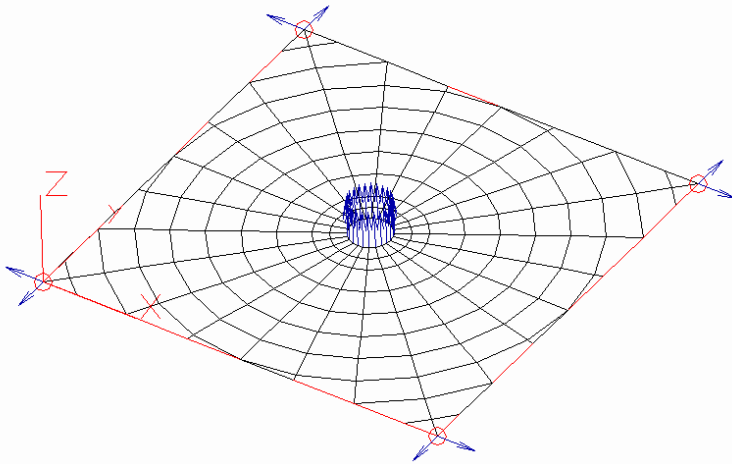


Zonas en rojo indican superficies horizontales o de pendiente mínima que provocarían acumulación de bolsones de agua.

METODO DE RELAJACION DINAMICA

GENERACION DE LA FORMA CON SOFTWARE ALGOR

Time: 0 secs.



2 - MATERIALES

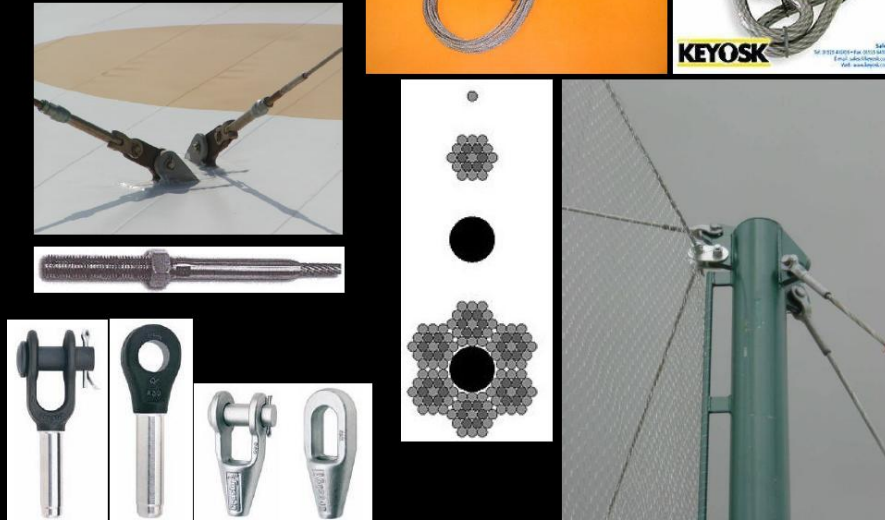
1. Elementos lineales:

cables, cabos, cintas, etc.

2. Elementos superficiales:

lonas, láminas, membranas, mallas de cables, etc.

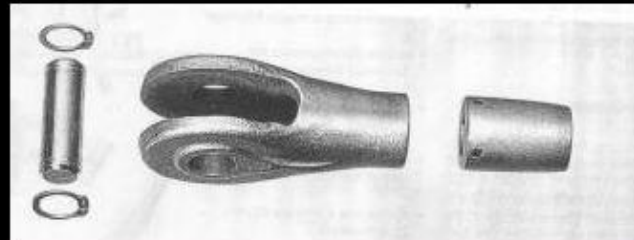
CABLES DE ACERO



CUERDAS Y CINTAS DE POLIESTER



TERMINALES DE CABLES

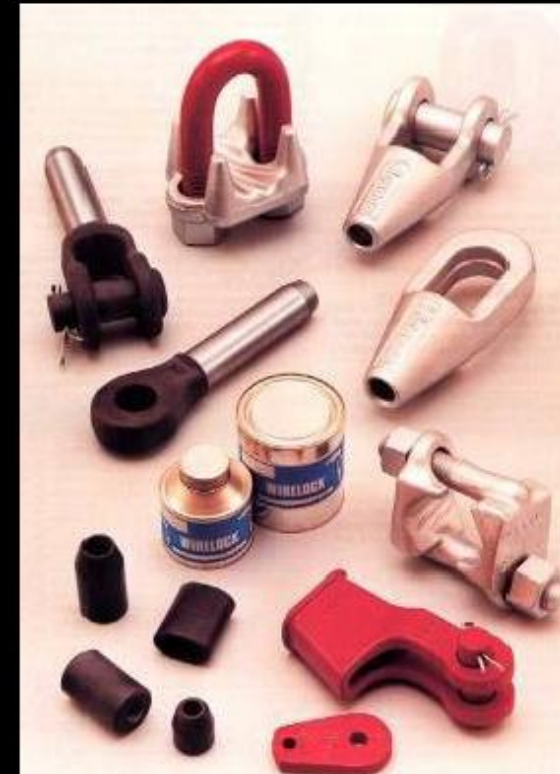


CUADRO COMPARATIVO DE TERMINALES

		Díam. mm cable	Resis. aprox.
OP		Hasta 16	90 %
	Old trenzado protegido	17 a 30	85 %
GP		31 a 40	80 %
	Guardabrazo trenzado protegido	41 a 50	75 %
		50 adelante	70 %
GA			80 %
	Guardabrazo con abrazadera		
OT			95 %
	Opti-Talarit		
GT			98 %
	Guardabrazo Talarit		
CC			100 %
	Terminal casquillo cerrado		
CA			100 %
	Terminal casquillo abierto		



ACCESORIOS



TEXTILES ESTRUCTURALES.

- **Fibras alta resistencia** → **Trama + urdimbre**
Trama en la dirección de las máximas tracciones.
- **Material protector**
 - Menor resistencia.
 - Mejor comportamiento ante los agentes externos.
 - * Humedad
 - * Rayos ultravioletas
 - * Agresiones químicas



MEMBRANAS ISOTRÓPICAS

- a) Láminas plásticas: poliéster, polietileno o PVC, **ETFE**
- b) Láminas plásticas reforzadas (con hilos o redes intercaladas de alambre).
- c) Membranas de chapa metálica de acero o aluminio.
- d) Membranas elásticas (con deformaciones muy grandes).
- e) Membranas no tejidas (fibras encoladas).
- f) Membranas de madera (contrachapados).

(Este tipo de tejidos suele llevar un recubrimiento: **PVC, Teflon, silicona, etc.**)

MEMBRANAS DE TEJIDO

- a) Tejido de algodón o lino (Fibras naturales u orgánicas).
- b) Tejido de fibras sintéticas (Fibras artificiales): PVC, **poliéster**, polietileno, acrílicas, poliamidas, etc.
- c) Tejidos de **fibra de vidrio** (Fibras minerales).
- d) Tejidos de fibras metálicas (acero, acero inoxidable y otras aleaciones poco comunes).

LA TECNOLOGÍA EXCLUSIVA PRECONSTRAINT FERRARI®

Una estabilidad dimensional excepcional para la planeidad de los entoldados

La tecnología Preconstraint® garantiza a los tejidos una estabilidad dimensional excepcional casi idéntica en urdimbre y en trama. La resistencia a la deformación en el sentido de la trama es superior respecto a las características de los tejidos revestidos clásicos. Esta ventaja exclusiva es muy importante al tensar los tejidos sobre las estructuras.



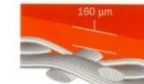
Los tejidos Preconstraint® ofrecen una resistencia excepcional al estiramiento gracias a un escaso embebido.



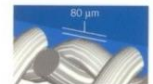
Los tejidos revestidos clásicos presentan un embebido importante en el sentido de la trama.

Un espesor de revestimiento superior en la cresta de los hilos para una duración prolongada.

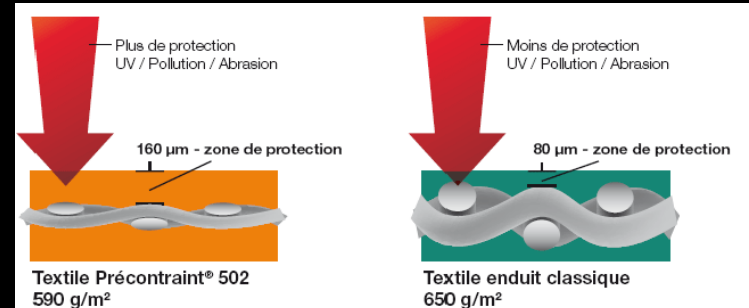
Al manipular los entoldados, la ligereza de las lonas es un criterio importante para facilitar la colocación. La técnica Preconstraint Ferrari® permite esta ligereza asegurando un espesor de revestimiento superior en la cresta de los hilos. La armadura de poliéster está por lo tanto mejor protegida contra los agentes atmosféricos.



Tejidos Preconstraint® 502S - 590 g/m²



Tejidos revestidos clásicos 650 g/m²



PROPIEDADES DE LOS TEJIDOS ESTRUCTURALES

•Propiedades de montaje

- Estabilidad dimensional del tejido
- Soldabilidad de las piezas (cosido, pegado con adhesivos por adherencia con calor)
- Resistencia al doblado

•Propiedades funcionales

- Coloración
- Transparencia (15 a 90%)
- Aislación (por su ligereza y escaso espesor carecen de inercia térmica y acústica)

•Propiedades estructurales

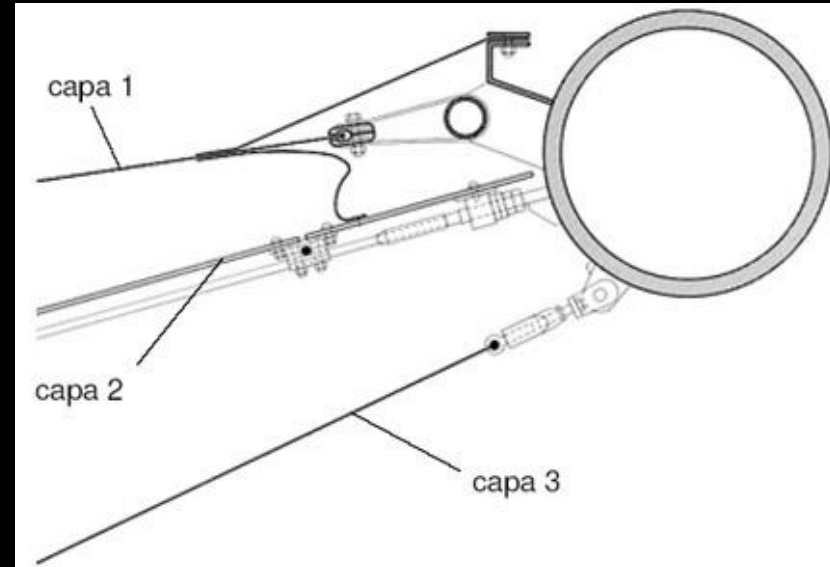
- Resistencia a la tracción (N/50mm – ensayos biaxiales)
- Resistencia al rasgado
- Adhesión de la capa protectora (prueba de pelado)

•Propiedades de conservación

- Resistencia a la intemperie
- Resistencia de la capa protectora
- Permeabilidad de la superficie (condensación)
- Estabilidad dimensional (relajación)
- Facilidad para la limpieza
- Facilidad para ser reparados
- Resistencia al fuego (auto extingüibles, producen perforaciones que ventilan el interior y ayudan a la eliminación de humo)



Aeropuerto de Bangkok, Murphy & Jahn, 2006



3 Capas para mejorar el acondicionamiento térmico y el comportamiento acústico

3 - ESTUDIO DE LAS ACCIONES

CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

- Cargas permanentes poco importantes
- Evitar las cargas puntuales

ACCIONES A CONSIDERAR

- Pretensado inicial (estado0)
- Cargas de nieve
 - Según normativa
 - Carga mínima de nieve
 - Considerar acumulación de nieve en valles y depresiones
- Cargas de viento
 - Según normativa
 - Succión es más desfavorable
 - Magnitud y distribución simplificada según norma
 - Para análisis más precisos se utiliza túnel de viento

• Estados a considerar para el cálculo de tensoestructuras:

PRETENSADO + CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGAS VARIABLES (VIENTO, NIEVE).

4 - DIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS

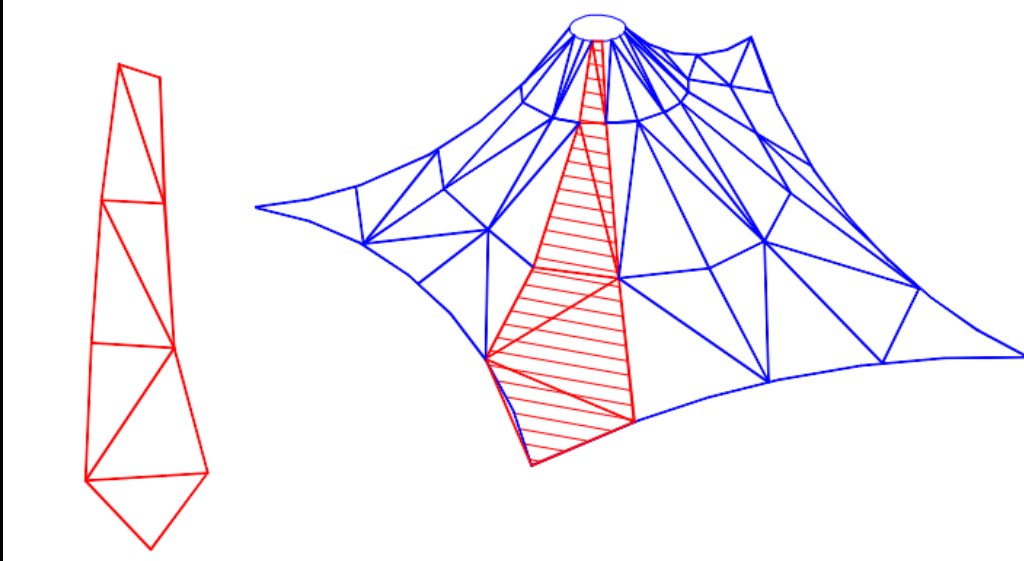
- Tubos para mástiles y barras rígidas (base de datos)
 - Cables (base de datos)
 - Exentos (Vientos)
 - Perimetrales (Relinga)
 - Membrana: trama, urdimbre, diagonal (base de datos)
 - Cimentación (base de datos de suelos)
- Hay que definir todos los elementos con su material a partir de la base de datos

MODELADO Y CALCULO CON SOFTWARE WINTESS

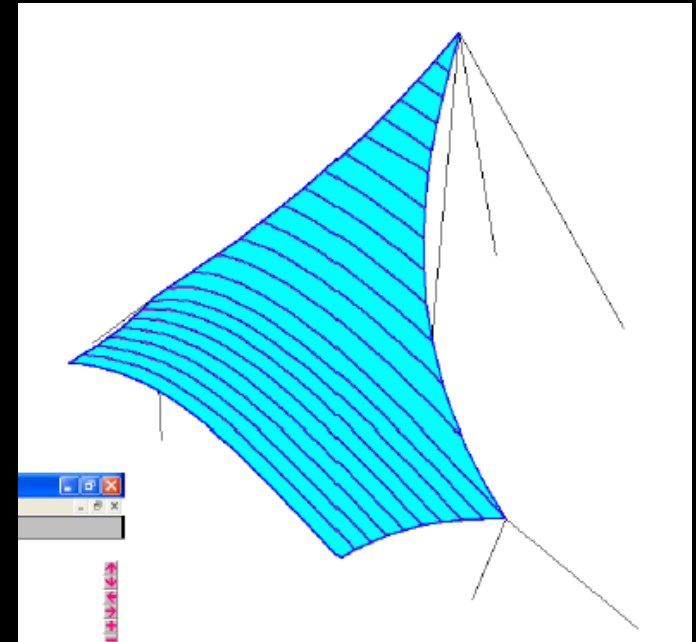
PROFESOR ARQUITECTO RAMON SASTRE

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA

5 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS



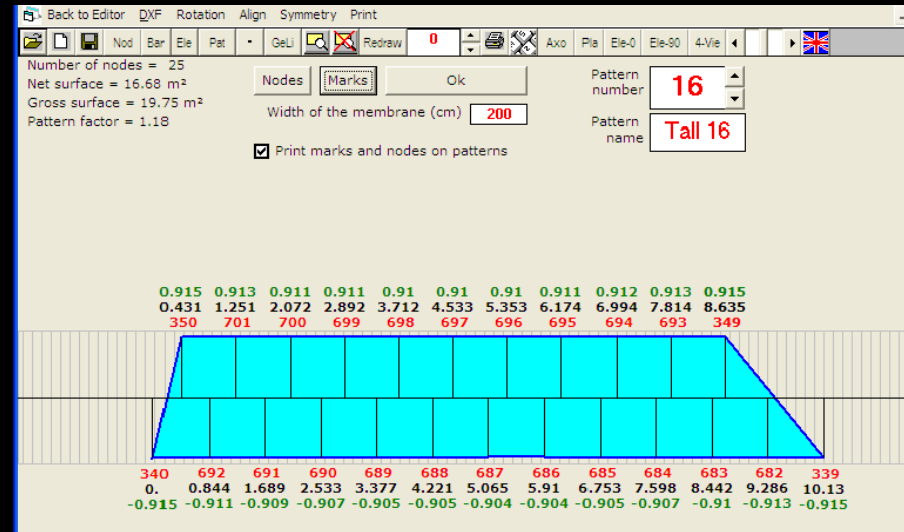
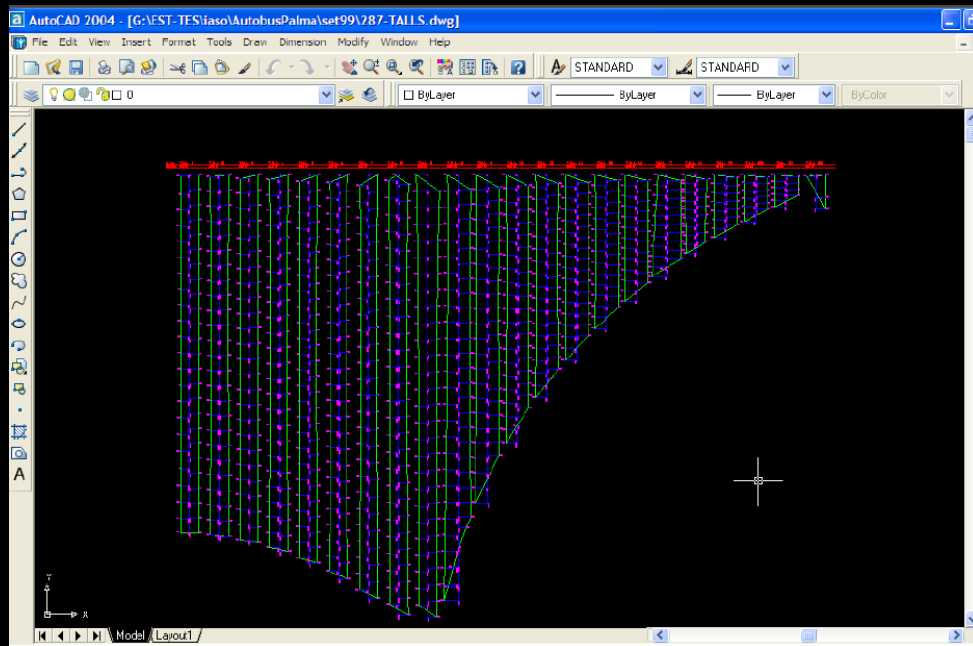
Los patrones corresponden al estado final.
Es preciso compensar su forma



PATRONAJE DE LA MEMBRANA

- Sobre maqueta
- Geometría conocida
- A través de programas
 - CAD
 - CAM

PATRONES



SOFTWARE WINTESS - PROFESOR ARQUITECTO RAMON SASTRE
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA

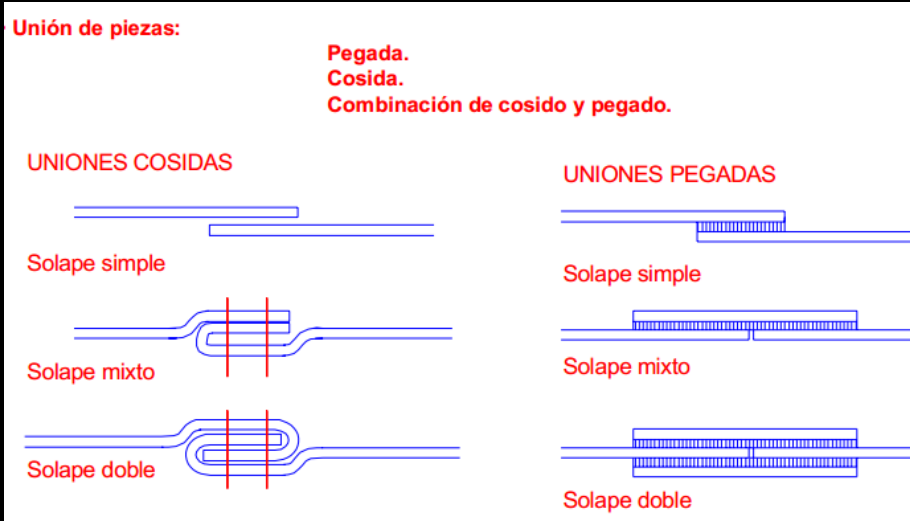
Patrones se pueden exportar a Autocad para los ajustes

MESA DE CORTE



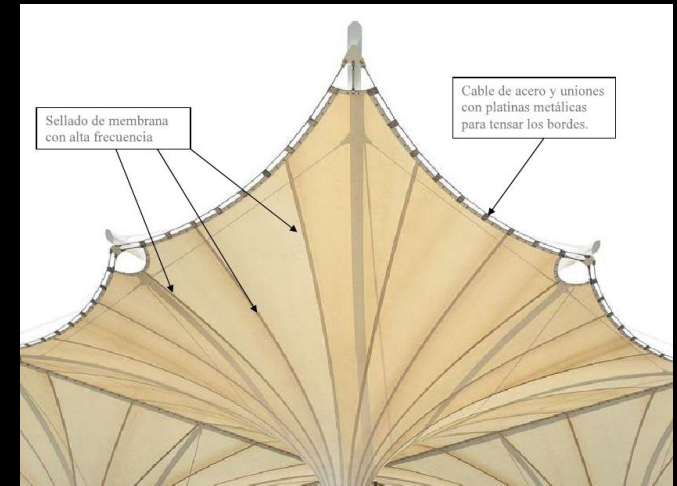
5 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

METODOS DE UNION DE LA MEMBRANA

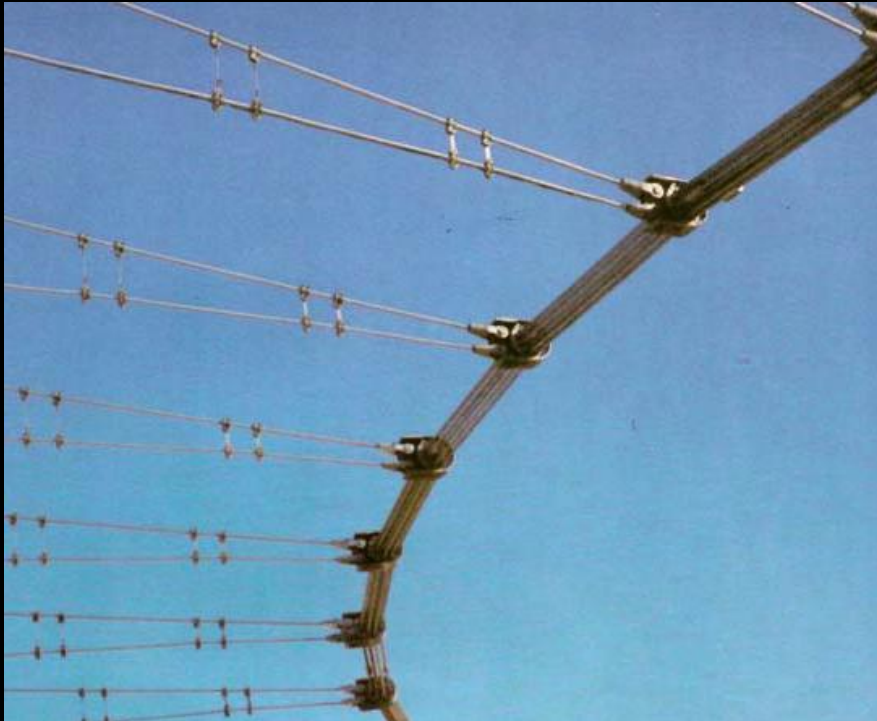


METODOS DE UNION DE LA MEMBRANA

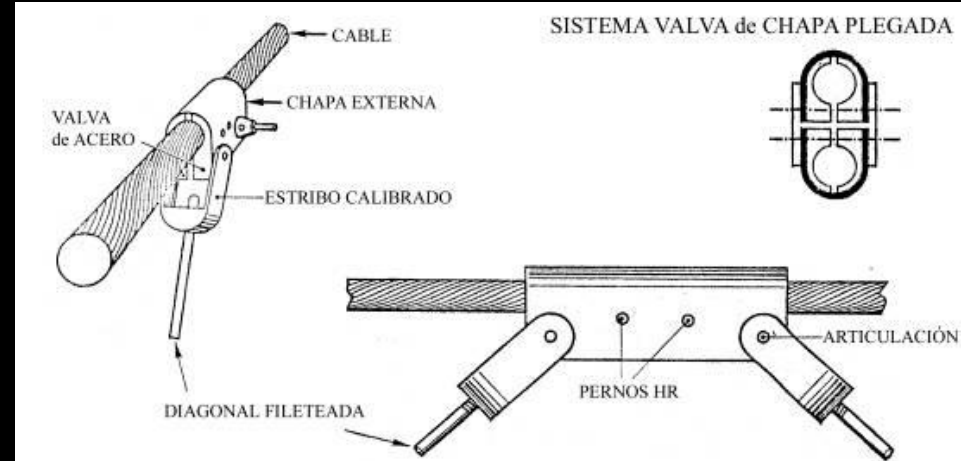
- Cosido
- Soldadura
 - Aire caliente
 - Cuña caliente
 - Microondas (HF)
- Encolado



5 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

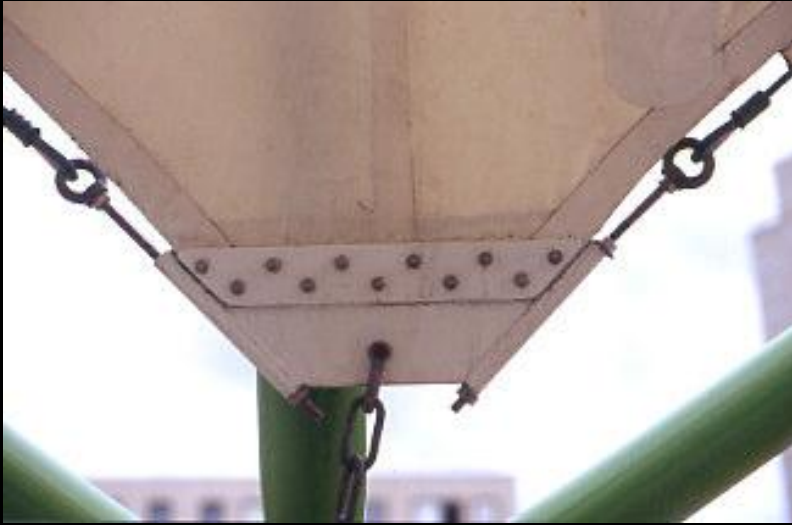


DESARROLLO DE UNIONES



SISTEMA de PLACA y CONTRAPLACA

5 - DESARROLLO DE UNIONES: Esquinas solapadas o cerradas



cables de borde articulados y ajustables



cables de borde ajustables



cables de borde articulados no ajustables



5 - SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS



DESARROLLO DE UNIONES



elementos auxiliares en puntos altos

cable de borde o relinga

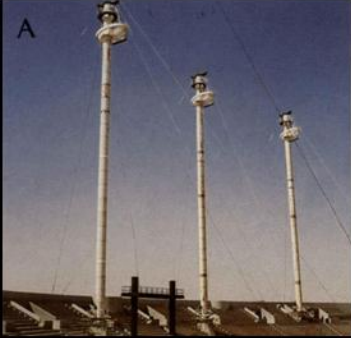
DISPOSICIONES ESTRUCTURALES

- Evitar luces excesivas que puedan provocar grandes tracciones en la cimentación.
- Evitar depresiones que signifiquen acumulación de sobrecargas, sobre todo de nieve o lluvia
- Evitar depresiones que signifiquen acumulación de sobrecargas, sobre todo de nieve o lluvia
- Utilizar sistemas complementarios de rigidizarían para evitar que el fallo de elementos aislados determine el colapso
- Realizar controles y retensados periódicos

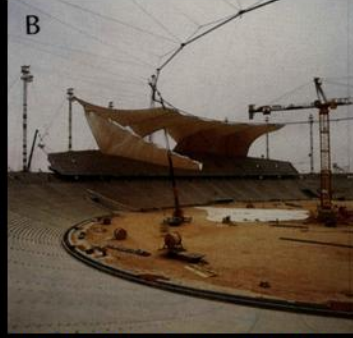
DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS GENERALES

- Considerar dirección de escurrimiento de las aguas
- Accesibilidad para la limpieza
- Evitar que elementos punzantes toquen la superficie textil
- Alejar la membrana de fuentes de calor
- Para acondicionamiento ambiental pueden utilizarse superficies de doble capa

6 - MONTAJE EN OBRA: ESTADIO INTERNACIONAL REY FAHD, ARABIA SAUDITA



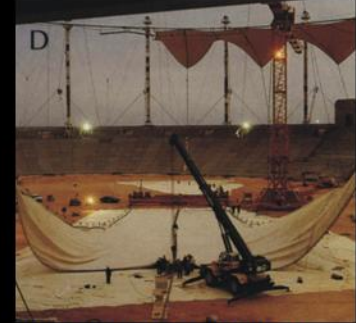
REALIZACION DE LA ESTRUCTURA BASICA



COLOCACION HIDRUALICA DEL ANILLO CENTRAL Y COMIENZO DEL TENDIDO DE LA TELA



INSTALACION DE LOS CABLES INTERNOS QUE SUJETAN LA TELA



COLOCACION DE GUIAS QUE SERVIRAN PARA IZAR LA TELA



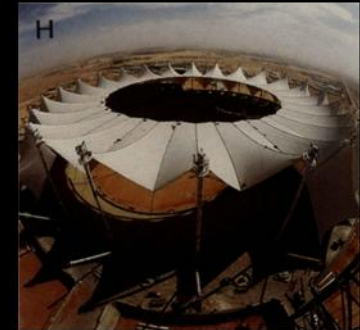
IZADO DE LA MEMBRANA



IZADO ALTURA FINAL



SUJECION DE LOS BORDES DE LAS MEMBRANAS A LOS



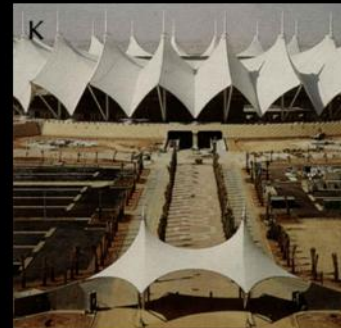
CERRAMIENTO FINAL



TENSADO DE LA TELA A LA PARTE SUPERIOR DE LOS MASTILES



REALIZACION DE COSTURAS Y COLOCACION DE PINACULOS DECORATIVOS

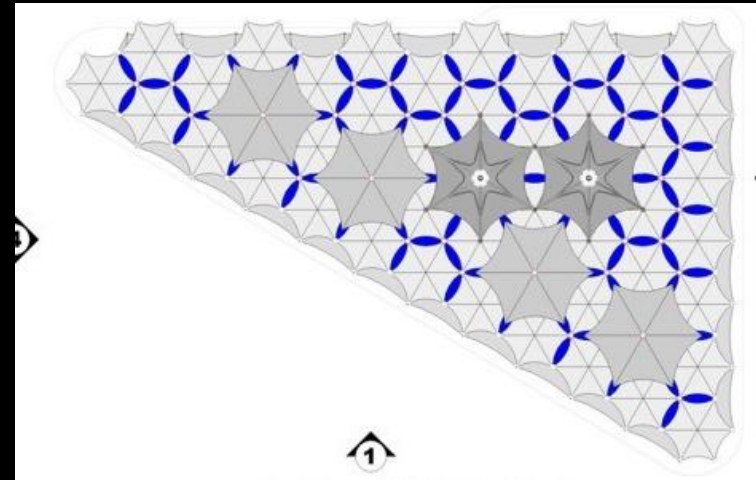
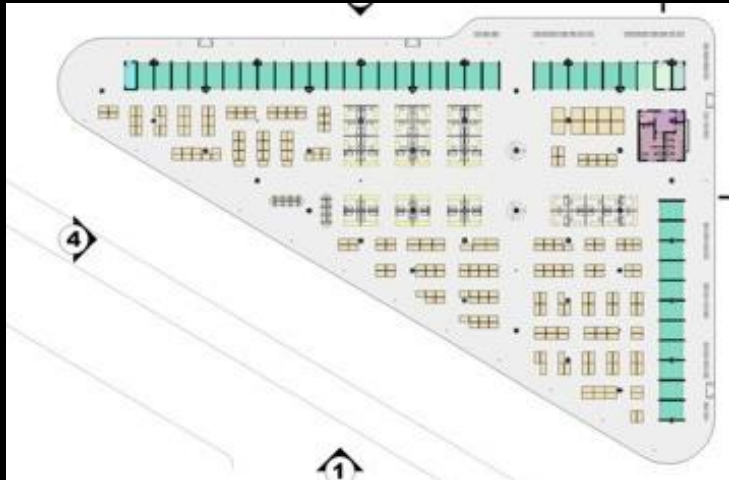


VISTA FINAL EXTERIOR

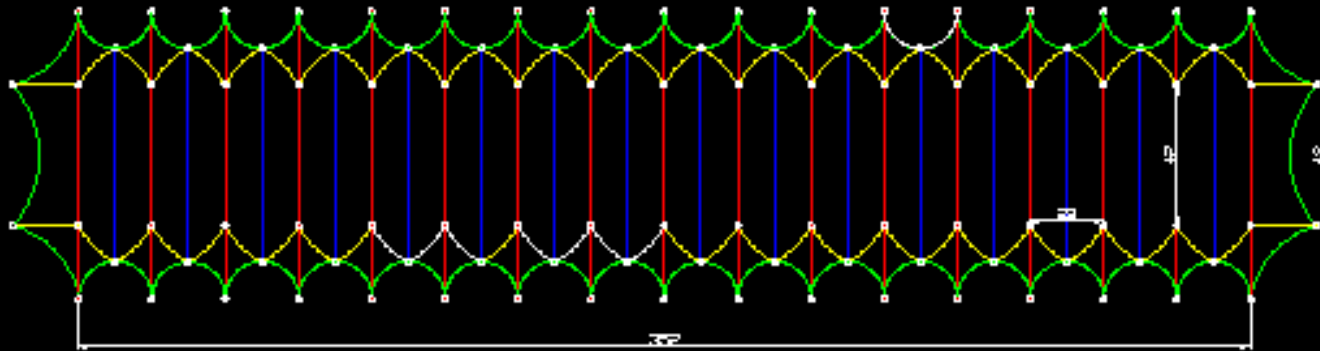
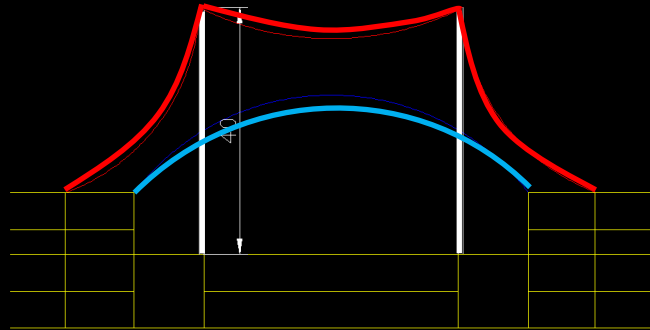


VISTA FINAL INTERIOR

FEIRA DA CIDADE – ANANINDEUA - BRASIL

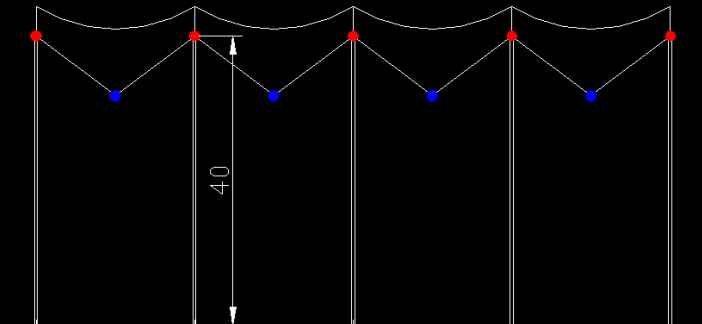


AEROPUERTO INTERNACIONAL DE DENVER



Referencias

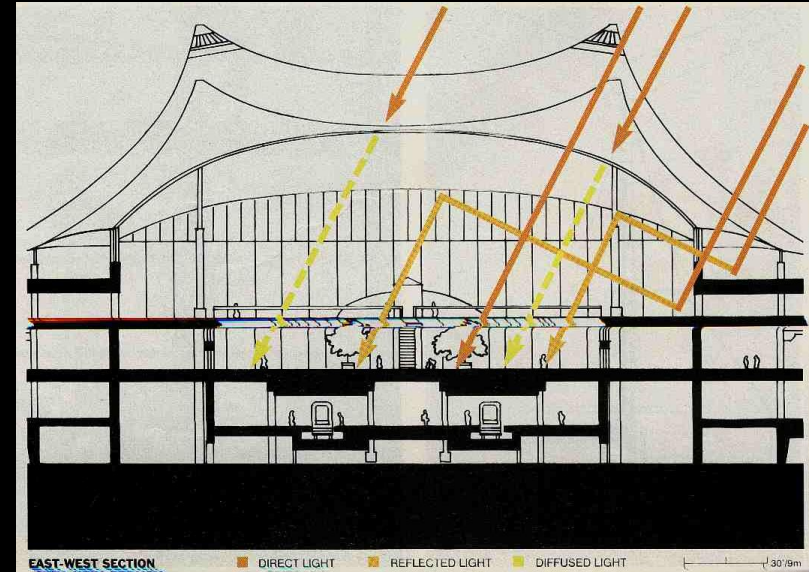
- Mastiles
- Cables colgados
- Cables en arco
- Catenarias
- Anclajes al techo



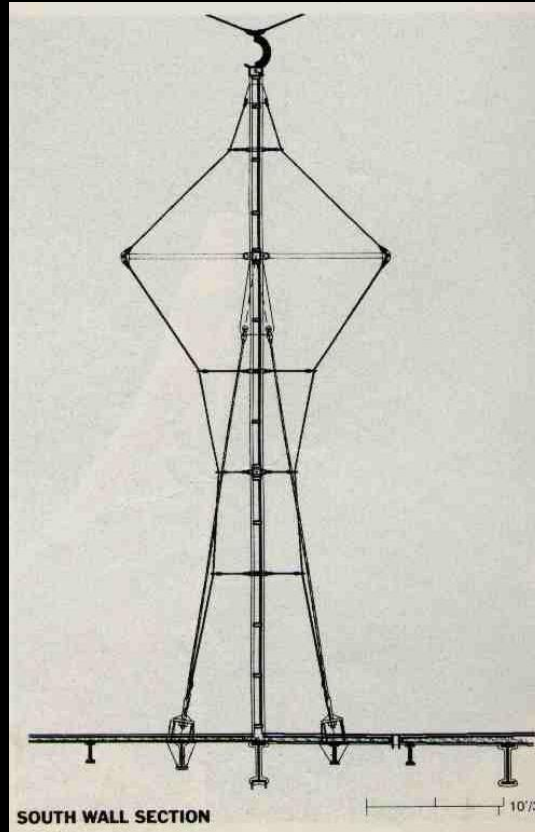
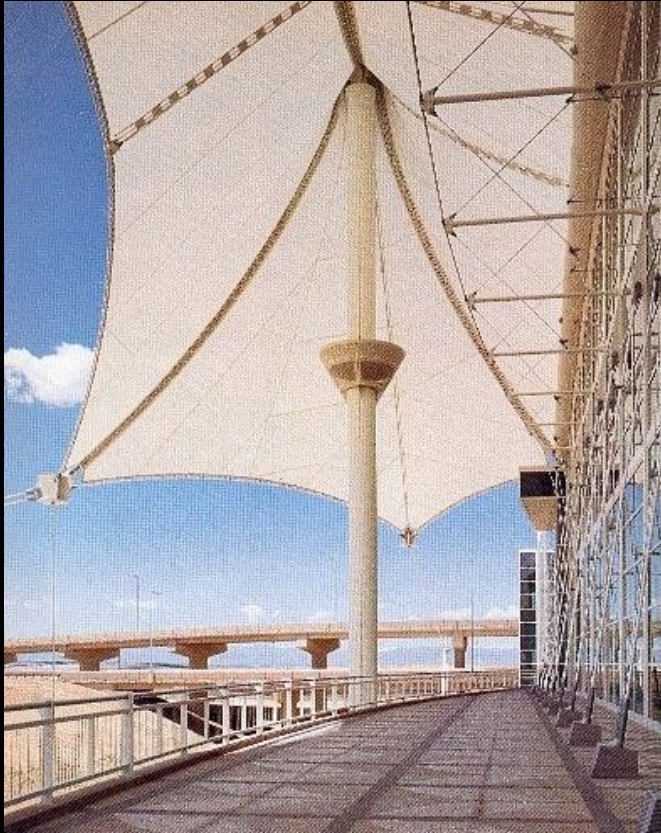
Para soporte adicional, cables reforzados son tensados perpendicularmente a los cables portantes y estabilizantes con 12m de separación.

1993, Denver, Colorado, USA - C. W. Fentress, J. H. Bradbur, Architects

AEROPUERTO INTERNACIONAL DE DENVER

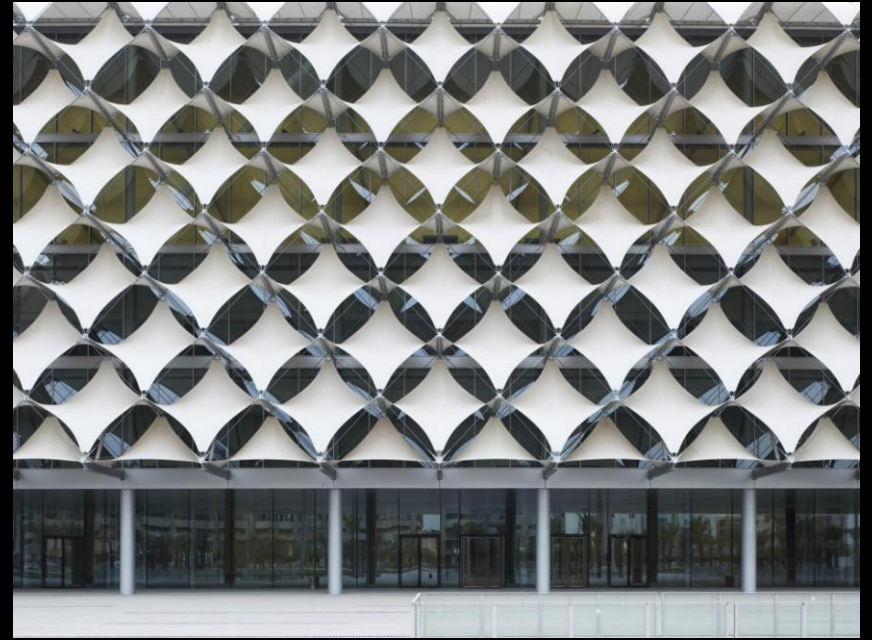


AEROPUERTO INTERNACIONAL DE DENVER



- El muro sur tiene 18,5 mts de alto y 67 mts de largo
- Una viga horizontal simétrica en interior y en el exterior rigidiza el muro a los 11m de la base distribuyendo uniformemente la carga lateral a lo largo del muro.
- Los cables verticales varían de acuerdo a la forma de la curvatura de la viga horizontal y están espaciados cada 4,5m.
- La estructura del muro es independiente de la de cubierta y puede ser retirada y reensamblada para acomodarse al crecimiento futuro.

Fachadas King Fahad National Library Riyadh



2013, Riyadh Saudi Arabia, Gerber Architekten

CONCLUSIONES

- Estructuras de doble curvatura: **doble familia de cables en dos direcciones perpendiculares**:
 - Portantes**, entre soportes (puntos altos)
 - Estabilizadores**, en dirección perpendicular hacia abajo (puntos bajos).
 - Esta doble familia puede estar conformada por una membrana: **tensoestructuras**.
- Geometrías mas usadas: paraboloides hiperbólicos, conoides y superficies curvas generadas por 2 arcos.
- Para la generación de la forma:
 - métodos modelísticos - modelos analógicos
 - métodos de simulación con software - modelos virtuales
- SOFTWARE :
 - cálculo de la estructura para su dimensionado,
 - verificación de resistencia y deformación, e inclusive
 - diseño de patrones de corte de las membranas
- Estados a considerar para el cálculo de tensoestructuras:
PRETENSADO + CARGAS PERMANENTES + SOBRECARGAS VARIABLES (VIENTO, NIEVE).
- Los **apoyos** representan un aspecto muy importante en el proyecto del conjunto, ya que las reacciones están en los **puntos más altos de la cubierta** y deben transferirse al terreno a través de ellos.

BIBLIOGRAFÍA

Libros en biblioteca de la FAUDI:

- CARDONI, J. (1983). *ESTRUCTURAS IV. Estructuras de Grandes Luces. Estructuras de Tracción Pura. Textos de Cátedra*, Córdoba, Dpto. Publicaciones FAUDI, UNC
- PERLES, P. (2002). *Temas de Estructuras Especiales*, Buenos Aires, Argentina. Ed. Klickowski.

Recopilación Apuntes de Cátedra en uncavim10:

- Polígono funicular.*
- Estructuras de Tracción. Estructuras Colgantes rigidizadas por Cables Pretensados. Diseño de cables y apoyos*

Links:

- <http://tecno.upc.edu/cotens/>
- <http://tecno.upc.es/profes/sastre/tensile.php>