**DNC
GE**Cátedra: **ESTRUCTURAS - NIVEL 3**

Taller: VERTICAL III - DELALOYE - NICO - CLIVIO

Guía de Estudio: Estructuras de cables

Curso 2020

Elaboró: JTP Ing. Angel Maydana

Revisión: Ing. Delaloye

Fecha: mar 2020

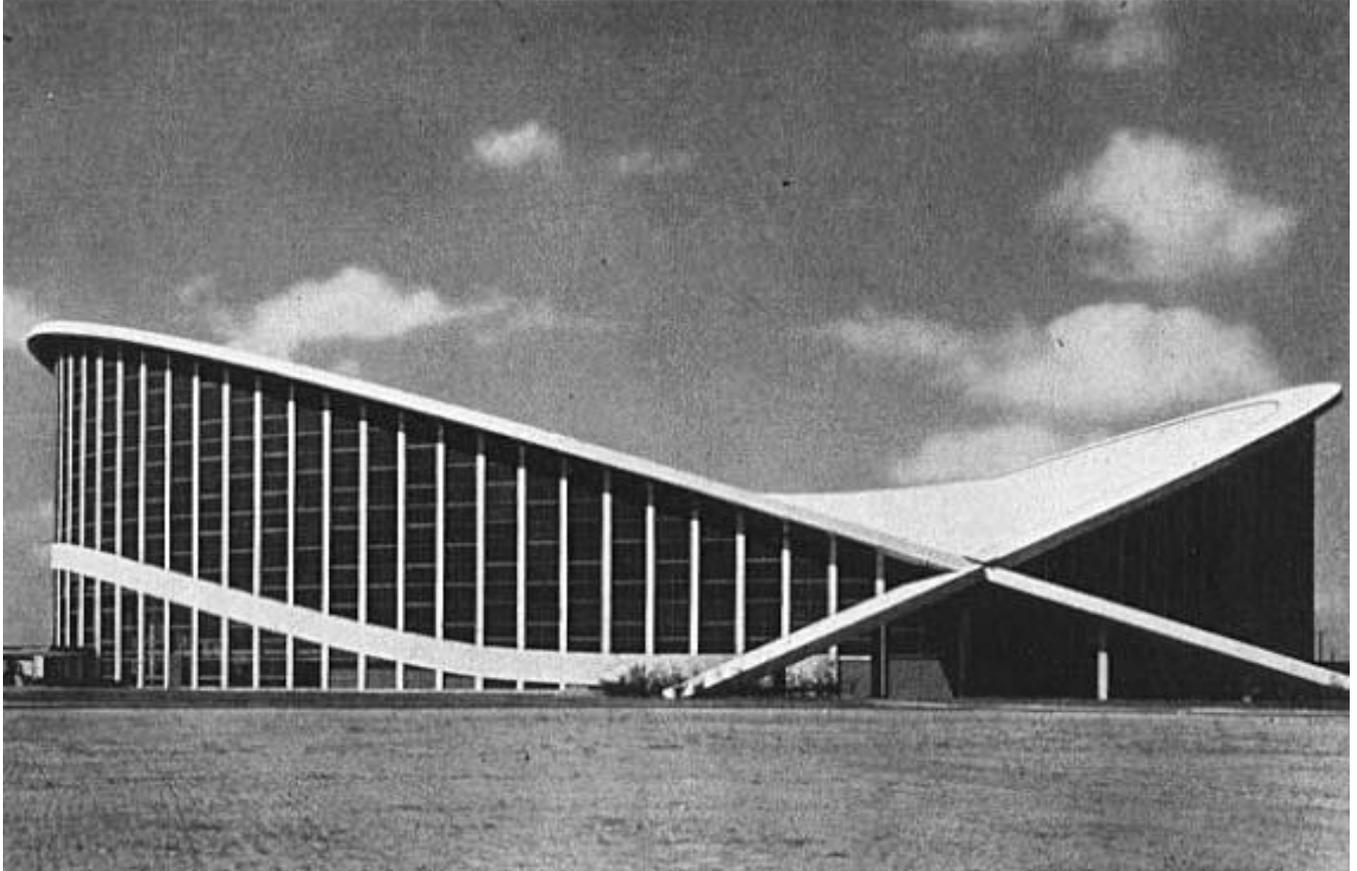
ESTRUCTURAS DE CABLES

Figura Nº 1. Feria Estatal de Carolina del Norte-EEUU- La JS Dorton Arena, de Raleigh. (1953)

La JS Dorton Arena fue una de las primeras estructuras techadas con cables como estructura de una cubierta metálica, anclados a dos arcos parabólicos cruzados, inclinados, de hormigón armado.

Esta estructura con forma de silla de montar, cubre una planta elíptica aproximada de 97 m por 92 m. Los arcos tienen un ancho de 4,30 m y alcanzan una altura máxima de 27,40 m, y se cruzan entre sí a una altura de 7,90 m, continuando por debajo del nivel de piso. Fue diseñado por el Arquitecto Matthew Nowicki quien murió en un accidente aéreo antes de la fase de construcción, y el arquitecto local William Henley Dietrick supervisó la finalización de la arena utilizando el innovador diseño de Nowicki. Se comenzó en 1951 y se inauguró en 1953



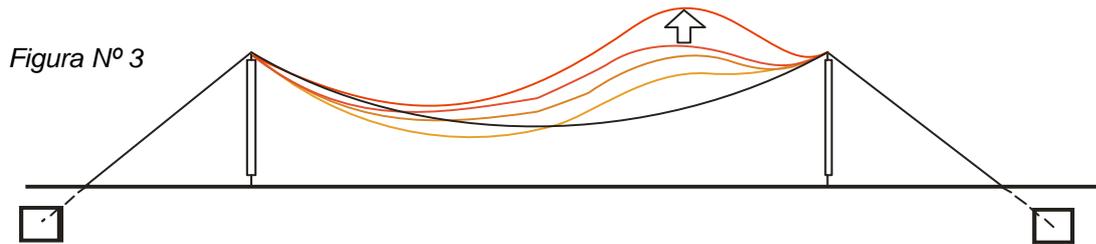
Figura Nº 2

ESTRUCTURAS DE CABLES

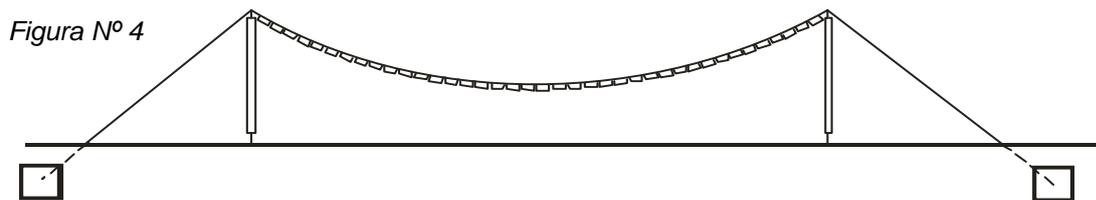
Son aquellas en que los cables resisten el peso de la cubierta y las acciones que sobre ella puedan acontecer, sin colaboración de los elementos que completan la superficie de cerramiento. Como contrapartida a estas estructuras podemos citar las estructuras tipo tienda, en que la superficie de la cubierta tipo membrana forma parte de la estructura resistente.

Los cables que constituyen las estructuras no poseen rigidez flexional y sólo resisten a la tracción, por lo que adoptan la geometría que les impone el funicular de las cargas actuantes.

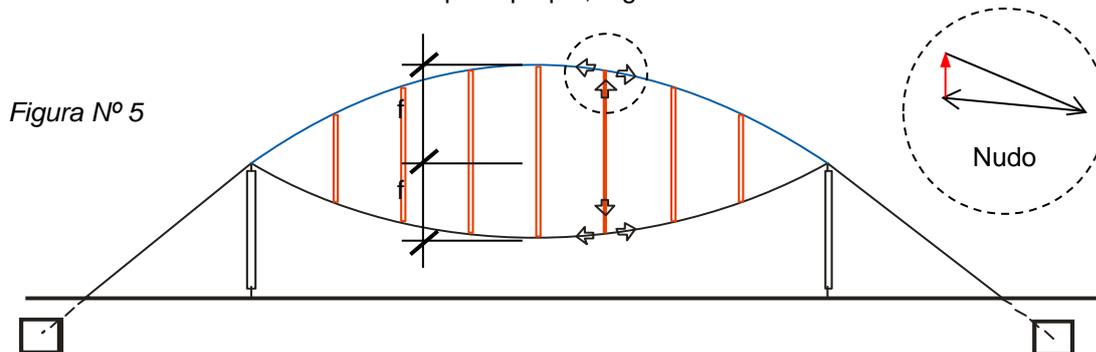
Estas estructuras deben diseñarse de modo que las cargas permanentes como peso propio y las sobrecargas que actúan en el mismo sentido, no sobrepasen las tensiones admisibles del material que compone el cable, y aquellas que invierten el sentido (como determinada acción del viento) o modifican el esquema de cargas (como la asimetría de la carga de nieve) no produzcan una "destracción" que cambie el sentido (signo) de las fuerzas actuantes (ya que el cable no soporta compresión).



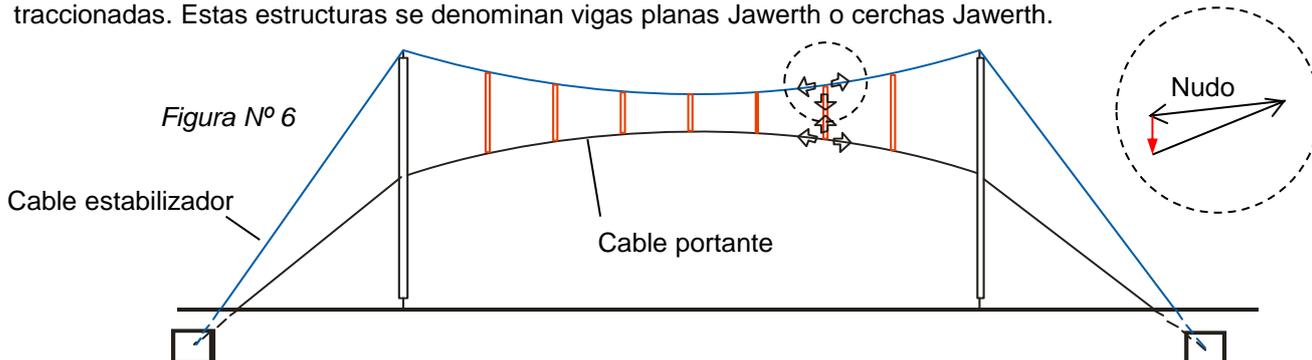
Como se indica en la Figura N° 3, el cable suspendido, debido a su escaso peso propio en relación a la luz y a su flexibilidad, es muy sensible a la succión del viento, las vibraciones y las cargas asimétricas y dinámicas.



Una forma de estabilizar el cable es aumentar el peso propio, Figura N° 4



Otra forma de estabilizar el cable es con un cable invertido (cable de estabilización), Figura N° 6. Las barras verticales están comprimidas (puntales), o como en la Figura N° 6, donde las barras verticales están traccionadas. Estas estructuras se denominan vigas planas Jawerth o cerchas Jawerth.



ESTABILIZACIÓN POR GRAVEDAD

Los propios elementos de cerramiento de la cubierta tienen peso suficiente como para asegurar que los cables portantes permanecerán traccionados para cualquier estado de carga, Figuras N° 7, 8 y 9. Debe tenerse en cuenta que estas estructuras requieren de importantes elementos de sostenimiento de los cables, puesto que a su vez sostienen la estructura pesada de la cubierta. (De **Sistemas de Estructuras** de Heino Engel se tomaron las siguientes figuras.)

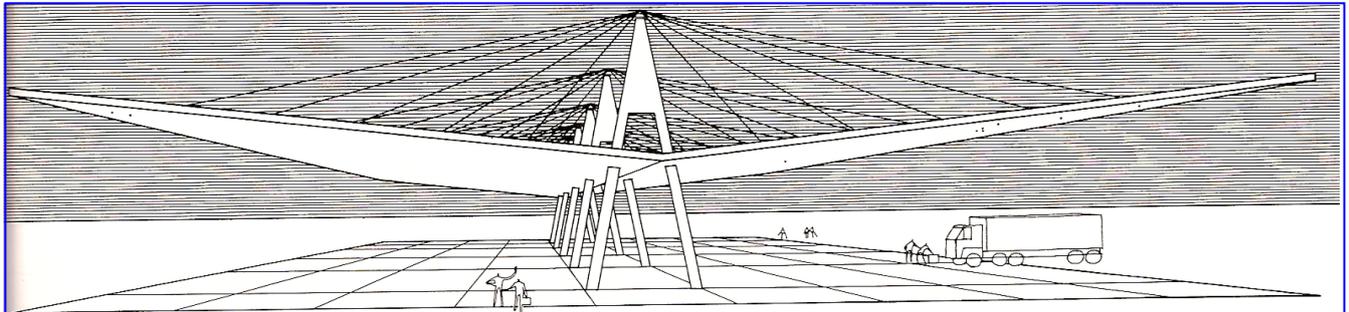


Figura N° 7

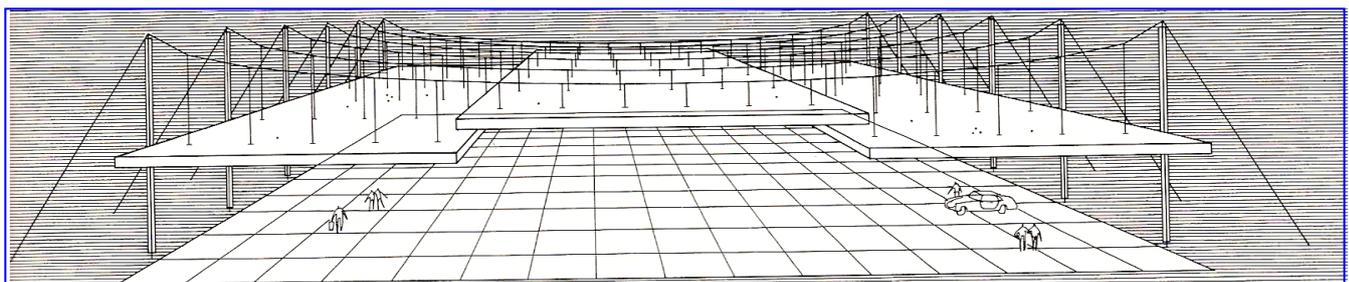
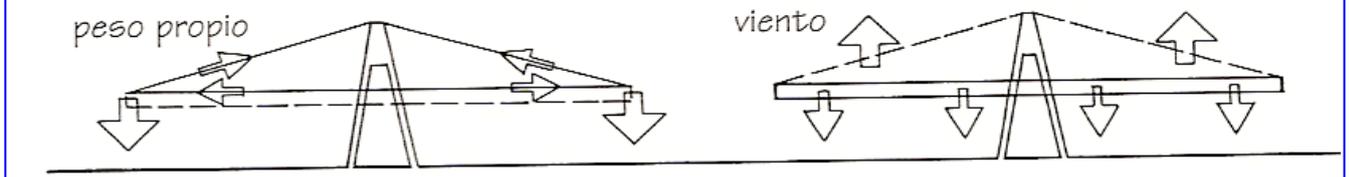


Figura N° 8

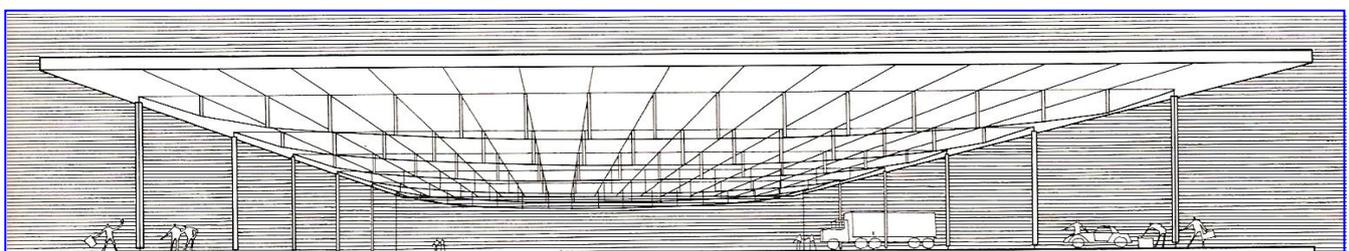
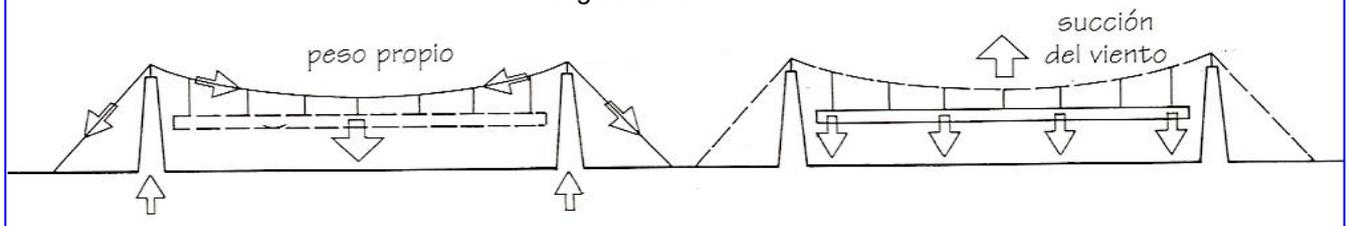
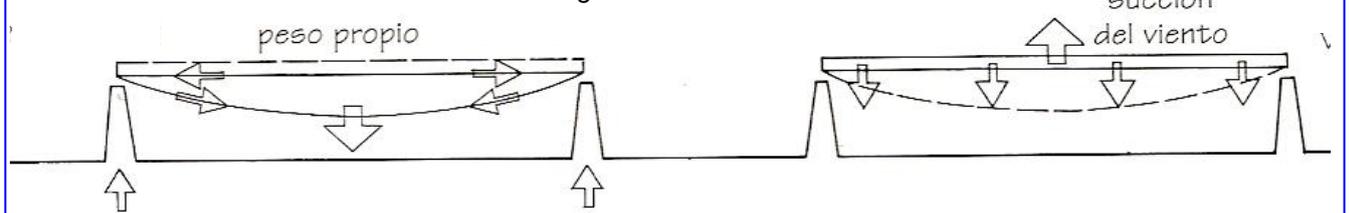


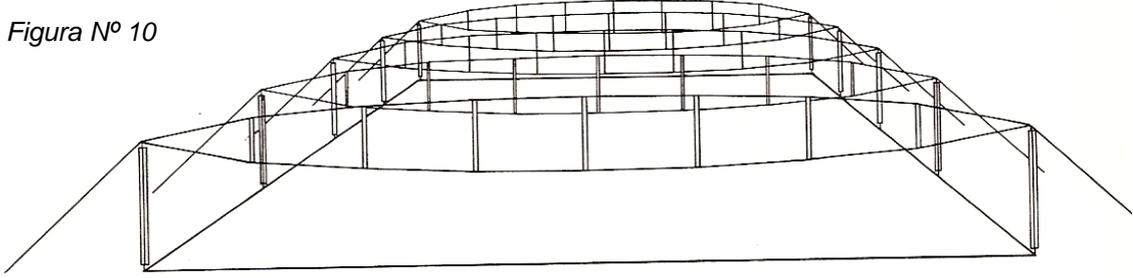
Figura N° 9



SISTEMA DE CABLES PARALELOS

Cables portantes y cables de estabilización, en una dirección. Figura N° 10

Figura N° 10

**SISTEMA DE CABLES RADIALES**

En este caso se observa la presencia de un anillo perimetral comprimido (generalmente de hormigón) y requiere un anillo o tambor central donde anclan los cables, traccionado, (generalmente de acero).

Figuras N° 11 y 12

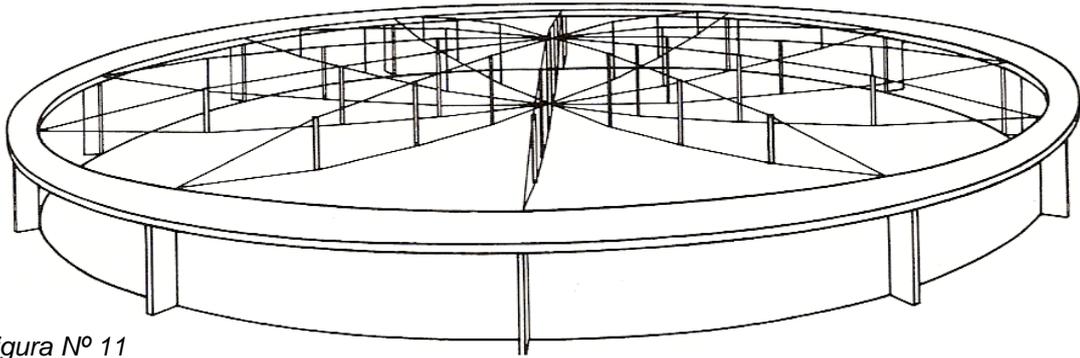


Figura N° 11

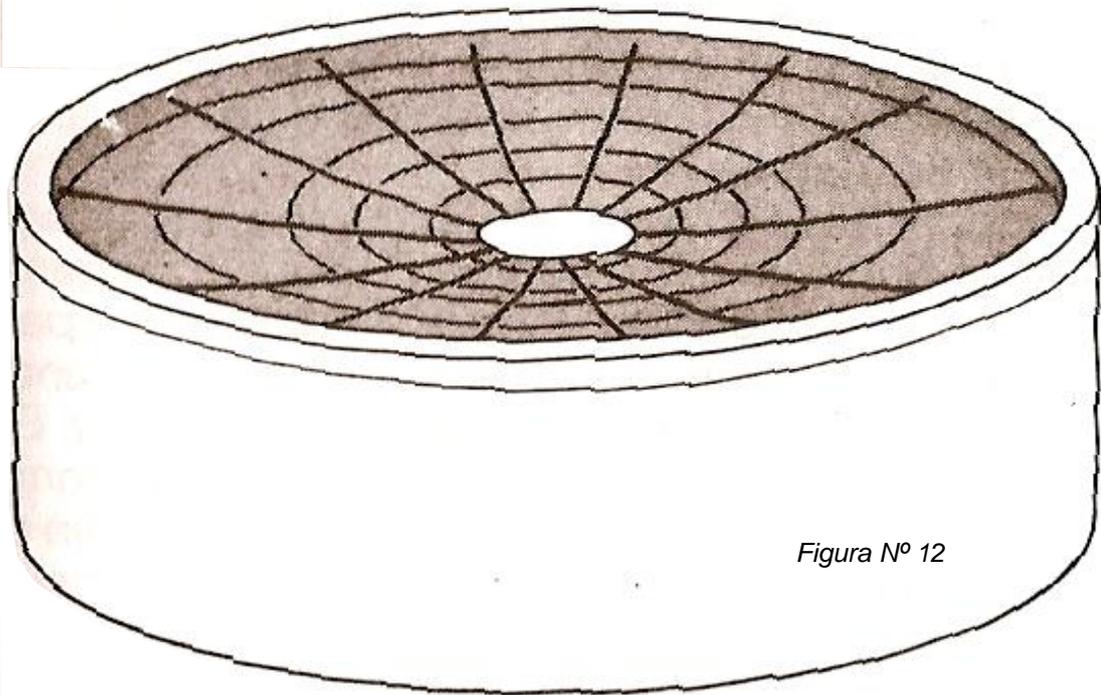


Figura N° 12

Cilindro
Municipal de
Montivideo.
Cubierta
diseñada por
Leonel Viera
(1913-1975)

CILINDRO MUNICIPAL DE MONTEVIDEO

Un techo muy especial

Las siguientes son expresiones de las actuales autoridades administrativas del Cilindro:

El Cilindro está calificado como una "obra magnífica", aunque "tiene una debilidad que es el desagüe", los cuatro caños que van desde la cúpula central hasta las paredes del cilindro, pasando por encima de las tribunas: *nada para halagar a la vista*. El techo del Cilindro se llueve debido, primero, a que es flexible, es decir, no cuenta con columnas que lo sostengan, sino que se sostiene mediante tensores y lingas de acero, que están dispuestos alrededor de los 256 metros de perímetro del estadio, y al juntarse con "la parte rígida, que son los caños de desagüe", en un día de tormenta, "genera problemas".



Figura N° 13. Cilindro Municipal, ubicado en la Avenida Dámaso Antonio Larrañaga y José Pedro Varela, Montevideo (1956)



Figura N° 14. Detalle de la Cúpula Central del Cilindro Municipal de Montevideo, y de la cubierta

Leonel Viera proyectó el techo colgante del Cilindro Municipal de Montevideo, colaboró con el puente Paysandú-Colón y otras obras en Argentina. Fue un personaje uruguayo muy creativo, reconocido en el mundo entero. Pese a que nunca se recibió de ingeniero, el uruguayo Leonel Viera (1913-1975) realizó en 1965 el primer puente ondulado en la desembocadura del Arroyo de Maldonado. Hoy con el fin de facilitar la circulación, de la gran cantidad de visitantes que tiene el balneario de La Barra, es posible contemplar dos puentes ondulados. El segundo se terminó de construir en el 2000 respetando las características arquitectónicas del primero.



Figura N° 15. Puente Leonel Viera sobre Arroyo Maldonado. La Barra. Punta del Este. ROU

SISTEMAS PRETENSADOS CON ESTABILIZACIÓN TRANSVERSAL

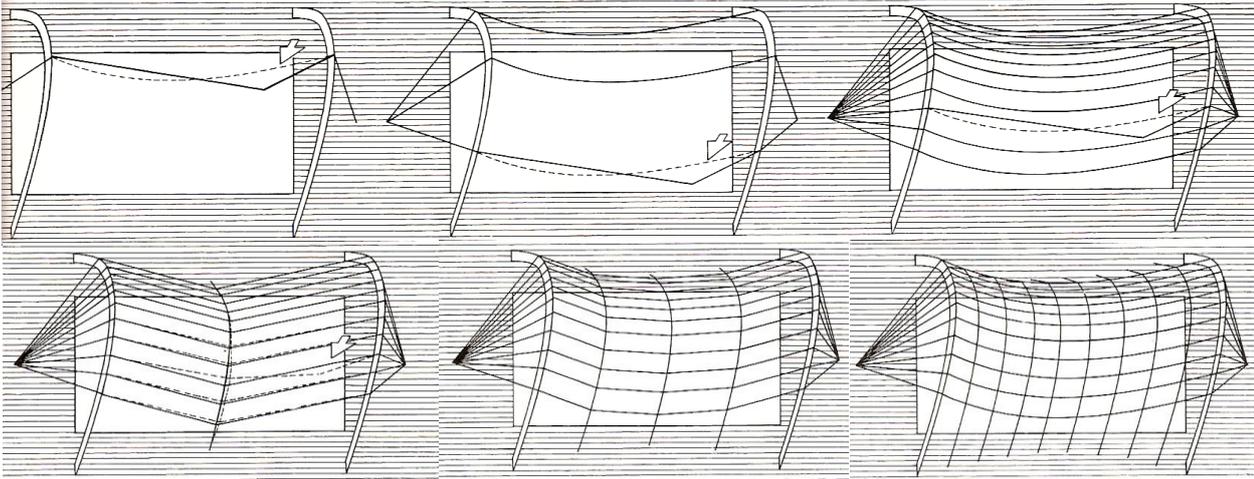


Figura N° 16. Evolución desde el cable simplemente suspendido hasta la malla de cables de curvatura en dos sentidos, donde todos los cables participan en el mecanismo resistente.

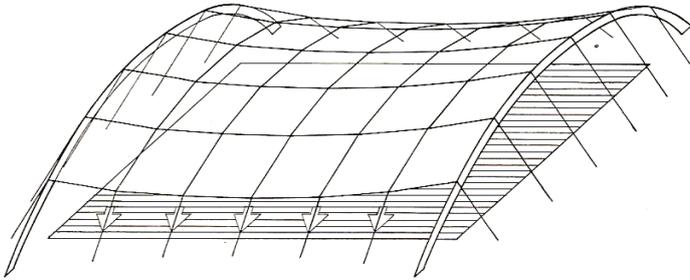


Figura N° 17
Estabilización mediante cables anclados al suelo con curvatura en dos direcciones.

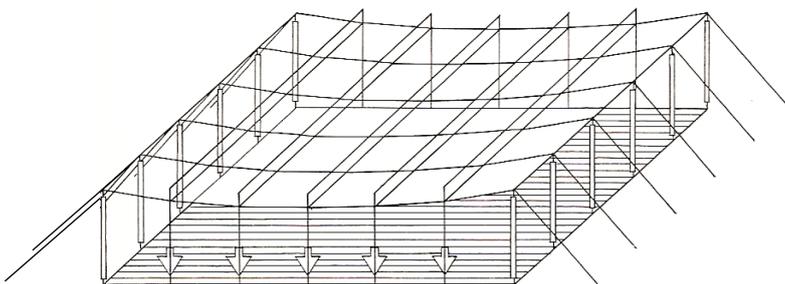
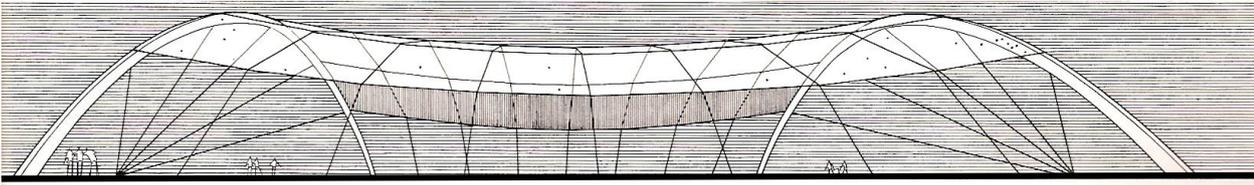
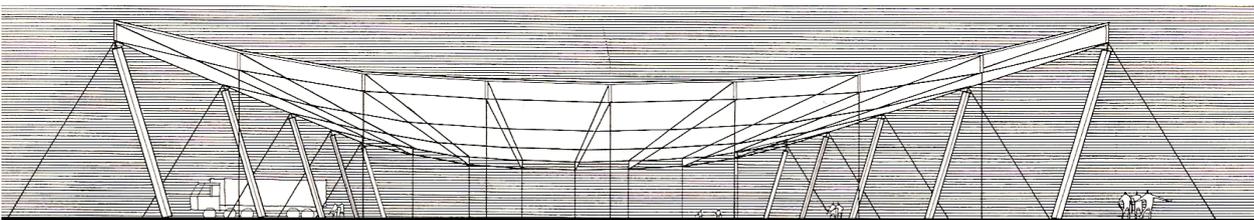


Figura N° 18
Estabilización mediante vigas transversales resistentes a la flexión y ancladas al suelo.



SISTEMAS DE ARCOS DE APOYO PARA MALLAS DE CABLES DE CURVATURA EN DOS DIRECCIONES

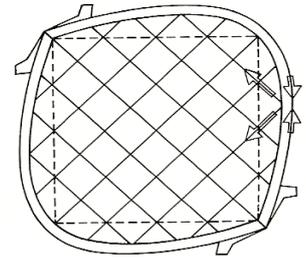
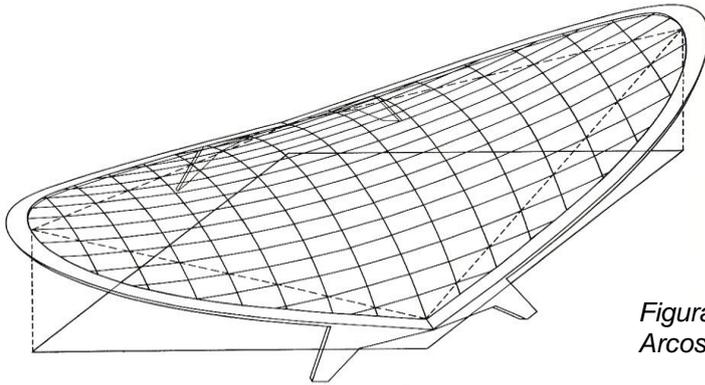


Figura N° 19
Arcos inclinados apoyados sobre pórticos



Figura N° 20
Rodahal, Limburg.
Holanda.
Sala de Concierto
(1966)
Arq. L Bisscheroux
Ing. David Jawerth
Tiene una longitud máxima
transversal de 61 m

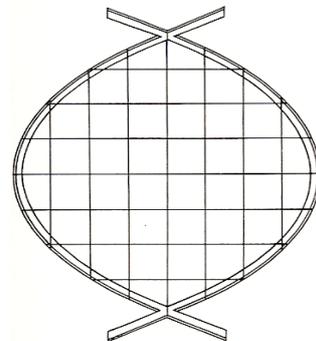
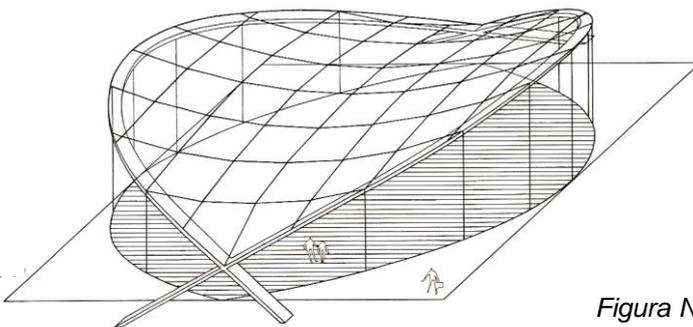


Figura N° 21
Arcos cruzados apoyados en el suelo



Figura N° 22
Dorton Arena

Figura N° 23. Combinación de dos arcos perimetrales con arco central. Malla con curvatura en dos

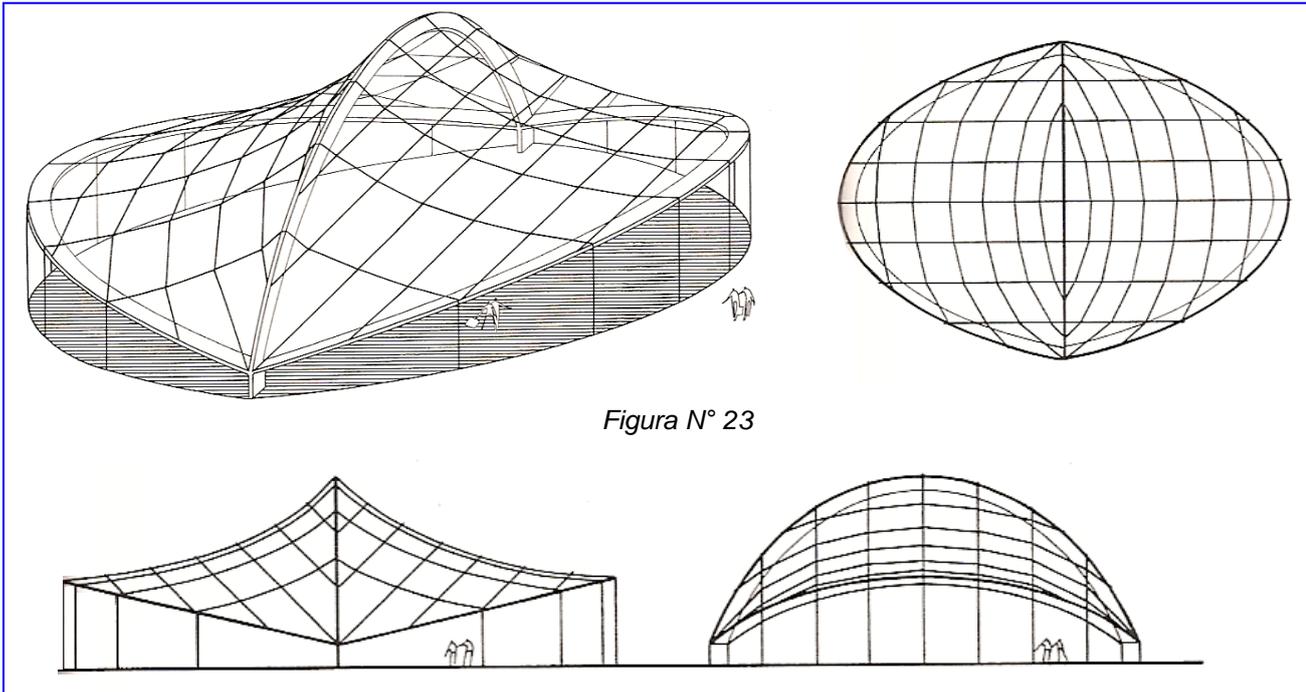


Figura N° 23

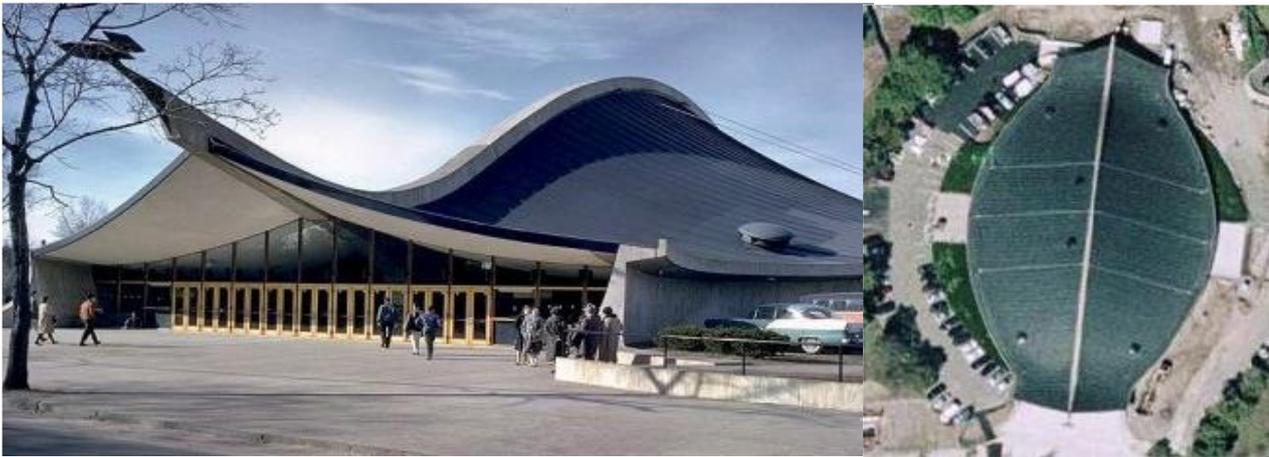


Figura N° 24. INGALLS HOCKEY RINK - NEW HAVEN (CONNECTICUT) EEUU

El Ingalls Hokey Rink fue diseñado por Eero Saarinen (20/08/1910 – 01/09/1961) arquitecto estadounidense de origen finlandés. Nació en Helsinki. Saarinen se hizo famoso por sus diseños de líneas curvadas, especialmente en las cubiertas de sus edificios, con las que conseguía imprimirles una gran ligereza. El techo del Ingalls Hokey Rink consta de dos sillín entre las superficies que abarcan tres arcos. En su cenit alcanza la altura de 23,20 m. Las redes de cables están cubiertas de madera. Fig.25

Se le asocia frecuentemente con lo que se ha venido a denominar la arquitectura internacional. Uno de sus edificios más representativos y conocidos popularmente es la terminal de la TWA en el aeropuerto Kennedy de Nueva York. Figura N° 26



Figura N° 25. Vista interior

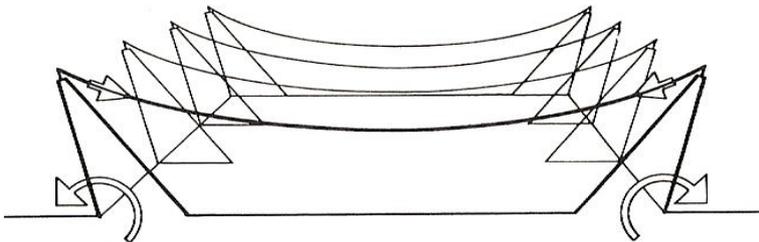


Figura N° 26 Terminal TWA

El Aeropuerto Internacional Dulles, en Washington, diseñado también por Eero Saarinen, es una estructura de cables pretensados tomados de columnas inclinadas. Se construyó la membrana de hormigón (que aporta rigidez al sistema) y se tesaron los cables para que el hormigón trabaje comprimido. El tesado origina acortamiento del hormigón y por ende, reacciones flexionales secundarias en las columnas.



Figura Nº 27 Aeropuerto Internacional Dulles, en Washington EEUU



*Figura Nº 28
El esquema indica que la tracción de los cables producen momentos flexores en los apoyos.*



*Figura Nº 29
Etapa durante la construcción*



*Figura Nº 30
Vista interior*

CABLES Y PUNTALES

La combinación adecuada de cables y puntales (llamando puntales a barras comprimidas) permite el desarrollo de estructuras denominadas "**tensegrity**", que proviene de la contracción de las palabras inglesas "tension" (tracción) e "integrity" (integridad). El término intenta describir el concepto de que la integridad de estas estructuras viene dada por la tracción.

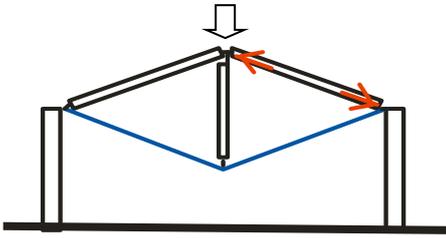


Figura N° 31 a

Ante una carga vertical, los puntales inclinados toman carga. El esfuerzo que desarrollan es de compresión. Recordar que las flechas indican el esfuerzo en el nudo (todas las fuerzas que concurren al nudo están en equilibrio) Figura N° 31 a

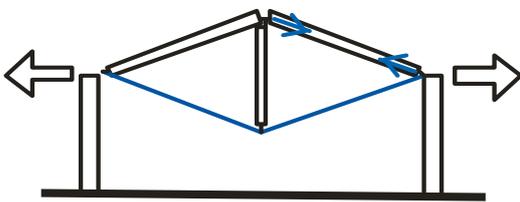


Figura N° 31 b

Ahora, si aplicamos fuerzas horizontales opuestas (por ejemplo mediante cables de arriostamiento), los cordones superiores estarán traccionados Figura N° 31 b

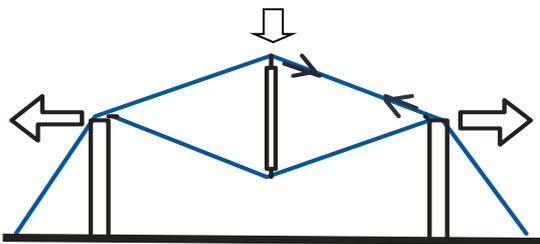


Figura N° 31 c

De la combinación adecuada de fuerza, podemos tener una estructura traccionada en los cordones superiores e inferiores. Figura N° 31 c

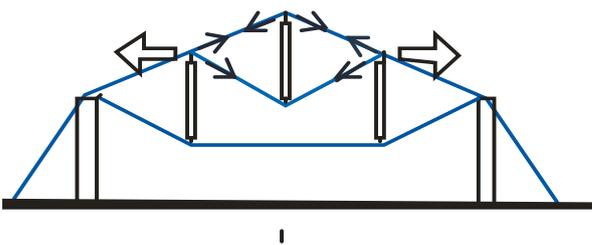


Figura N° 32

Así se van combinando figuras donde los cables están siempre traccionados y los puntales comprimidos. Figura N° 32

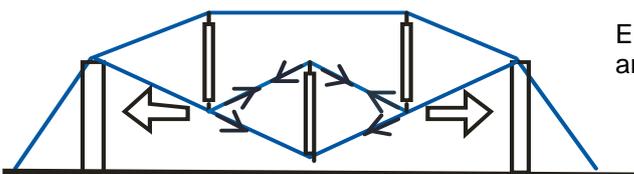


Figura N° 33

En cualquier posición que se incorporen puntales, debe armarse el mecanismo de **tensegrity**. Figura N° 33

Veamos ahora la magnitud de los esfuerzos

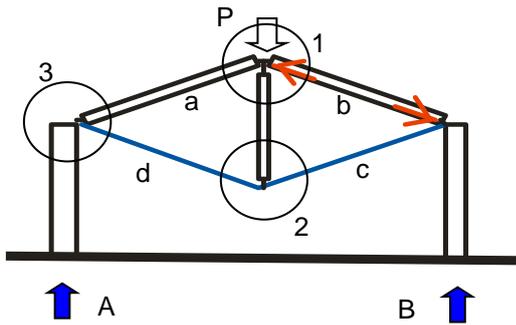


Figura N° 34

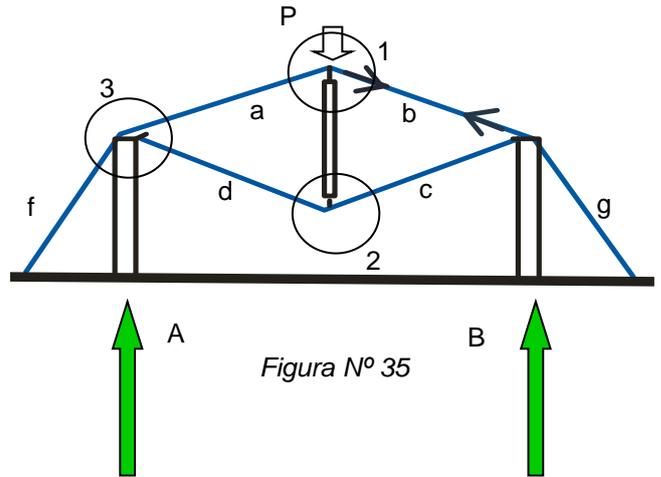


Figura N° 35

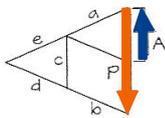
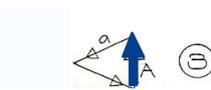
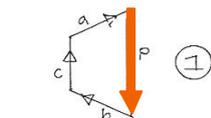


Figura N° 36



Veamos ahora la magnitud de los esfuerzos.

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 ellos.

En el caso de la estructura con cable estabilizador (Figura N° 35), para la misma carga P se originan esfuerzos mucho más elevados en el cable portante c/d, que con respecto a la estructura de la Figura N° 34. Debe consignarse además que el esfuerzo en el cable de arriostramiento f/g incrementa la reacción A/B.

Como conclusión, si bien la estructura **tensegrity** permite alentar grandes luces, debe considerarse que incrementa las cargas y por ende los costos.

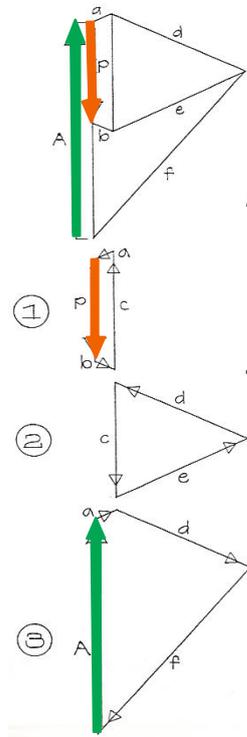


Figura N° 37

Richard Buckminster Fuller (1895-1983), responsable del desarrollo inicial y de las primeras patentes (1962) sobre este tipo de estructuras, decía que las **tensegritis** estaban constituidas por pequeñas islas de compresión (puntales) en un mar de tracciones (cables).

Richard Buckminster Fuller fue diseñador, ingeniero, visionario e inventor estadounidense. También fue profesor en la universidad Southern Illinois University Carbondale y un prolífico escritor. Realizó muchas invenciones, especialmente en los campos de la arquitectura, campo en el que su trabajo más conocido es la cúpula geodésica (Figura N° 38). Las moléculas de carbono conocidas como fullerenos tomaron su nombre de su parecido con las esferas geodésicas.



Figura N° 38



Figura N° 39 Needle Tower

Un ejemplo interesante de las estructuras **tensegrity** lo constituye la escultura "Needle Tower" del escultor Kenneth Snelson. Se trata de una torre de unos 20,00 m de altura en la que los elementos comprimidos no presentan continuidad estructural.

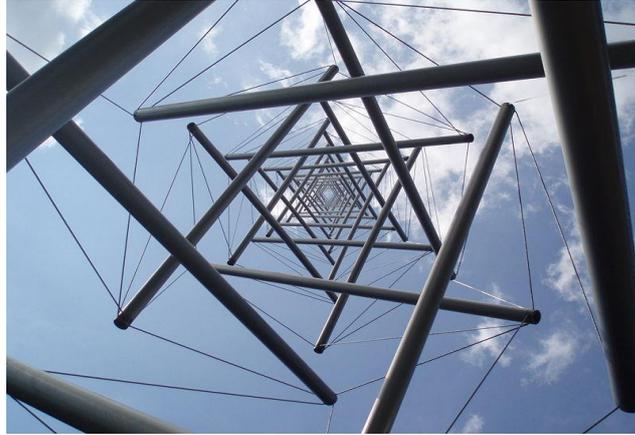
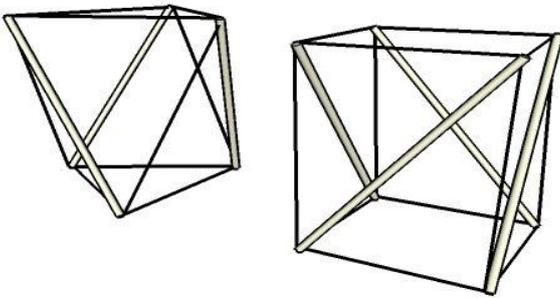


Figura N° 40 Needle Tower vista desde abajo

CONCEPTO

Tensegrity es el resultado del comportamiento en conjunto de la combinación de fuerzas continuas de tracción y discontinuas de compresión.

Figura N° 41 Dos estructuras simples **tensegrity**

Buckminster Fuller explicó que estos fenómenos fundamentales no son opuestos, sino que se complementan, que siempre puede encontrarse juntos. **Tensegrity** es el nombre de una sinergia entre los co-existentes pares fundamentales de leyes físicas; de empujar y tirar, la compresión y la tracción, o repulsión y atracción.

El sentido colectivo ha simplificado el término como "todas las cosas trabajando juntas" que redondea intuitivamente el concepto técnico de funcionamiento.

En 1992 se construyó el Georgia Dome, una de las estructuras más grandes en este tipo (cubre una planta aprox. de 188 m por 233 m). La configuración de cables dio como resultado una estructura tan rígida, que para las máximas cargas de nieve las deformaciones son muy pequeñas.

El cerramiento se realizó con paños de membrana que presentan una geometría en forma de parabolopide hiperbólico.

La ingeniería estuvo a cargo de Matthys Levy



Figura N° 42 Georgia Dome

Obra: Puente de la Mujer
 Ubicación:
 Dique 3 Puerto Madero
 Constructores:
 URSSA Estructura Metalica y Montaje.
 Pilotes TREVI Obra Civil.
 Mecanismo de Giro:
 Maneman-Dematic
 Largo Total: 160 metros.
 Ancho: 6,20 metros.
 Peso Aproximado:
 800 toneladas.
 Diseño y Proyecto:
 Arq.-Ing. Santiago Calatrava Vals.



El puente peatonal conforma una tipología de "puente atirantado".

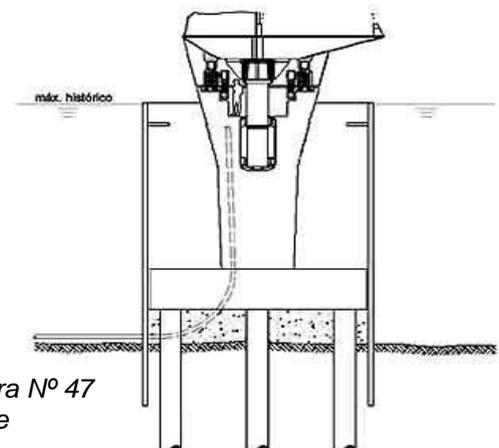
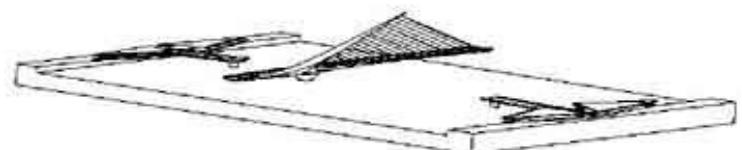
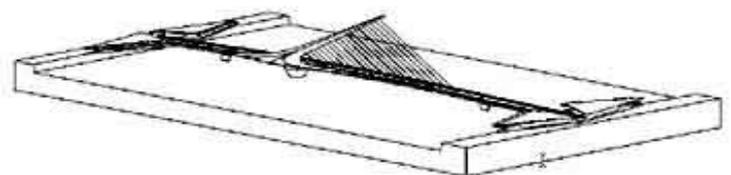
Paralelamente, y gracias a su sistema de rotación, permite el tráfico marítimo por el dique.

El ancho del puente peatonal es de 5 metros de paso libre, y el gálibo central se respeta gracias a un mecanismo de rotación que permite el giro del tramo central de aproximadamente 70 metros, en 90°.

La distancia a salvar es reducida por dos puentes de aproximación, ubicados a ambos lados del dique, trabajando la pieza central como puente atirantado y rotatorio. Por medio de un relleno de hormigón en la parte trasera del puente, se establece un equilibrio estructural entre esta zona y el tramo atirantado, simplificando notablemente el mecanismo de rotación.

El pilono inclinado forma un ángulo de 38,81° con respecto a la horizontal, y se eleva hasta la cota máxima de coronación del puente de 35,00 m sobre el tablero.

Los tirantes del puente están formados por cables de acero galvanizado de alta resistencia, de sección circular y sección en Z, presentando un diámetro nominal de 27/28 milímetros.

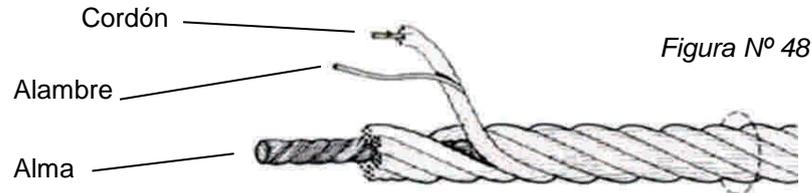


CABLE DE ACERO:

Un cable de acero es un conjunto de alambres, torcidos, que constituyen una cuerda de metal apta para resistir esfuerzos de tracción con apropiadas cualidades de flexibilidad.

El cable de acero esta formado por tres componentes básicos, estos varían tanto en complejidad como en configuración con el objeto de producir cables con propósitos y características diferentes.

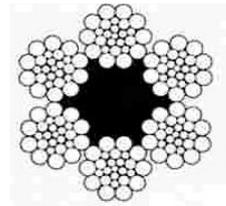
Los tres componentes básicos del diseño de un cable de acero normal son: Los alambres que forman el cordón, los cordones y el alma.



CABLES PREFORMADOS: El preformado es un proceso que se lleva a cabo en la etapa de fabricación y que consiste en darle a los cordones la forma que van a tener en el cable terminado. Este proceso facilita el manejo del cable y mejora significativamente sus propiedades.

Las cualidades superiores de los cables preformados son el resultado de que tanto los cordones como los alambres están en una posición de "descanso" en el cable, lo cual minimiza las tensiones internas. Hoy en día, el preformado es un proceso prácticamente estándar en la fabricación de cables.

SECCIÓN
TRANSVERSAL
DE UN CABLE
DE ACERO



TIPOS DE ALMA EN LOS CABLES CONVENCIONALES: La principal función del alma de los cables es proveer apoyo a los cordones.

Gracias a ello el cable se mantiene redondo y los cordones correctamente ubicados. La elección del alma del cable tendrá un efecto en el uso del cable de acero.

Existen cuatro tipos de almas:

- 1.- alma de fibras sintéticas (polipropileno).
- 2.- alma de fibras naturales (sisal).
- 3.- alma de acero de un cordón.
- 4.- alma de acero de cable independiente.

Lubricada de modo conveniente durante el proceso de fabricación, el alma de fibra aporta al cable la lubricación adecuada contra el desgaste ocasionado por el frotamiento interno y protección contra el ataque de agentes corrosivos.

Debido a las grandes presiones que los cordones ejercen sobre el alma, es necesario, en ciertos casos, que la misma sea de tipo metálico en lugar de textil, evitándose así las deformaciones por aplastamiento.

NOMENCLATURA BASICA DE LOS CABLES CONVENCIONALES:

Los cables de acero se identifican mediante la nomenclatura que hace referencia a:

- 1.- la cantidad de cordones.
- 2.- la cantidad (exacta o nominal) de alambres en cada cordón.
- 3.- una letra o palabra descriptiva indicando el tipo de construcción.
- 4.- una designación de alma, cualitativa o cuantitativa.

Esta nomenclatura simple es sumamente práctica y está internacionalmente normalizada para los cables convencionales.

Figura N° 50



6x7+1 AT
- 6 cordones
- 7 alambres por
cordón
- 1 alma textil