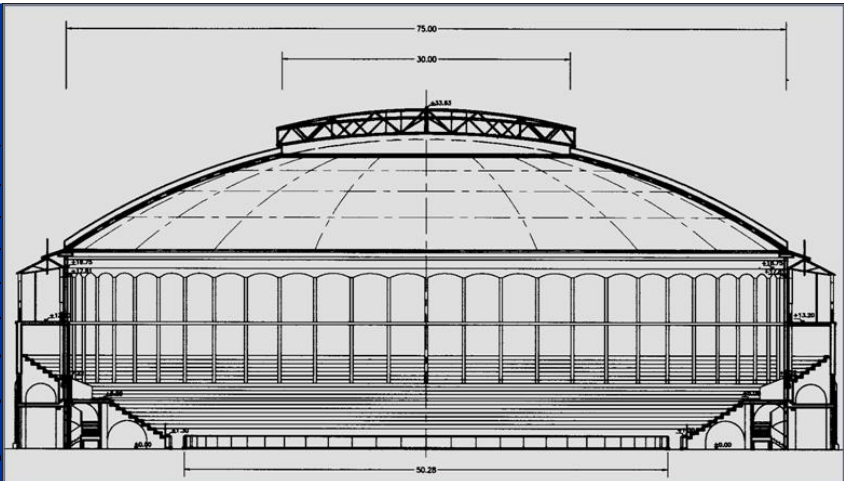


Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

José Romo Martín



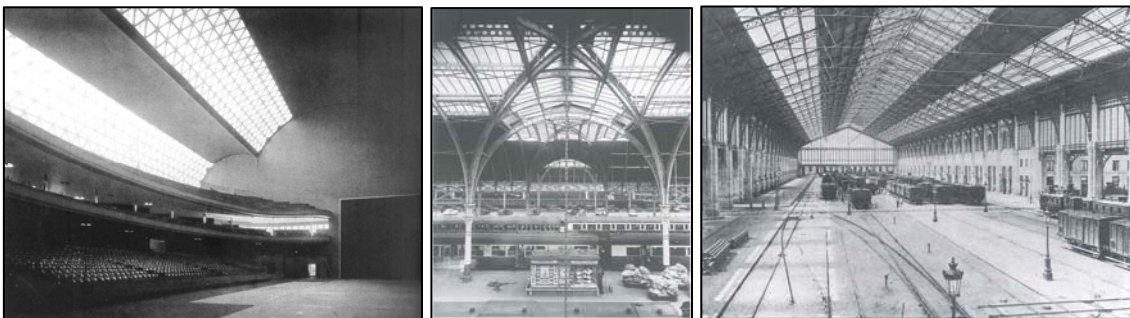
1. INTRODUCCIÓN

Un aspecto que ha caracterizado al hombre en sociedad desde las primeras civilizaciones, es el interés por el ocio común. Los espectáculos de masas constituyen desde la antigüedad clásica las demostraciones más importantes de este tiempo libre compartido.

Los promotores de estos eventos multitudinarios, tanto públicos como privados, conscientes del beneficio que supone la concentración de usos tan variados como puede ser un espectáculo deportivo, una corrida de toros o un concierto, necesitan cada vez más edificios con un aforo importante y al mismo tiempo dotados de una gran flexibilidad.

En este contexto aparecen los modernos espacios cubiertos construidos con la posibilidad de descubrirse total o parcialmente en unos pocos minutos, por impulso de dicha demanda social.

Las cubiertas de gran luz han sido tradicionalmente uno de los campos de desarrollo de la ingeniería civil, no hay más que recordar las estaciones ferroviarias del siglo XIX o las obras de Torroja en el siglo XX, para percatarse de la influencia de estas tipologías arquitectónicas en el avance de la ciencia de la construcción.



Frontón de Recoletos, Estación de Paddington y Estación de Austerlitz

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

Las ventajas de las cubiertas retráctiles han sido usadas desde la antigüedad, así el Coliseo de Roma, construido por la dinastía imperial flavial en el siglo I d.C. tuvo un sistema de cubierta textil susceptible de abrirse y cerrarse, mediante un sistema de tracción manual.

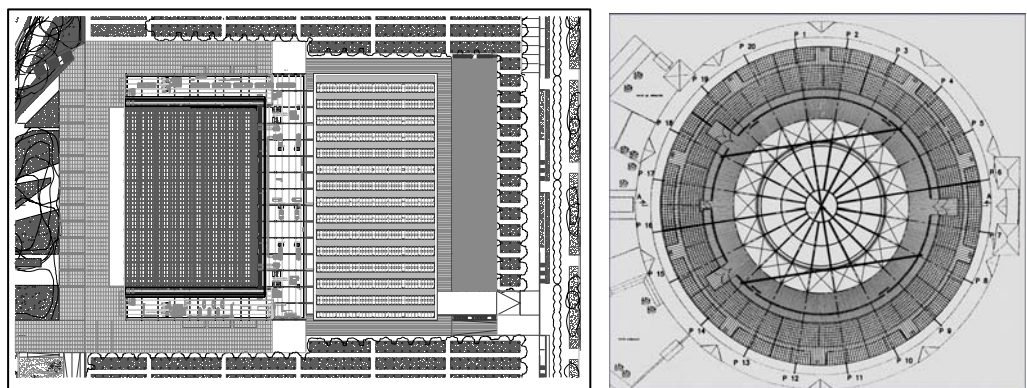
En los años treinta del pasado siglo XX, se comenzaron a motorizar pequeñas cubiertas móviles que se accionaban con sistemas similares a los empleados en las grúas.

El gran salto a las grandes luces se realiza con la realización del Pittsburg Civic Arena, construido en 1961, que con sus 127 m de luz constituye una obra pionera en todos los sentidos.

A partir de los años 90 del siglo XX se produce un gran número de realizaciones de este tipo de obras, como consecuencia de la fuerte demanda de los Promotores, y de la aplicación de la ingeniería mecánica robotizada, que permite el movimiento de grandes cargas con precisión y seguridad.

2. EL ESPACIO ARQUITECTÓNICO Y LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL

El proyecto de una estructura de cubierta de gran luz, está fuertemente influenciado por los distintos requisitos funcionales que concurren como consecuencia de la multiplicidad de usos del edificio. Uno de los datos de partida para el proyecto estructural, es la configuración en planta del espacio compatible con los distintos espectáculos previstos, lo que se traduce también en la definición de los espacios que requieren ser descubiertos durante alguna fase del evento público.



Ejemplo de distintas plantas de edificios para espectáculos

Por otra parte el espacio general generado debe ser acorde con la utilidad y el concepto general arquitectónico del edificio. De esta forma hay espectáculos que requieren una volumetría especial. Así mismo, el aspecto exterior de la cubierta debe referirse o al

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

menos tener en cuenta el ambiente arquitectónico en que se encuentra integrada la obra.

Cuando se trata de cubrir edificaciones existentes, tales como plazas de toros o cubiertas de estadios, se suma a los condicionantes anteriores, la necesidad de adaptarse a una obra construida lo que supone en la práctica la reducción del número de soluciones estructurales posibles.



Plaza de toros de Pontevedra: Situación de la Plaza antes de su construcción

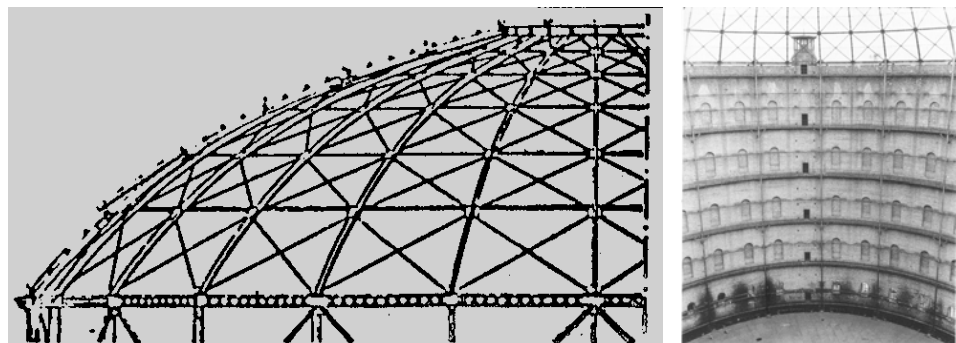
2.1 SISTEMAS ESTRUCTURALES

Dentro de las posibilidades tipológicas, se puede establecer una clasificación en función del tipo de funcionamiento estructural de la cubierta:

- Estructuras con un comportamiento laminar
- Estructuras trabajando fundamentalmente a flexión

2.1.1 ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO LAMINAR

Estas son las soluciones naturales para cubrir grandes espacios con un consumo mínimo de materiales. Desde el Panteón de Roma, en un hormigón primitivo, hasta las soluciones tipo Schwelder, empleadas en los gasómetros alemanes del XIX, constituyen ejemplos clásicos de esta tipología.



Solución tipo Schwelder y Gasómetro de Fichtestrasse en Berlín de 1876.

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

En el caso de estructuras modernas en acero, el comportamiento laminar pasa por la existencia de una estructura triangular inscrita en una superficie con doble o simple curvatura, que permite un trabajo por forma basado fundamentalmente en elementos trabajando a compresión o tracción.

El recuperación de estas formas estructurales aplicadas a las cubiertas de recintos circulares, como las plazas de toros, en las que las luces pueden llegar a ser de hasta 120 m, permiten la realización de estructuras con esbelteces de hasta 1/300 para relaciones flecha/luz del orden de 1/7.

Estas obras presentan la armonía característica de la planta central, creando espacios serenos que no dejan de sorprender por su liviandad y eficacia estructural.



Cubierta de la Plaza de Toros de Pontevedra

En el caso de estructuras de cubierta en las que las membranas textiles forman parte de la estructura principal, las formas resultantes provienen de la doble curvatura necesaria para que la membrana no pierda la forma ante cargas de sentidos contrarios, como son la nieve y la succión producida por el viento. En ellas el conocimiento y la imaginación del proyectista son básicos en la consecución de estructuras estables y estéticamente interesantes.



Cubierta del Delfinario de Tenerife

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Cubierta Piscina C. Comercial Colombo Lisboa

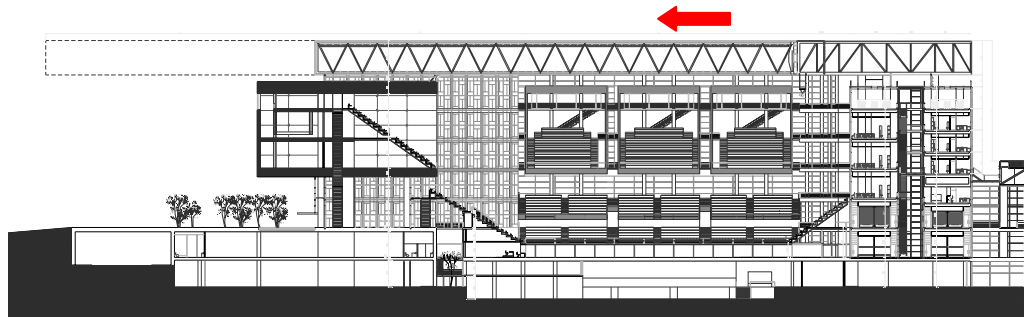


Cubierta Centro Comercial Fañabé Tenerife

2.1.2 ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN

En otros casos se desea realizar una cubierta formalmente plana, más acorde con otras configuraciones en planta, tales como las correspondientes a espacios para espectáculos deportivos: tenis, piscinas, etc., o con una volumetría exterior paralelepédica más al gusto actual arquitectónico.

En estos casos el comportamiento estructural de la cubierta es a flexión, por lo que la estructura tendrá un canto importante.



Sección Centro Acuático. Madrid

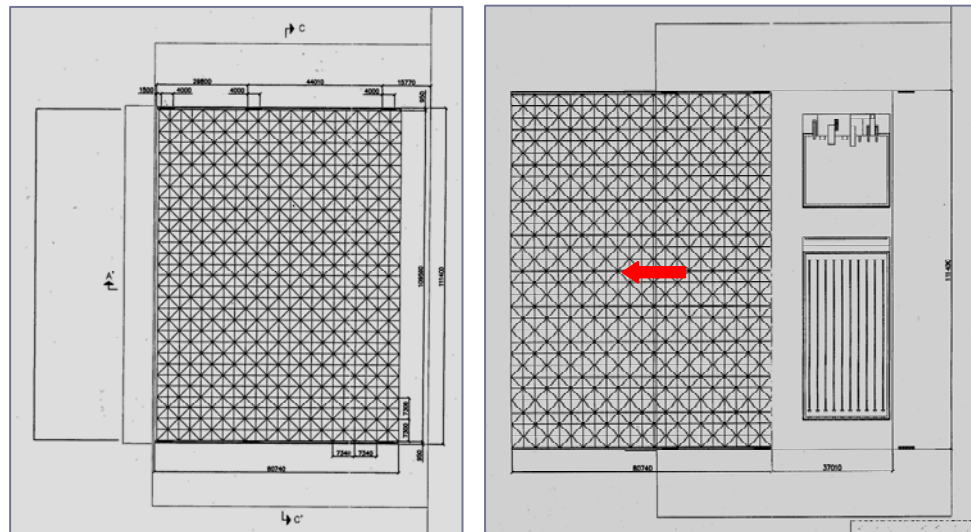
Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

3. SISTEMAS DE MOVIMIENTO

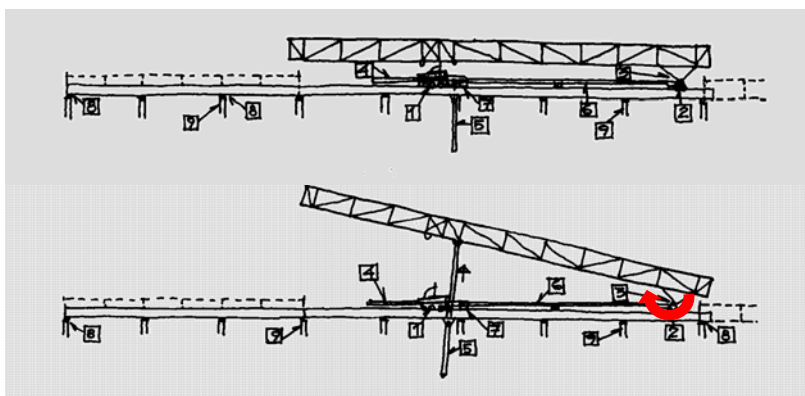
Existen distintas configuraciones geométricas para poder descubrir total o parcialmente el espacio cubierto. Las posibilidades de movimiento, dependen fuertemente de la configuración arquitectónica del conjunto del edificio y de la parte de la cubierta que permanece fija. De una forma simplista y sin agotar las múltiples posibilidades existentes, se definen a continuación los movimientos más frecuentes.

3.1 MOVIMIENTOS SOBRE SUPERFICIES PLANAS

En el caso de movimientos sobre cubiertas planas, son posibles las traslaciones y las rotaciones de eje horizontal o vertical, o combinaciones de traslaciones y rotaciones.



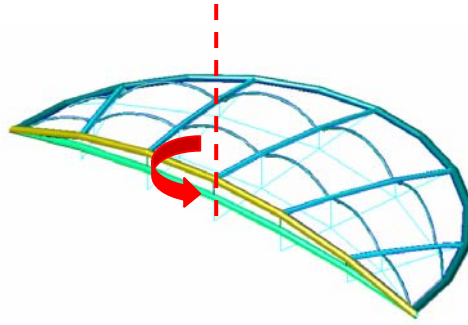
Traslación: Cubierta del Centro Acuático de Madrid



Rotación de eje horizontal: Caja Mágica



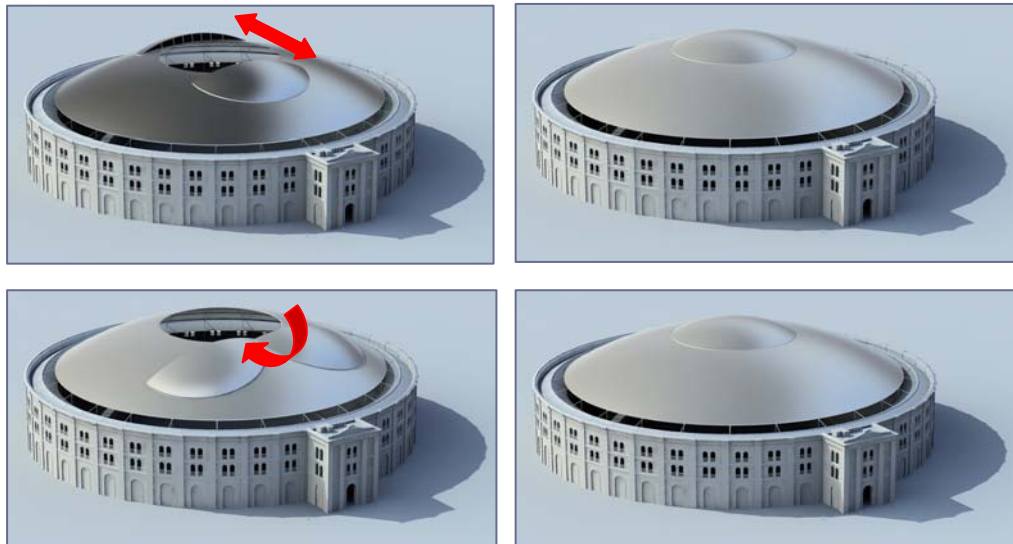
Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Rotación de eje vertical: Cubierta Móvil: Plaza de Aranda

3.2 MOVIMIENTOS SOBRE SUPERFICIES ESFÉRICAS

En estos casos los movimientos posibles en planta son el resultado de un giro respecto al centro de la esfera de la cubierta fija.



Estudio de soluciones de la Plaza de Tarragona: Movimientos sobre una superficie esférica

4. SISTEMAS DE PROPULSIÓN

De una forma simplista, los sistemas de propulsión o de empuje se pueden clasificar en función de la forma de la aplicación de la fuerza de tiro o empuje sobre las partes móviles:

- Motorización sobre ruedas o cremalleras
- Tracción con cables accionado con polipastos
- Sistemas de empuje hidráulicos

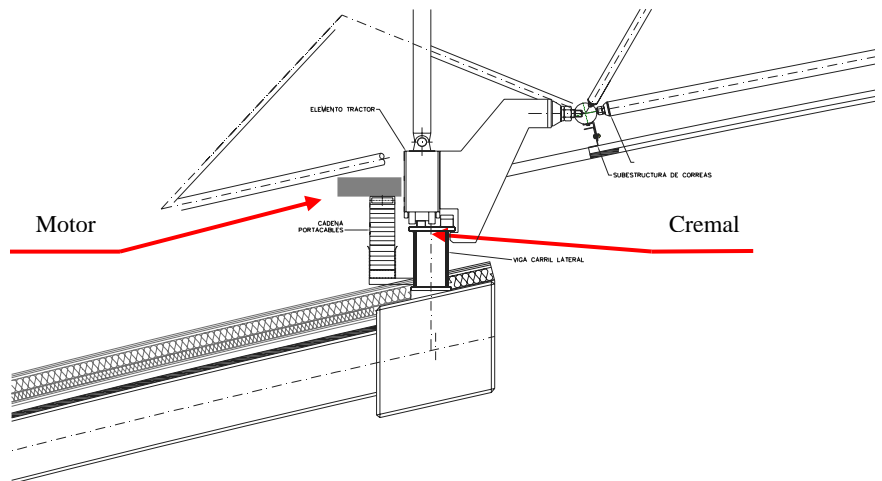
Estos sistemas, pueden ser usados también de forma combinada. La idoneidad de uno u otro depende fundamentalmente del tipo de movimiento a efectuar, de las cargas a mover y de las

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

pendientes a salvar por la parte móvil. En los apartados siguientes se ilustran estas posibilidades.

4.1 MOTORIZACIÓN

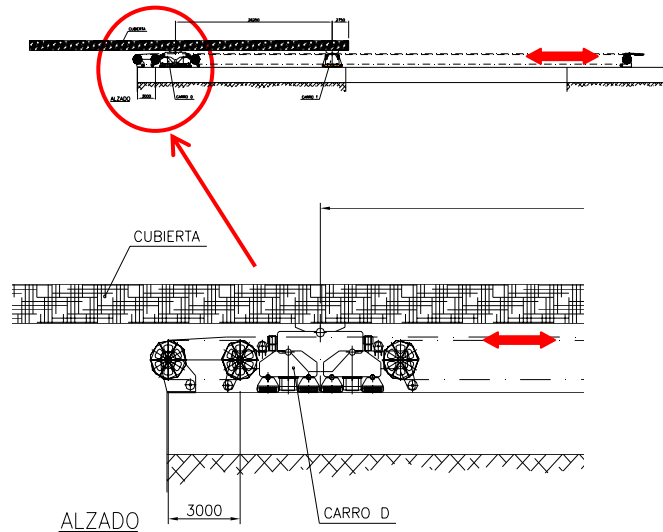
Este sistema consiste básicamente en la aplicación de un par mediante un motor acoplado a las ruedas sobre las que se apoya la parte móvil de la cubierta. En aquellos sistemas con pendientes altas el sistema de rodadura suele consistir en una cremallera dentada. En estos casos el par motor se aplica sobre una rueda dentada en la que apoya la cubierta móvil.



Elemento tractor: Cubierta de la Plaza de Toros de Tarragona

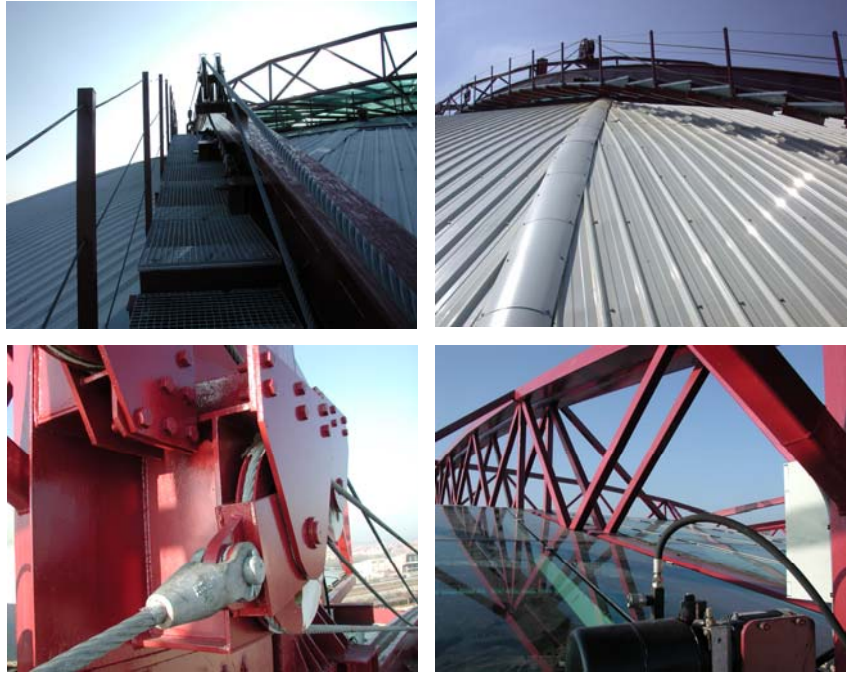
4.2 TRACCIÓN CON CABLE

En este caso, la fuerza tractora procede de un sistema de cables que se mueve mediante un polipasto motorizado, que actúa en las dos direcciones. El sistema de rodadura puede ser mediante ruedas o rodos en el caso de fuertes cargas verticales.



Sistema con tracción mediante cable: Cubierta del Centro Acuático

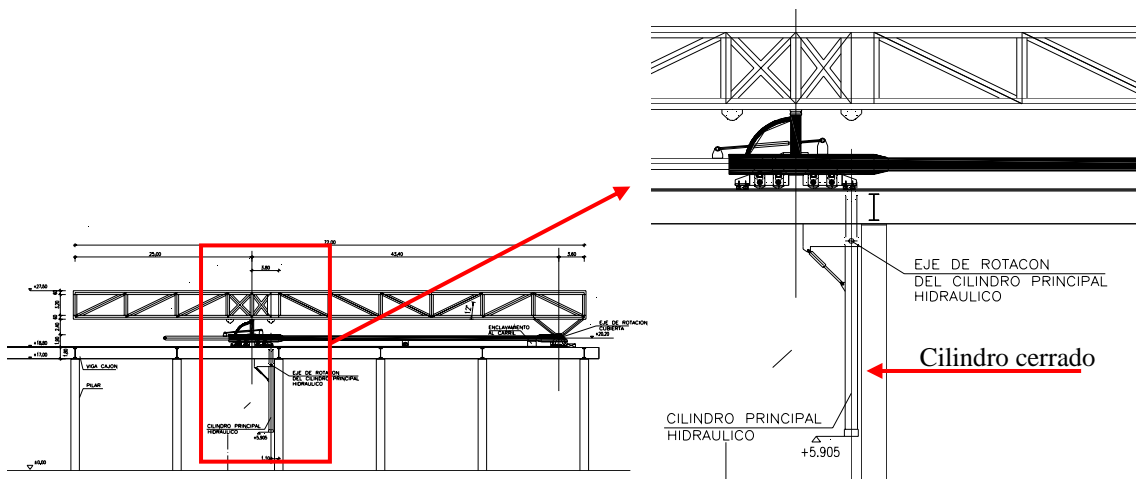
Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Detalles mecanismos plaza de Toros de León

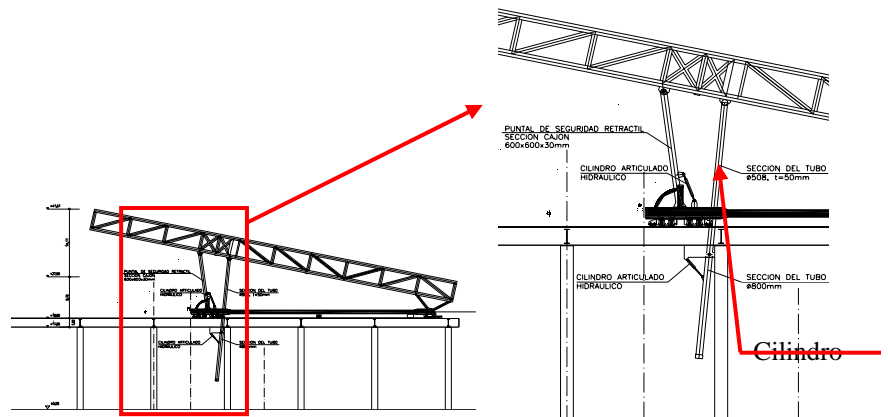
4.3 SISTEMAS HIDRÁULICOS

Una tercera posibilidad es el desplazamiento o giro mediante el empuje generado por cilindros hidráulicos telescópicos, que transmiten la carga axial necesaria para movilizar la cubierta.

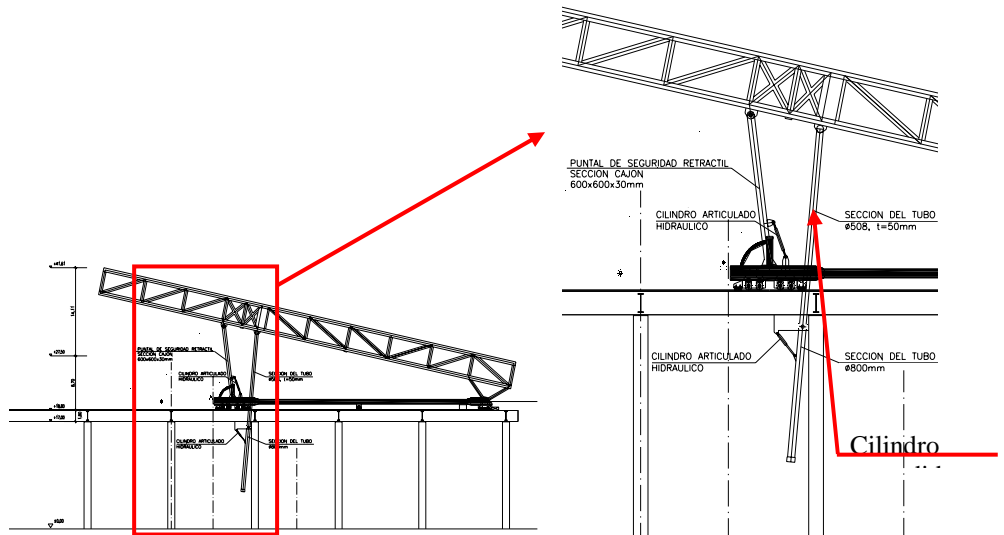


Propuesta sistema de apertura cubierta de la Caja Mágica (Madrid):
situación cerrada

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Propuesta sistema de apertura cubierta de la Caja Mágica (Madrid): situación cerrada



Propuesta sistema de apertura cubierta de la Caja Mágica (Madrid): situación abierta

5. MATERIALES

Los materiales, tanto los empleados como elementos resistentes, como aquellos que constituyen los sistemas de cerramiento, son los elementos visibles en los que se materializa el concepto arquitectónico y estructural de la obra.

Existen en la práctica, un gran número de combinaciones posibles entre los materiales estructurales (acero, madera, aluminio y materiales compuestos), y los del sistema de cobertura: chapa, madera, vidrio y membranas textiles con sus variedades opacas (PVC y teflón), y transparentes (ETFE).

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural

En la combinación acertada de estos materiales radica el éxito de la actuación.

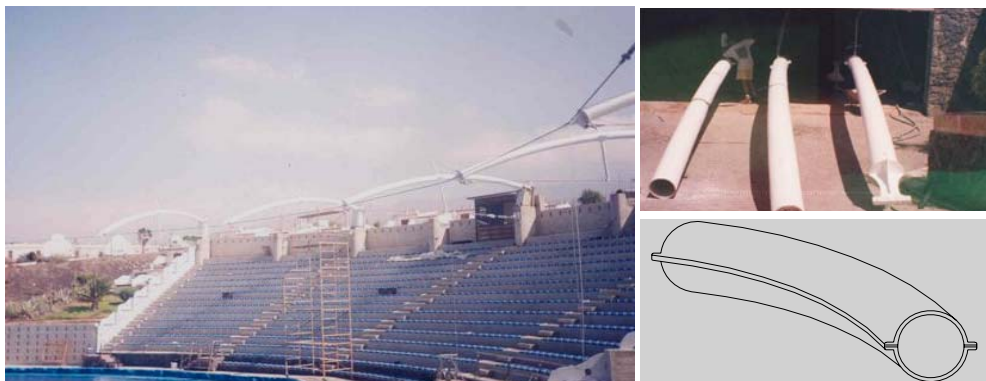
5.1 MATERIALES ESTRUCTURALES

El material estructural empleado más profusamente en este tipo de cubiertas es el acero, materializado en forma de perfiles laminados con sección en doble T o en elementos tubulares. En los casos de estructuras con comportamiento laminar, con un comportamiento estructural por forma, se consigue un gran aprovechamiento del material que conduce a soluciones muy económicas y de una gran esbeltez.



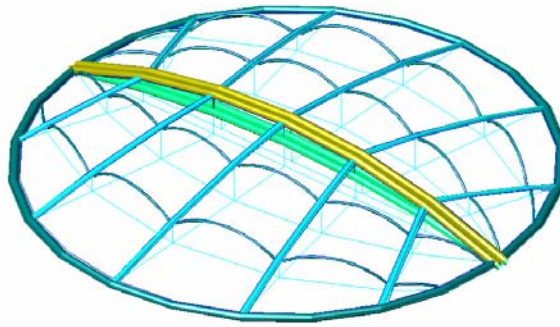
E
sbeltez de una solución estructural metálica. Plaza de Toros de Pontevedra

No obstante, en algunas aplicaciones, en especial cuando se trata de mover grandes cargas sobre otras estructuras esbeltas, puede resultar interesante el empleo de materiales compuestos: Fibra de vidrio con matriz epoxídica por su menor peso.



Vigas de material compuesto: Cubierta del Delfinario de Tenerife

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Propuesta de cubierta móvil en composite para la Cubierta Móvil de la Plaza de Toros de Aranda de Duero.

En otros casos, las estructuras de madera e incluso las de aluminio pueden resultar soluciones interesantes bajo el punto de vista económico y estructural, especialmente en el rango de luces pequeñas y cuando se pretende dar una cierta impresión visual concreta al espacio contruido.

5.2 MATERIAL DE CUBIERTA

En la elección del material de cubierta de la estructura, se presentan gran número de variables muchas de ellas contrapuestas, que deben de ser estudiadas y valoradas en función de la localización y el uso específico arquitectónico.

- Aislamiento del soleamiento y lluvia
- Luminosidad
- Aislamiento térmico
- Aislamiento acústico
- Acústica del recinto
- Peso del sistema
- Coste de conservación
- Comportamiento frente al fuego

Con estas variables las soluciones pueden ir desde las membranas textiles en PVC o teflón, hasta las cubiertas de chapa grecada con un sistema de aislamiento o un cerramiento de vidrio.



Membrana textil: Plaza de Toros de Pontevedra

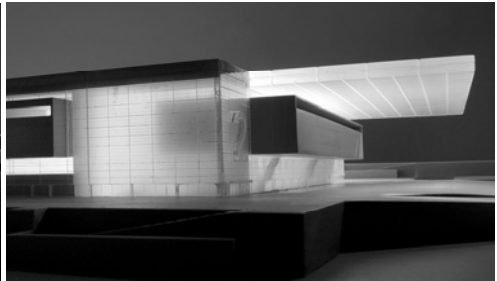
Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Chapa grecada: Plaza de Toros de León



Vidrio: Plaza de Toros de León.

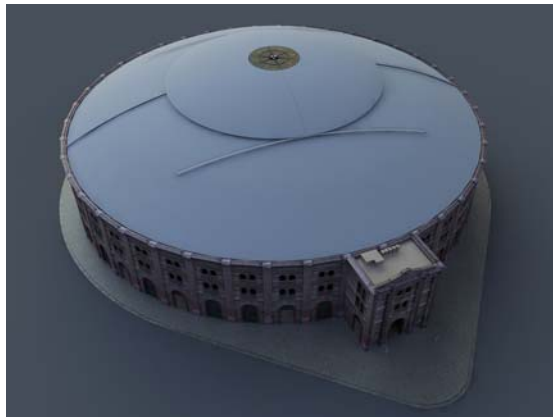
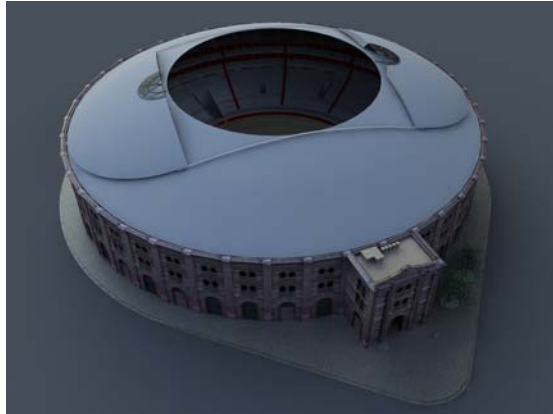


Terminación en vidrio: cubierta Centro Acuático Madrid

6. CONCLUSIONES

El desarrollo de la ingeniería estructural y mecánica de las últimas décadas, unido a las demanda de grandes espacios para espectáculos, ha permitido el auge de las construcciones móviles de gran luz. La gran cantidad de situaciones proyectuales unida a las posibilidades tecnológicas, han abierto una línea de desarrollo que se verá reflejada en el futuro en este campo de actividad en el que resulta primordial la creatividad del ingeniero estructural.

Cubiertas Móviles de gran luz.
Un campo de desarrollo de la
Ingeniería Estructural



Solución definitiva cubierta Plaza de Toros de Tarragona