

Capítulo 2

Casos Análogos

Planetario Cd. de las Ciencias. Valencia, España. 1991

Ubicado en el antiguo cause del río Turia, es parte un complejo creado por el arquitecto Santiago Calatrava, ganador de un concurso para la construcción del mismo.

El planetario de planta elíptica es sostenido por arcos perimetrales inclinados, formado por partes metálicas móviles y fijas. Siendo esta una estructura independiente que hace la función de envolvente de una sala hemisférica de concreto.

La cubierta curva del museo posee una gran superficie acristalada que protege al usuario del planetario, además de darle una identidad única por su estética, la cual crea un ambiente de asombro en los usuarios concordante con la intención del mismo, educar a la sociedad en el ámbito de las ciencias¹.



¹ Molinari Luca, Santiago Calatrava, Ed. Skira, Italia. 1999 p.150

Al igual que el planetario de la Ciudad de las Ciencias, yo planteo un envolvente acristalado curvo en arco, la diferencia es que el planetario tiene su propio techo aparte de un envolvente, en mi planteamiento el mismo envolvente se convierte en el techo del museo y los arcos serian perpendiculares al piso, no inclinados como sucede en este caso análogo.

Puente Fremont en Portland, Oregon, EEUU



Sobre la carretera I-405 cruza el río Willamette en un punto importante cerca del centro de Portland.

El puente tenía que tener una altura considerable ya que los barcos pasarían debajo de él, por esto se pensaría que tendría que ser una construcción muy visible.

La comisión de carreteras del estado pidió a 6 ingenieros preparar sus diseños del puente para presentarse ante el ayuntamiento de Portland.

Algunos querían un puente suspendido por razones estéticas pero el

costo era muy elevado, un puente en cantiliver era la opción más económica, pero la apariencia fue considerada inaceptable.

La concesión fue dada a un diseño de última hora, la propuesta era un arco similar al de un puente cercano a Vancouver, Canadá y su costo era intermedio entre las propuestas antes presentadas.

Construyendo el puente, el contratista de la obra, Murphy Pacific, decidió construir completa la sección central (la sección de el arco que esta sobre la carretera) fuera del sitio, y cargarlo para sobreponerlo en sus apoyos extremos previamente terminados. Fue el elemento de puente levantado más pesado y largo en la historia con 6,000 toneladas y 270m. de largo, ingenieros de todo el mundo vinieron a ver la colocación de este y fue llevado a cabo por 8 grúas hidráulicas sin complicaciones en 40 horas en Marzo de 1973.

EL puente tiene un largo de 650m. a una altura de 115m. sobre el nivel del río.

Cuenta con 8 carriles y es el puente más largo en Oregon y el más largo en arco del mundo².

En este caso podemos apreciar un arco metálico monumental con una esbeltez insólita a pesar de tener una carga viva impresionante al soportar una amplia avenida.

Esto nos da idea de la capacidad de carga y el claro que pueden salvar este tipo de estructuras.

² www.structurae.net

En el caso de los arcos del museo la carga viva seria prácticamente nula, ya que estos solo cargarían su propio peso y la cubierta. El claro a salvar y la altura serian considerablemente menores.

Auditorio Centenario 5 de Mayo³

La Secretaria del Patrimonio Nacional decidió que se erigiera un auditorio en la explanada comprendida entre los fuertes de Loreto y Guadalupe, sus arquitectos consideraron conveniente que el local tuviera planta circular con techo en forma de cúpula o domo con claro libre diametral de 60m. entre apoyos y altura máxima respecto a los mismos de 17m. Teniendo en cuenta el conjunto de factores correspondientes a tiempo disponible de ejecución, estética del propio techo y finalmente costo, se decidió que la estructura fuera de madera formada por veinticuatro arcos con eje radial en planta. Se hizo la recomendación de procurar el aspecto más satisfactorio desde el interior, en razón a que diversas alternativas de enlarguado, arriostramientos y contraventeos pueden conducir soluciones poco agradables. Con esas bases se procedió a desarrollar el diseño estructural como a continuación se explica:

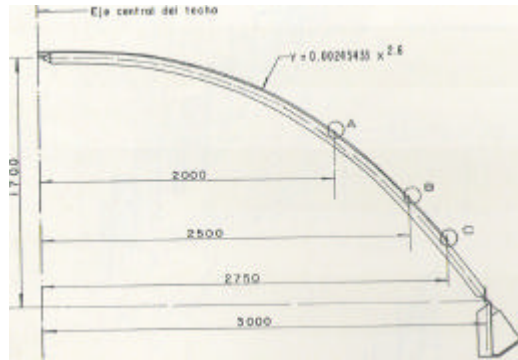
Diseño de arcos

Se determinó como condición más conservadora, definida y de rápida ejecución, el que cada arco de semiclaro radial tuviera apoyo de articulación en ambos extremos. Así pues se consideró que en el extremo superior correspondiera al centro del techo solamente obraría un coceo

³ Este caso análogo esta basado en su totalidad en, Guerrero y Torres Jehová, Trabajos selectos de Ingeniería Civil, Ed. Mexa, México, p.800

horizontal como reacción total y en el extremo inferior correspondiente a la articulación anclada al cimiento obraría una reacción resultante del coceo inferior y de la carga vertical total correspondiente a cada arco. Desde luego que las condiciones anteriores corresponden a la carga muerta, que es la de mayor importancia cuando se trata de grandes estructuras de madera, en climas como el de Puebla.

Con la idea de alcanzar el grado de máxima garantía en estabilidad para cargas muertas y teniendo en cuenta que no sería posible obtener previamente los resultados de pruebas en piezas representativas de los arcos, dado que su gran sección obligaría a fabricar los laminados de tablas de no más de 2.5cm de espesor y longitud muy corta en relación con la de 36.28m. de desarrollo entre centros de apoyo, se decidió adoptar una curva de expresión matemática sencilla que se aproximaría lo suficientemente a la línea de presiones. De esa manera resultó que el eje de cada arco corresponde a una curva de función monomio de exponente fraccionario. Con ello resultó que el domo no sería segmento esférico como es la práctica usual sino que tendría la forma de "politropoide de revolución". En vista de que los momentos flexionantes son el producto del coceo horizontal por la ordenada vertical de la línea de presiones respecto al eje del arco, se obtuvieron momentos de un orden tal que el esfuerzo combinado de compresión y momento implica un factor de seguridad mínimo superior a 5 respecto a los resultados de ensayos que, ya contruidos los arcos, pudieron ejecutarse en tramos de uno que se eligió como suficientemente representativo. La geometría de esos elementos estructurales primarios representa una innovación de los techos de su género.



Articulaciones superiores

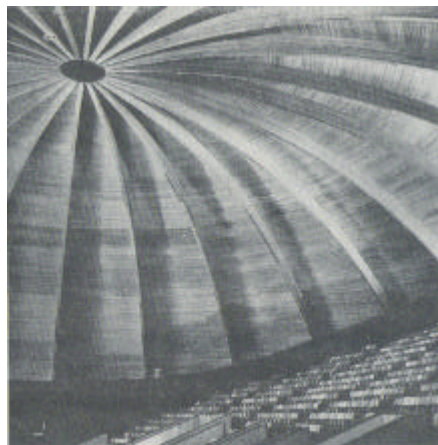
Cuando se trata de una articulación central que conecta a dos arcos coaxiales es muy sencilla la solución con diversos métodos, siendo el de placas perforadas con un pasador el que corresponde a la práctica más común. En cuanto se trata más de dos y máximo cuando se llega a veinticuatro, como es el caso, el problema se vuelve tan complicado que muchos diseñadores optan por eliminar la condición de articulación proporcionando la conexión de manera que más bien implica continuidad estructural entre todos los arcos; eso es fácil en estructuras metálicas, sobre todo mediante conexiones soldadas, pero en estructuras de madera resulta oneroso y antiestético; sin embargo, el recurso más socorrido consiste en ligar con un grado de restricción indefinible los extremos de los arcos a un piñón central que viene resultando en cierta forma un tramo corto con doble semiarticulación, que no puede garantizar la estabilidad en forma satisfactoria.

Para evitar ese inconveniente se decidió adoptar el método de: "centro instantáneo de rotación" mediante un diseño de cuádruple articulación elástica en dos barras para el extremo de cada arco. En esa forma se logró que todas las rotaciones de deformación tenga por centro único precisamente el punto que corresponde al vértice del techo en que concurren los ejes de todos los arcos. De este método no hay

antecedentes en ninguna parte del mundo y puede considerarse como un adelanto que surgió con esta obra.

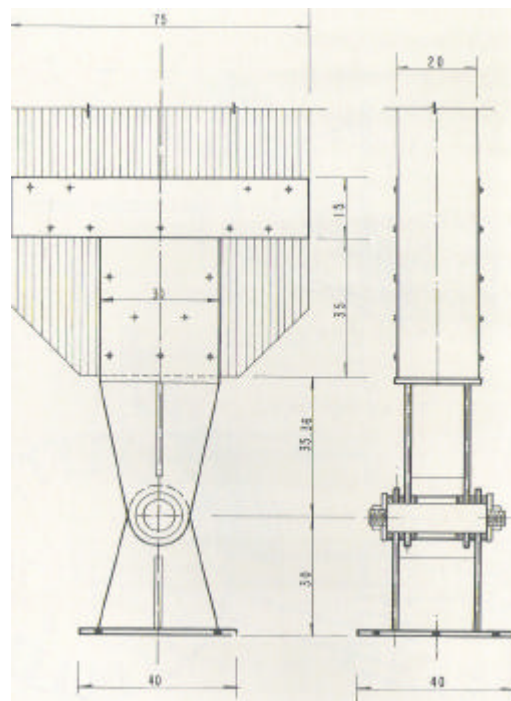
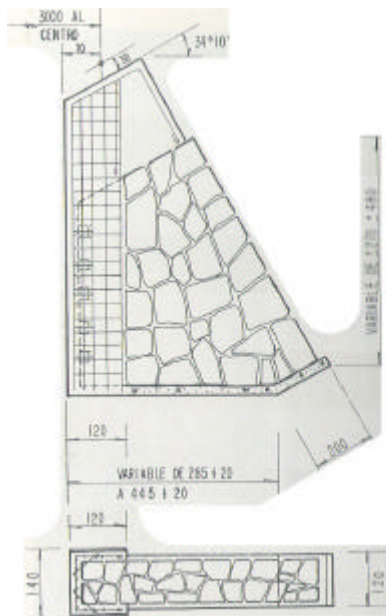
Diseño estructural de la cubierta

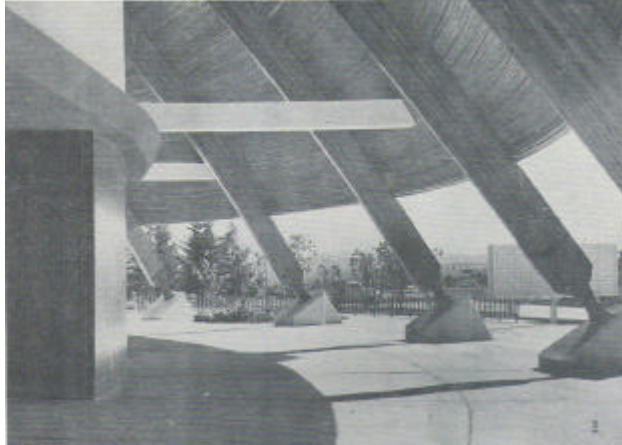
Aprovechando la circunstancia de que bien podría establecerse una condición de continuidad y de mutuo soporte lateral entre todas las piezas de la cubierta si esta estuviera constituida por tablas encorvadas en planta y colocadas con su eje principal de sección en posición horizontal, es decir: teniendo la sección en posición vertical según el peralte, habría la posibilidad de eliminar enlarquerados, arriostriamientos y contraventeos teniendo un forro estructural autosoportable de un aspecto interior de la máxima sencillez, se procedió a comparar el costo y el tiempo de ejecución con diversas alternativas de otros tipos de los más usuales, habiéndose llegado a la conclusión de que no solamente resultaba estructural y estéticamente superior, sino que además de menor costo. A favor de esta solución, que fue la elegida, se tiene por ende una liga más confiable con el forro impermeable externo debido a la indentación adicional que proporciona el escalonamiento del canto superior entre cada tabla. Esa estructura de cubierta es también una solución sin precedente conocido.



Cimentación

Por las restricciones que previamente a la construcción del techo se tenían en cuanto a espacio para ubicar en la forma mas favorable las zapatas independientes que transmitieran las cargas al terreno, hubo que optar por una solución mixta de mampostería y concreto reforzado para alcanzar el grado de estabilidad necesario, con el solo efecto del peso propio de esas zapatas y la capacidad de reacción admisible en el suelo. En esas zapatas quedaron ancladas las articulaciones metálicas inferiores del tipo convencional con empaquetaduras retenedoras de lubricante y un diseño extremadamente conservador, para poder absorber cualquier defecto tolerable de la fabricación o del montaje de los arcos.





Puede decirse que la estructura descrita significa un paso adelante en la técnica constructiva por lo que respecta a costo y a tiempo, del que hay que hacer notar que solamente se requirieron 75 días. Es satisfactorio precisar que esos progresos deben adjudicarse exclusivamente a la Técnica Mexicana.



En este caso podemos observar a detalle una obra realizada en la ciudad solucionada de una forma fuera de lo común, más no por ello compleja, al contrario tiene una solución simple que se reflejo en menor costo de construcción y tiempo de ejecución con tecnología Mexicana, lo cual también se pretende lograr en el Museo Volkswagen de México.

