ARQUITECTURA Y ARTE

Parabol

Como mi amigo Agustín sabe que me gustan estas cosas, me ha regalado el guion de la exposición que con el título *La Conquista de la Esbeltez* se ofreció en el Centro Conde Duque durante el año 2010 con ocasión del centenario del nacimiento del arquitecto madrileño Félix Candela.

Esa esbeltez es la de las láminas de cemento u hormigón armado que pueden adoptar formas constructivas curvas de gran extensión y resistencia. De entre las muchas y muy bellas realizaciones que se muestran en el guion me he fijado en dos: La famosa visera del graderío del hipódromo de la Zarzuela (Eduardo Torroja, Madrid, Fig.1) y el acceso a los Laboratorios Lederle (Félix Candela, México, Fig. 2).

Fig. 1

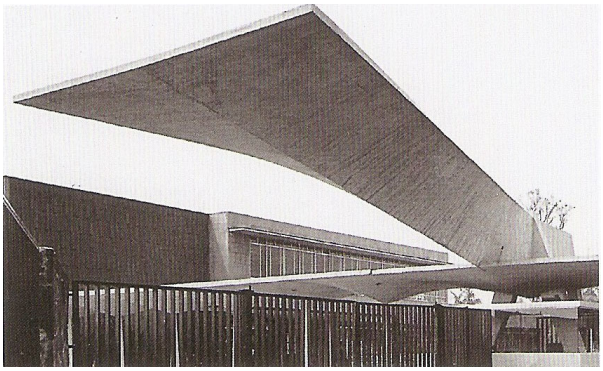


Fig. 2

Mi interés por estas construcciones viene de antiguo pero ahora se ha despertado mi curiosidad por conseguir el techado de una edificación con una lámina de paraboloide hiperbólico (PH). Esta superficie, de nombre vulgar "la silla de montar" es una bella forma de doble curvatura, a cuyo nombre colabora el caballo con su curvado espinazo (concavidad) y su costillar (curvatura convexa). Es el jinete quien aprecia lo cóncavo y lo convexo.

En la pág. 272 de este enlace (copiar y pegarlo en el navegador de búsqueda)

http://www.caprichos-ingenieros.com/ewExternalFiles/Extraordinario%202000.pdf

se puede ver un caballo equipado con su *paraboloide hiperbólico de montar*.

Aunque ni en la Fig. 1 ni en la 2 se aprecian claramente curvaturas PH, en la obra de Candela expuesta, sí que las hay. De esta construcción PH llegó a decir Eduardo Torroja que las arquitecturas históricas, jamás la utilizaron. Y añadía: "Es característica fundamental de todas estas superficies alabeadas, el aparecer cóncavas en una dirección y convexas en la perpendicular, lo que presta una expresión estética totalmente nueva y específica, desconocida de los estilos consagrados".

Mi proyecto no apuntaba, naturalmente, a una construcción en cemento, varillas de acero, y madera para el encofrado del PH. Solamente pretendía ser una maqueta en cartulina que representara a una edificación con techumbre PH. Ese PH se ve en rojo en la Fig. 3 que lo muestra como la superficie reglada que es. Las hipotenusas de los cuatro triángulos rectángulos son las directrices del PH y todas las otras rectas rojas son sus generatrices.

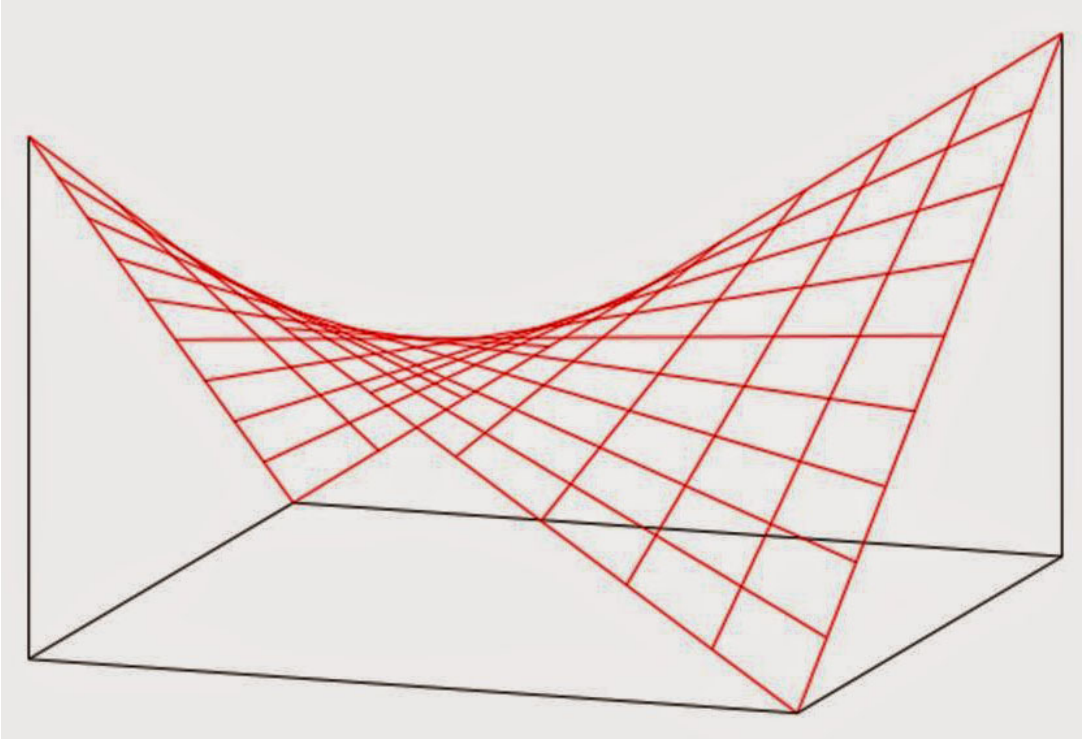
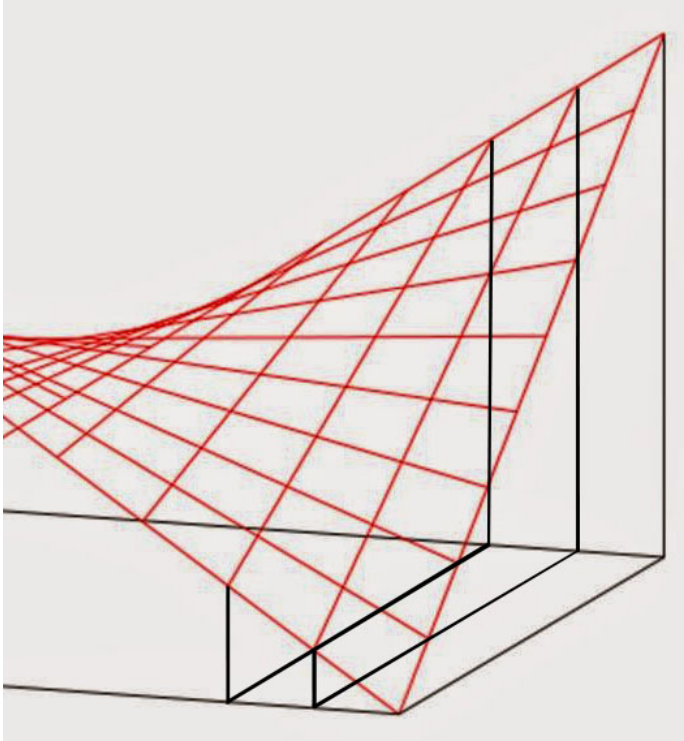


Fig. 3

Fig. 4



La Fig. 4 es un detalle de la 3 en el que se ven tres de las *costillas* que darán asiento a la lámina PH. La primera a la derecha es un triángulo rectángulo y las otras dos son sendos trapecios; las tres líneas rojas están sobre la superficie reglada PH.

Así pues, el *molde* del PH (Fig. 5) queda constituido por las 4 hipotenusas de los respectivos triángulos rectángulos (son el límite superior de la edificación) y por una serie de *costillas* trapeciales.

Estas costillas dan rigidez al molde en el sentido del lado menor del rectángulo base de la edificación. Como la rigidez según el lado mayor quedaba comprometida, he tenido que reforzar los dos triángulos rectángulos isósceles de los extremos de la construcción.

Las otras rectas rojas de la Fig. 3, las que se apoyan en las hipotenusas de los dos triángulos rectángulos isósceles, están ausentes en el molde. Pensé que sería suficiente apoyo para la lámina PH el constituido solamente por los lados inclinados de los trapecios de la Fig. 4.

En la página anterior a la del enlace indicado al principio se muestra otro tipo de PH en el que están materializadas todas sus generatrices rectas por medio de costillas entrecruzadas. Así resulta un molde más compacto pero de construcción laboriosa.

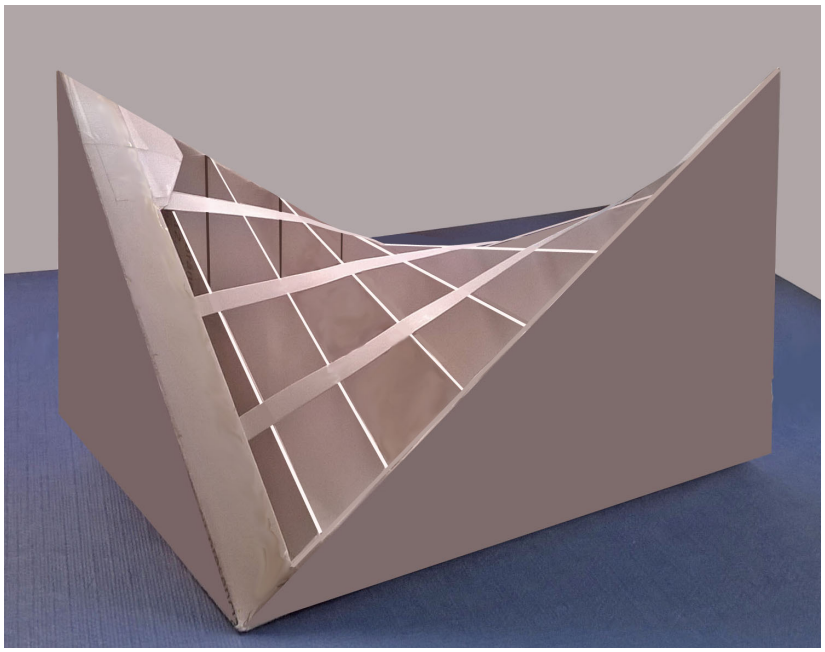


Fig. 5

He decidido, pues, situar en el molde solamente tres generatrices largas que, como se ve en la Fig.5 aparecen como superficies alabeadas (de hecho lo son dada la forma en que se apoyan esas tiras alargadas sobre las costillas,), pero es sólo un efecto óptico: la línea media de cada tira es una recta de la misma naturaleza que las generatrices rojas (y largas) de la Fig. 3.

Así llegamos al fondo de la cuestión: Cómo materializar la lámina PH. Mi intención fue siempre hacerla de papel o de cartulina, a sabiendas de que ninguno de estos dos materiales, tal como se ofrecen, se adaptan a una doble curvatura.

Pensé que sometiendo la cartulina a un largo proceso de remojado en agua caliente se la podría revertir a su condición de pulpa o a algo semejante que habría de permitir, una vez escurrida, su adaptación al molde.

Lo intenté sin éxito con papel DIN A4 de copia, con cartulina satinada y con un papel japonés delgadísimo. Olvidé que el proceso de una Papelera para convertir la pulpa de celulosa en papel es tremendamente complicado y, a todas luces irreversible (cepillado, refino, estucado, satinado, encolado, etc, etc).

Probé a humedecer la cartulina en un baño de agua con almidón disuelto por ver si así se adaptaría al molde. Aquí desatendí que tanto la cartulina como el papel son anisótropos y tienen memoria *piezo*, es decir, por su proceso de laminación bajo presión y estirado tienen condiciones unidireccionales contrarias a plegarse a una doble curvatura y a apartarse de su condición de planitud.

La solución definitiva ha consistido en abandonar el papel y pasar al textil. Pero no a una tela que nos daría problemas de arrugado como el papel, sino a un tejido de encaje. Sus características:

-Hilo grueso para que se empape bien.
-Dibujo calado en pequeñas cuadrículas, uniforme en toda su extensión.
-Superficie rectangular que se asiente bien sobre el molde.

Para lograr el tejido de encaje que necesitaba conté con la amble colaboración de Dorina, una joven mercera rumana que se ha instalado recientemente en mi vecindad. Es una entusiasta de las artesanías y me preparó una muestra *a ganchillo* que sirvió para obtener la réplica de la lámina PH que quedó como definitiva.

Proceso:
-Disponer de un recipiente donde quepa engurruñada con soltura la pieza de encaje.
-Observar la altura ocupada y extraer la pieza.
-Verter agua en el recipiente hasta 1 / 3 de la altura observada.
-Completar el resto de dicha altura (sus 2 / 3, es decir, doble volumen de cola que de agua) vertiendo cola blanca de la usada para manualidades.
-Remover bien la mezcla líquida.
-Introducir la pieza en el líquido agitándola para que se impregne bien todo el hilo en todos sus recovecos (estrujar, estirar, enjugar, repetir las maniobras y dejarla reposar dentro del líquido como una hora).
-Al cabo de ese tiempo, sacar la pieza del recipiente, escurriéndola. Cuando ya no gotee, aplicarla contra el molde fijándola en uno de sus dos picos superiores. Desde esa posición, extenderla bien estirada y asentada sobre la superficie PH hasta poderla fijar en el otro pico superior y en los dos inferiores del molde.
-Mantener pieza y molde en esa situación de buen asentamiento durante 24 horas.
-Desmoldear la pieza de encaje, mantenerla al aire para su secado final durante algunas horas (Fig. 6), y situarla en lo alto de la edificación.

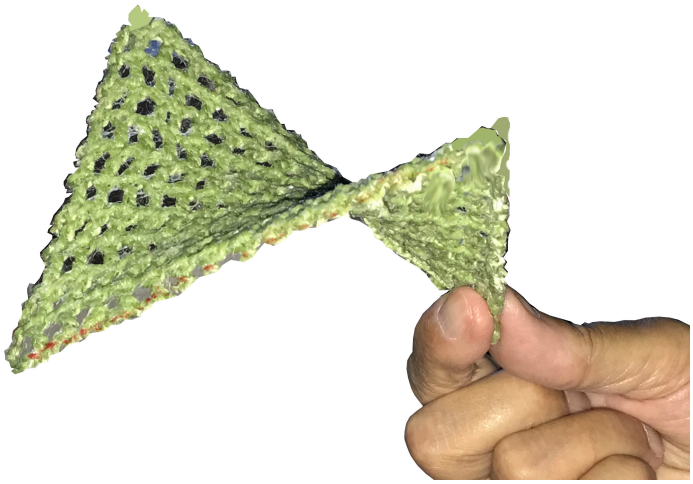


Fig. 6

La Fig. 6 muestra cómo la lámina PH ha adquirido consistencia autoportante una vez que la cola ha polimerizado (algo semejante a lo que ocurre cuando fragua el cemento). Por cierto, si se quisiera mejorar esa consistencia obtenida, basta esparcir sobre la superficie de la lámina PH la cantidad necesaria de mezcla líquida sobrante que ha quedado, y esperar su secado.

Sobre el desmoldeo del la lámina PH hay que decir algo. Yo había olvidado que al manejar cola blanca sobre papel como apoyo auxiliar de cualquier operación, la pieza se queda pegada a ese papel, cosa que no ocurre si el tal apoyo auxiliar es de plástico. Precisaba, pues, aplicar un desmoldeante que resolviera dos cosas: que la lámina PH no se quedara pegada al molde, y que no fuera necesario destruir dicho molde. La cosa se resolvió a plena satisfacción aplicando papel celo sobre todas las superficies de papel (o cartulina) del molde que habrían de estar en contacto con la lámina PH. Así ésta se apoyaba sobre la cara brillante del celo que cubría las tres tiras de la Fig. 5, los refuerzos, etc.

En la lámina rígida de encaje verde (Fig. 6) se puede apreciar que el PH ha quedado construido gracias al efecto metafórico de unas varillas de acero (los hilos cruzados del encaje), y del cemento que fragua (la cola blanca). El encofrado de una construcción real ha sido sustituido por el molde. Ya sólo falta elevar el PH recién logrado a lo alto del edificio (Fig. 7).

Esta Fig. 7 se parece mucho al molde de Fig. 5. Los cuatro triángulos rectángulos de éste (sus paredes), se han convertido en trapecios para dar al edificio la necesaria elevación. De dichos trapecios se han derivado las cuatro columnas y los cuatro huecos de las paredes de la nueva construcción. Estos huecos son parábolas $y = p\,x^2$ cuyo eje es la bisectriz de los ángulos agudos de los trapecios. Como se ve, una pareja de parábolas es más *ancha* que la otra. En las parábolas *anchas* es el parámetro p = 1 y en las *estrechas* es p = 2.

La Fig. 8 representa la edificación completa, incluyendo el techado de la lámina PH.

Fig. 7

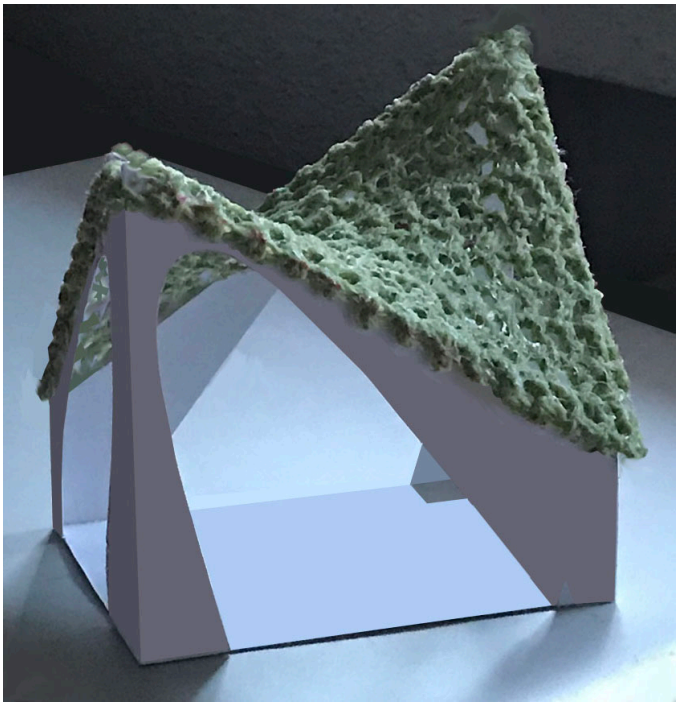


Fig. 8