



# Cúpula extensible

**LUIS SÁNCHEZ-CUENCA**

DR. ARQUITECTO

Convertir en extensible una superficie de doble curvatura puede plantear problemas de difícil solución. Incluso en ocasiones una superficie así puede no ser extensible.

En el caso de este proyecto la extensibilidad se consigue mediante una geometría muy precisa aplicada a una superficie que no es exactamente esférica.

The process of making a surface of double curvature extensible poses a series of problems of difficult solution. There are even times when that process is not feasible.

This paper presents a solution by which the extension of the surface is accomplished using a very precise geometry that is not spheric

Convertir en extensible una superficie de doble curvatura puede plantear problemas de difícil solución. Incluso en ocasiones una superficie así puede no ser extensible. Lina Puertas ha demostrado, por ejemplo, la imposibilidad de hacer extensible una trama de directriz esférica<sup>1</sup>.

En el caso de este proyecto la extensibilidad se consigue mediante una geometría muy precisa aplicada a una superficie que no es exactamente esférica. De hecho es una superficie de traslación obtenida a partir de un arco de circunferencia. Esta geometría es generalizable y puede utilizarse para múltiples tipos de tramas<sup>2</sup>.

Con el tiempo algunos aspectos de este proyecto han quedado desfasados. El nudo, por ejemplo, lo ha resuelto mucho mejor F. Escrig<sup>3</sup>. Otro elemento, la tela, tendría hoy otras características. En cambio tanto la geometría como el concepto estructural a base de tensores que rigidizan las barras en  $x$ , pienso que mantienen su validez y es lo que justificaría su publicación.

La Memoria que sigue es la transcripción de la que acompañó al proyecto.

## MEMORIA

### Objeto

Cubierta ligera autoportante de dimensiones medias y que pueda ser trasladada e instalada con facilidad en un emplazamiento cualquiera tantas veces como sea necesario.

### Soluciones propuestas

Estructura de barras con cubierta flexible incorporada que puede ser comprimida o extendida a voluntad.

### Geometría básica

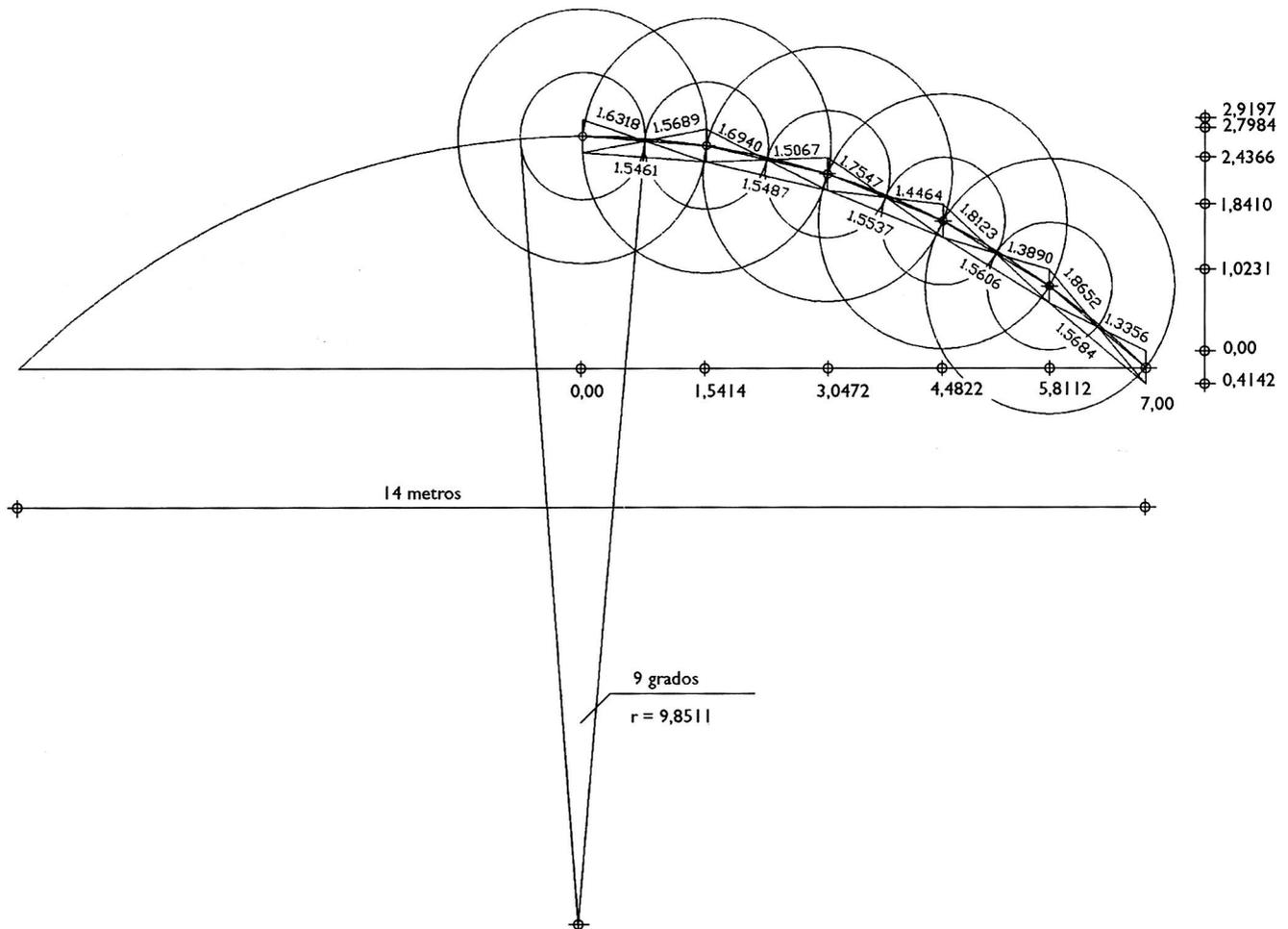
La superficie directriz es de doble curvatura y se forma mediante un arco de circunferencia de  $90^\circ$  que resbala sobre un arco similar perpendicular al primero.

La forma resultante tiene dos planos de simetría perpendiculares y produce secciones idénticas para cualquier plano que sea paralelo a uno de ellos. Esta sección es un arco de circunferencia. Resuelta la extensibilidad de uno de estos arcos queda asegurada la extensibilidad del conjunto.

Esta forma permite además su acoplamiento pudiendo llenar un espacio de dos dimensiones.

### Extensibilidad

Se utiliza el efecto tijeras. El movimiento de un par de barras se traslada inmediatamente a todas las barras de su línea y a todas las líneas perpendiculares conectadas a ella con lo cual se asegura la extensibilidad del conjunto.



Geometría básica

La coherencia geométrica en cualquiera de los estados (inicial, intermedios y final) se produce mediante la disposición de los nudos de los extremos de las barras en elipses tangentes los centros de las cuáles están todos sobre el arco directriz.

El ángulo de partida en las barras origen (en la cúspide del arco base) es de  $30^\circ$  y los ejes de la elipse base (todas las elipses son iguales) miden 3,0916 m y 3,2007 m.

### Descripción de las estructura

Es una estructura de barras articulada. Las barras son de tubo de  $\varnothing 25 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$  de grueso. Están cortadas en forma recta y perforadas para incorporarse a los nudos. El agujero central siempre es equidistante de los extremos. Hay 10 longitudes de barras que se agrupan por parejas. Cada pareja suma una longitud de 3,2007 m, que coincide con la del eje mayor de la elipse base.

El nudo tiene tres ejes ortogonales entre sí. La fijación entre nudos y barras se realiza mediante pasadores, des-

cartándose el uso de tuercas por la movilidad de las barras.

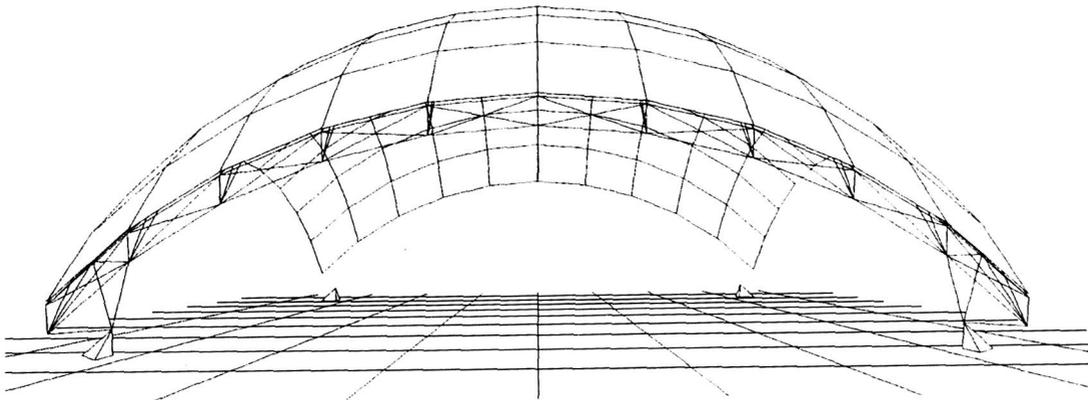
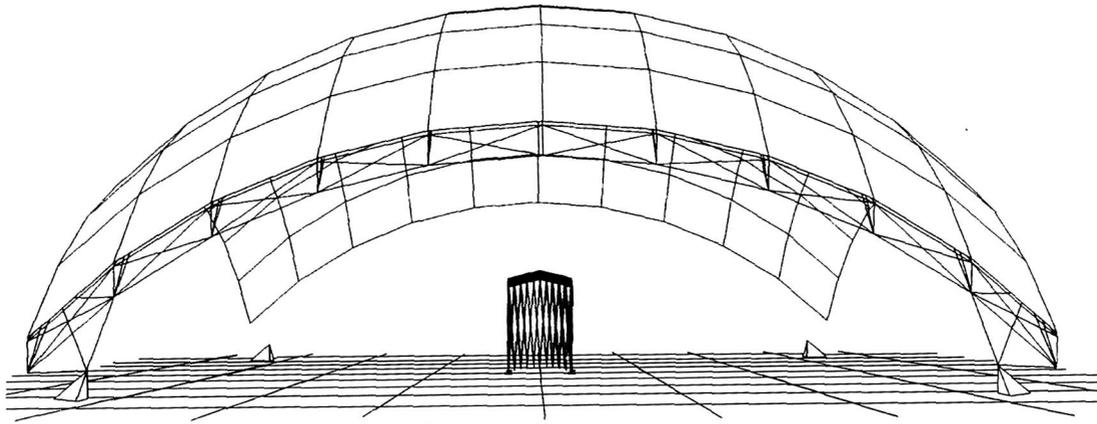
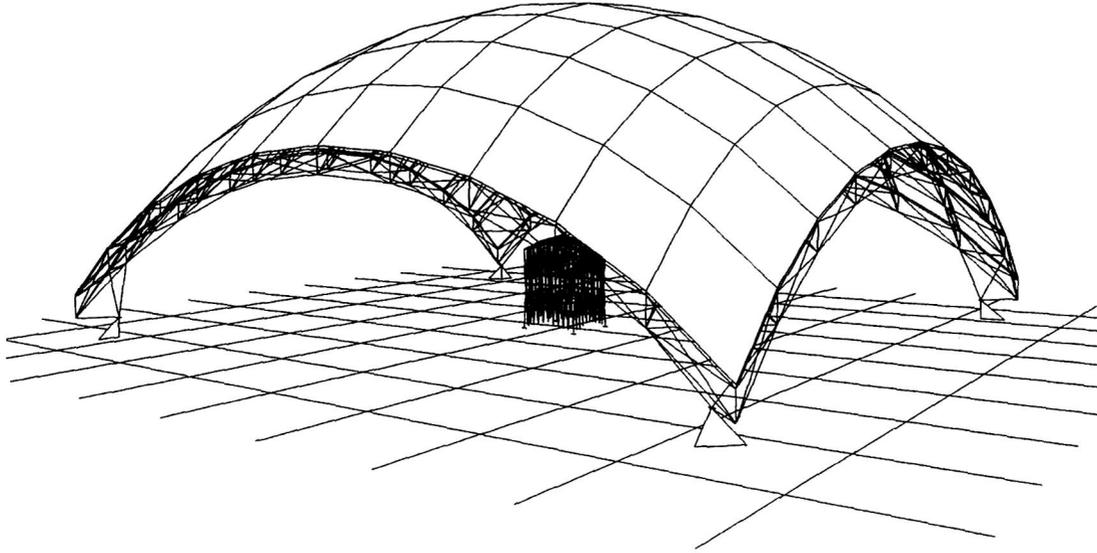
La posición final de la estructura desplegada se asegura mediante tensores. Los tensores de la parte superior aseguran la estructura mientras queda colgada.

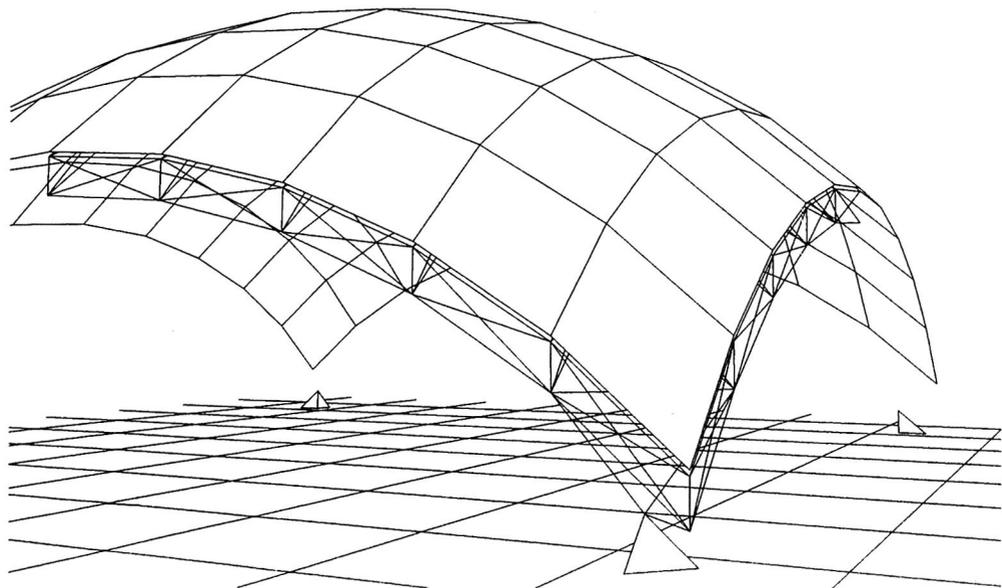
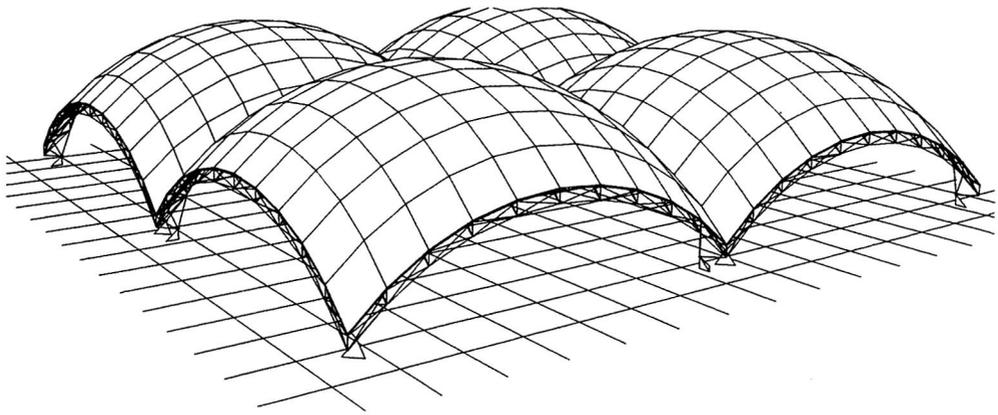
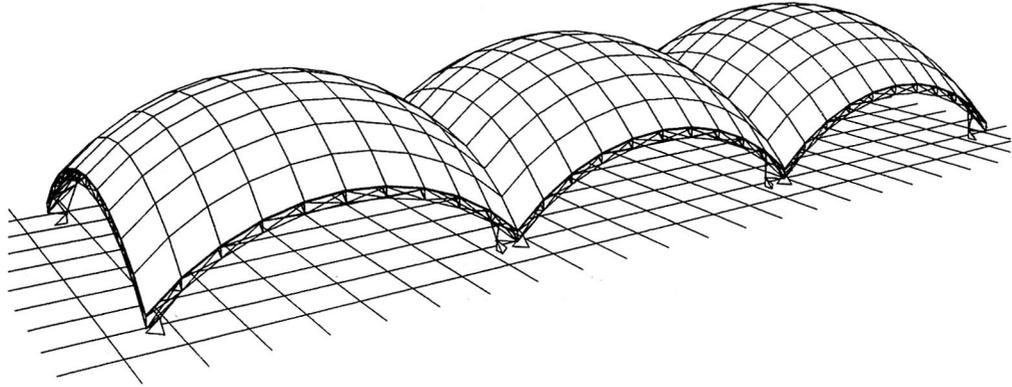
Los tensores de la parte inferior aseguran la estructura una vez apoyada al suelo. Los tensores superiores son idénticos a sus correspondientes inferiores. Hay cinco longitudes diferentes.

Los tensores verticales fijan la estructura y aseguran que las barras trabajen solo a compresión. Miden 0,4142 m, que es el espesor nominal de la estructura. La célula estructural queda compuesta por un paralelogramo, cuyos cuatro lados son tensores y cuyas diagonales son las barras.

### Descripción de la cubierta

Es una lámina flexible e impermeable que se enlaza a la estructura en cada uno de sus nudos. La cubierta se pliega simultáneamente con la estructura recogida por los propios tensores.







La extensibilidad de la cubierta presenta algunas singularidades: las diagonales de las caras cuadrangulares no próximas al centro sufren extensiones máximas previas a la extensión total de la estructura y en longitud superior a la de la posición final extendida, lo cual se ha de tener en cuenta en el diseño de la cubierta.

### Materiales

- Barras de aluminio SIMAGAL 6063.
- Nudos de acero galvanizado.
- Tensores de cable de acero galvanizado con terminales de alta resistencia.
- Soportes y accesorios de acero galvanizado.
- Cubierta de plástico con Trevira.

### Parámetros

- Superficie cubierta: 200 m<sup>2</sup>
- Radio curvatura: 9,8511 m
- Amplitud: 90° (aprox.)
- Cuerda: 14,00 m
- Frecuencia: 10
- Angulo base en barras: 30°
- Ejes elipse base: 3,0916 y 3,2007 m
- Espesor: 0,4142 m
- N° barras: 440
- N° nudos: 242
- N° 1/2 nudos: 110
- N° tensores horizontales: 440 (880 si dobles)
- N° tensores verticales: 121
- Altura total: 5,8394 + 0,4142 = 6,2536 m

### Medidas nominales

- Extendida:  $14 \times 14 \times 6,2536 = 1225,71 \text{ m}^3$
- Comprimida:  $1,20 \times 1,20 \times 2 = 2,88 \text{ m}^3$

### REFERENCIAS

Al realizar el proyecto se tuvieron en cuenta en primer lugar la obra que durante los años 60 desarrolló E. Pérez Piñero<sup>4</sup> con quien tuve la fortuna de coincidir en la ETSA de Madrid cuando él acababa la carrera. También se tuvieron en cuenta los trabajos de F. Escrig<sup>5</sup>, que por entonces ya había publicado un par de artículos sobre extensibles en Informes de la Construcción.

Hoy los interesados en el tema, podemos ampliar esta información con los varios artículos que F. Escrig<sup>6</sup> ha seguido publicando sólo o con J. Pérez Valcarcel, con la tesis doctoral de S. Calatrava<sup>7</sup> y con los trabajos de C. Hobermann<sup>8</sup>, y de Pellegrino y muchos más cuya relación puede encontrarse en algunas publicaciones de la IASS<sup>9</sup>.

### BIBLIOGRAFÍA

1. PUERTAS DEL RÍO L.: *SPACE FRAMES FOR DEPLOYABLE DOMES*. BULLETIN OF THE IASS. Vol. 32. n° 106. 1991
2. SÁNCHEZ-CUENCA L.: *GEOMETRIC MODELS FOR EXPANDABLE STRUCTURES*. (PENDIENTE DE PUBLICACIÓN). MARAS '96. SEVILLA 1996
3. ESCRIG F.: *PISCINA CUBIERTA*. PROCEEDINGS OF THE MILANO IASS SYMPOSIUM. 1995
4. PÉREZ PIÑERO E.: *REV. ARQUITECTURA*, N° 30. JUNIO 1961  
*REV. ARQUITECTURA*, N° 112. ABRIL 1968
5. ESCRIG F.: *ESTRUCTURAS ESPACIALES DE BARRAS DESPLEGABLES*. INFORMES DE LA CONSTRUCCIÓN, VOL. 36, N° 365. NOV. 1984.  
VOL. 39, N° 393. ENERO 1988
6. ESCRIG F.: *GEOMETRÍA DE LAS ESTRUCTURAS DESPLEGABLES DE ASPAS*. ARQUITECTURA TRANSFORMABLE. ETSA SEVILLA. 1993
7. CALATRAVA S.: *ARQUITECTURA TRANSFORMABLE*. ETSA. SEVILLA 1993
8. HOBERMANN C.: *THE ART AND SCIENCE OF FOLDING STRUCTURES*. SITES, N° 24. NEW YORK, 1992
9. VARIOS. *DEPLOYABLE SPACE STRUCTURES*. INTERNATIONAL JOURNAL OF SPACE STRUCTURES. VOL. 8, N° 1 Y 2. 1993