

## Estructura de madera para la cubierta de un auditorio al aire libre en el parque El Paraíso, San Blas (Madrid)

### *Wood structure for the roof of an outdoor auditorium in El Paraíso park at San Blas, Madrid*

Cleto Barreiro Sorrivas\*, Fernando Caramés Gómez\*\*

#### RESUMEN

El artículo describe el proceso de diseño y de construcción de un auditorio al aire libre en un parque en Madrid. Comienza con el estudio del programa y la elección de la forma y los materiales óptimos de la cubierta. Se decidió la construcción de paraboloides de madera al tener la característica de poseer una gran superficie cubierta, permitir apoyos ligeros, crear una imagen poderosa y original, permitir unos plazos de ejecución pequeños y un coste moderado.

La ejecución de las cubiertas de madera se inicia mediante la fabricación de un bastidor de acero sobre el cual se apoya la generatriz que engendra el paraboloides hiperbólico. Este bastidor debe servir a su vez de apoyo a una cimbra recuperable y autoportante que valga de primera rosca y tenga la suficiente capacidad para soportar todo el peso de la cubierta además de aprovecharse de guía para el resto de la estructura. Sobre esta primera familia se van superponiendo el resto de las roscas de madera fijándolas con tirafondos y colas hasta formar cada una de las cubiertas.

Para los soportes de los paraboloides se diseñaron unos elementos metálicos en forma de dobles W, a base de perfilera metálica de sección circular con un ángulo agudo de apertura entre ellos. Éstos arriostan el conjunto y permite la disposición de los refuerzos en los apoyos de manera longitudinal en el perímetro.

850-2

**Palabras clave:** paraboloides hiperbólicos, superficies regladas, uniones dentadas, estructura fractal, colas monocomponentes, juntas duroplásticas.

#### SUMMARY

*This account of the design and construction of an outdoor auditorium in a park in Madrid begins with the study of the programme and choice of the shape and optimal materials for the roof. The solution adopted was to build with wood paraboloids in light of the large surface area that could be covered, the lightweight supports that could be used, the powerful and original image that would be projected and the short turnaround times and moderate cost that could be ensured.*

*Wooden roof building began with the manufacture of a steel frame to support the ruling that sweeps the hyperbolic paraboloid. This frame was also to support removable self-bearing formwork that would constitute the first row and have a load capacity able to support the entire weight of the roof in addition to acting as a guide for the rest of the structure. The next row was bolted and glued to this first family of elements and each successive row was laid on the one before it.*

*Double "omega" members made of circular section steel shapes, separated by an acutely angled opening, were designed as supports for the paraboloids. These elements brace the structure as a whole by allowing for the positioning of longitudinal reinforcements in the outermost supports.*

**Keywords:** hyperbolic paraboloids, ruled surfaces, toothed unions, fractal structure, single component adhesives, durable plastic joints.

\*Arquitecto, autor del proyecto. Ayuntamiento de Madrid

\*\*Director técnico de "Caramés Estructuras de Madera Laminada"

Persona de contacto/Corresponding author: barreiros@munimadrid.es (Cleto Barreiro Sorrivas)

## 1. CRÉDITOS Y DATOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

Superficie construida: **553,24 m<sup>2</sup>**

Área de la Cubierta: **1.390,82 m<sup>2</sup>**

Materiales de la Estructura:

- Madera de los paraboloides: Pino Norte (*Pinus sylvestris L.*)
- Acero de los soportes: S-355-J2H
- Arquitecto: Cleto Barreiro Sorrivas
- Aparejador: Emilio Muñoz Martín
- Arquitectos colaboradores: Francisco Carrasco, Silvia Navarro, César Rico, Elena Miró
- Aparejador colaborador: Nieves Navarro Cano
- Empresa constructora: Ortiz S.A., Construcciones y Proyectos.
- Estructuras de madera: Caramés, Estructuras de Madera Laminada
- Estructura Metálica: Cerrajerías Gil
- Material de cubrición: Cubiertas Intemper, S.A.
- Acústica: Vicente Mestre
- Cálculo Estructuras: Indagsa

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Siguiendo las instrucciones recibidas del Área de Gobierno de Hacienda y Administración Pública, se redactó el proyecto de obras del Auditorio al Aire Libre en el Parque El Paraíso, situado en el Distrito de San Blas.

La propuesta de diseño del nuevo auditorio al aire libre surgió al ser necesario ampliar el antiguo, para poder aumentar tanto la superficie destinada a escenario como el aforo del mismo; además, aquél presentaba deficiencias manifestadas por la presencia de humedades, abombamientos y desprendimientos, que hacían necesaria una gran intervención, por lo que se optó por la demolición previa y la construcción del nuevo.

## 3. SITUACIÓN

El Nuevo Auditorio al Aire Libre se encuentra situado en el Parque el Paraíso, dentro el espacio vallado que ocupaba el antiguo auditorio, ubicado en la Avenida de Arcentales perteneciente al Distrito de San Blas (Figura 1).

## 4. OBRAS PROYECTADAS

El nuevo auditorio pretende ampliar la superficie cubierta para poder albergar grandes espectáculos, así como establecer unas áreas polyvalentes donde se puedan realizar ensayos durante el resto del año o bien usos ligados a las actividades culturales del distrito.

El punto de arranque para el diseño parte del hecho de la necesidad de una gran superficie cubierta para albergar espectáculos. Esta superficie debe cumplir con las premisas generales de crear una zona de protección contra las inclemencias meteorológicas, de asegurar una la fácil visibilidad de los espectáculos por parte del público, de permitir un fácil mantenimiento y de garantizar unas condiciones acústicas favorables.

Otra cuestión a añadir era la formalización de las anteriores premisas en una imagen poderosa, original, perfectamente reconocible y que identificase y sirviese como hito en el parque.

Se abordó el problema, ensayando estructuras puramente funcionales que cumplieren el programa, pero las soluciones resultaban muy convencionales, con una imagen poco atrayente. Se investigaron, pues, imágenes con estructura fractal que sirvieron de inspiración, y en las que se empezaron a tantear geometrías menos tópicas, más libres, más audaces (Figura 2).

Sirvan estas palabras del premio Nóbel para ilustrar el desarrollo que nos llevó hasta el resultado de la imagen final:

*“Aun los llamados hallazgos casuales se deben comúnmente a alguna idea directriz que la experiencia no sancionó, pero que tuvo virtud, no obstante, para llevarnos a un terreno poco o nada explorado. Si se me perdonara lo vulgar del símil, diría que en estas materias sucede lo que con las personas conocidas, que aparecen en la calle entre la multitud de transeúntes en el preciso instante en que **pensamos** en ellas, por la razón bien sencilla de que, cuando en ellas **no pensamos**, pasan cerca de nosotros sin percatarnos de su presencia. Impulsados por la hipótesis, acaso ocurrirá sorprender en los hechos diversa cosa que lo buscado, pero mejor es esto que no encontrar nada, que es justamente lo que sucede al mero e impasible contemplador de los fenómenos naturales. Como dice Peisse, “**el ojo no ve en las cosas más que lo que está en el espíritu**”. Inútil será recordar que todos los grandes investigadores han sido fecundos creadores de hipótesis. Con profundo sentido se ha dicho que ellas son el primer baluceo de la razón en medio de las tinieblas de lo desconocido, la sonda tendida en el misterioso abismo, el puente, en fin, aéreo y audaz que junta la playa familiar con el inexplorado continente. (...)” (1).*

Se partía de una idea abstracta de cubrición primitiva situada en un claro de un bosque, en esa idea primigenia se mezcla-

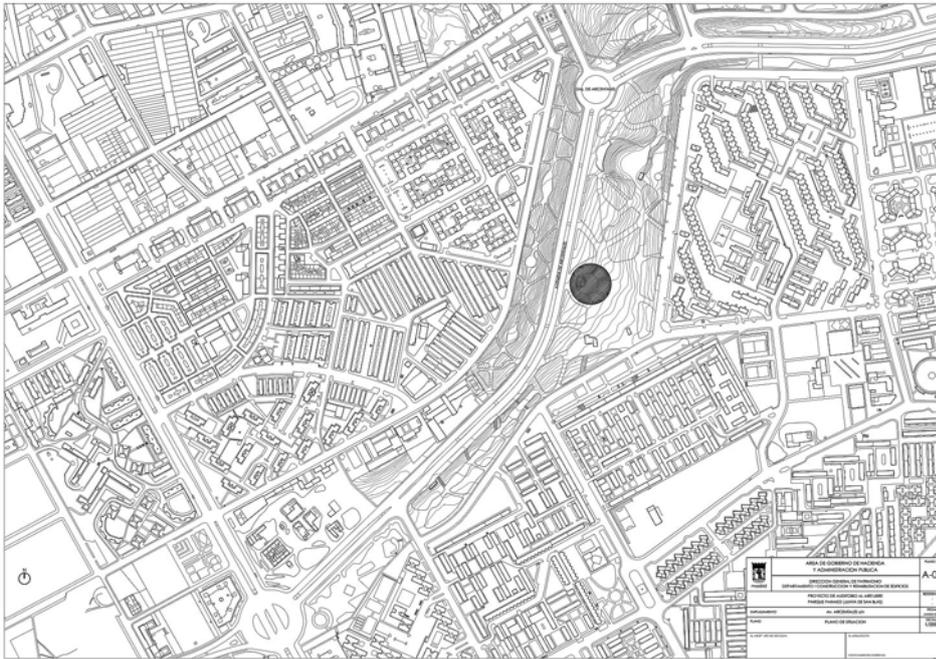


Figura 1. Plano de situación de la obra.

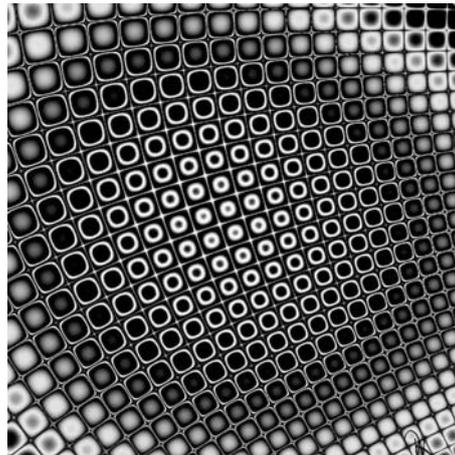
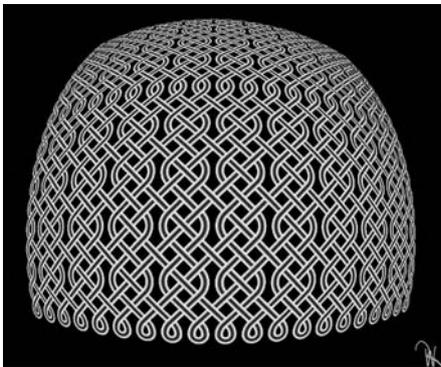


Figura 2. Estructuras consideradas para el proceso de concepción de la obra.

ban estructuras presentes en la naturaleza, las ramas de los árboles, los pétalos de las flores, las hojas, que siguen unas leyes de geometría fractal, con otras imágenes, las de las estructuras de **Pier Luigi Nervi**, las de los edificios de Brasilia de **Oscar Niemeyer**, las bóvedas de **Félix Candela**, las cubiertas del estadio olímpico de Munich de **Frei Otto**, las cubiertas geodésicas de **Fuller**, la cubierta del Hipódromo de **Torroja**, la Pagoda de **Fisac**, las sillas de montar, las formas de las patatas fritas.

Demasiados objetos, demasiadas imágenes, que fue necesario depurar, sedimentar, fundir, deformar, ampliar, manipular, hasta ir llegando, poco a poco, a soluciones que se iban acercando a la idea abstracta de la ensoñación original.

El proceso continuó en el tiempo hasta que se consiguió una primera solución generada por dos semielipses ensambladas en un ángulo de 90 grados en la que se enlazaban los puntos del perímetro mediante una malla sensiblemente ortogonal.

Esta idea traía como consecuencia una cubierta formada por una superficie alabeada que cumplía con lo que se pretendía, pero que no era construible, ya que no era modelizable para el cálculo.

El siguiente paso fue, pues, obtener este modelo. Éste surgió de manera natural al comparar la forma original generada por las semielipses con un paraboloides hiperbólico en el que se selecciona una parte del mismo en forma ovoide.

Esta forma ya es construible y permite realizar una primera maqueta de trabajo (Figura 3).

“La obra mejor es la que sostiene por su forma...” (2).

Los paraboloides son superficies regladas formadas por las rectas que se apoyan de forma ordenada en otras dos rectas que se cruzan en el espacio. El paraboloides es además una superficie doblemente reglada, genera una estructura de malla que le da fuerza a la construcción. La ventaja de ser regladas es que permite construir modelos y maquetas mediante hilos, alambres, tiras de papel, etc., por lo que se puede experimentar con ella.

Para otorgarle mayor variedad, movimiento y plasticidad al conjunto, la propuesta se concretó en una serie de cubiertas independientes con la geometría de los paraboloides, realizadas con los mismos materiales, pero de distintas escalas y proporciones, de manera que se percibiesen como unos elementos esculturales de formas orgánicas situadas en un medio vegetal (Figura 4).

Se eligió como elemento geométrico que conforma la propuesta una serie de paraboloides hiperbólicos de los que se seleccionó su área

central, de manera que la proyección en planta del perímetro de cada uno de ellos se formalizase en un ovoide de distintas proporciones y escalas.

Los paraboloides se distribuyen cubriendo las diferentes áreas. Se van disponiendo en escala decreciente: el de mayores dimensiones se ubica en el eje del conjunto sobre el público; el siguiente, un poco menor, se sitúa sobre el escenario, cubriendo el mismo, al que da sombra y protección; dos, de dimensiones similares, dispuestos perpendicularmente a los anteriores y a ambos lados para cubrir las butacas de espectadores en los laterales del escenario y, por último, el paraboloides de menores dimensiones es el que alberga el bar (Figura 5). El escenario se sitúa en una plataforma de geometría elíptica ubicado a una cota de 1 m sobre la rasante del terreno de modo que permita a los espectadores la contemplación de las representaciones con facilidad y buena visibilidad. Perimetralmente se dispone un foso que, además de establecer una barrera entre el público y el espectáculo, sirve como patio de luz para iluminar el local de ensayos situado debajo. Todo ese perímetro se iluminará artificialmente y se incorporará como elemento expresivo en los diferentes montajes.

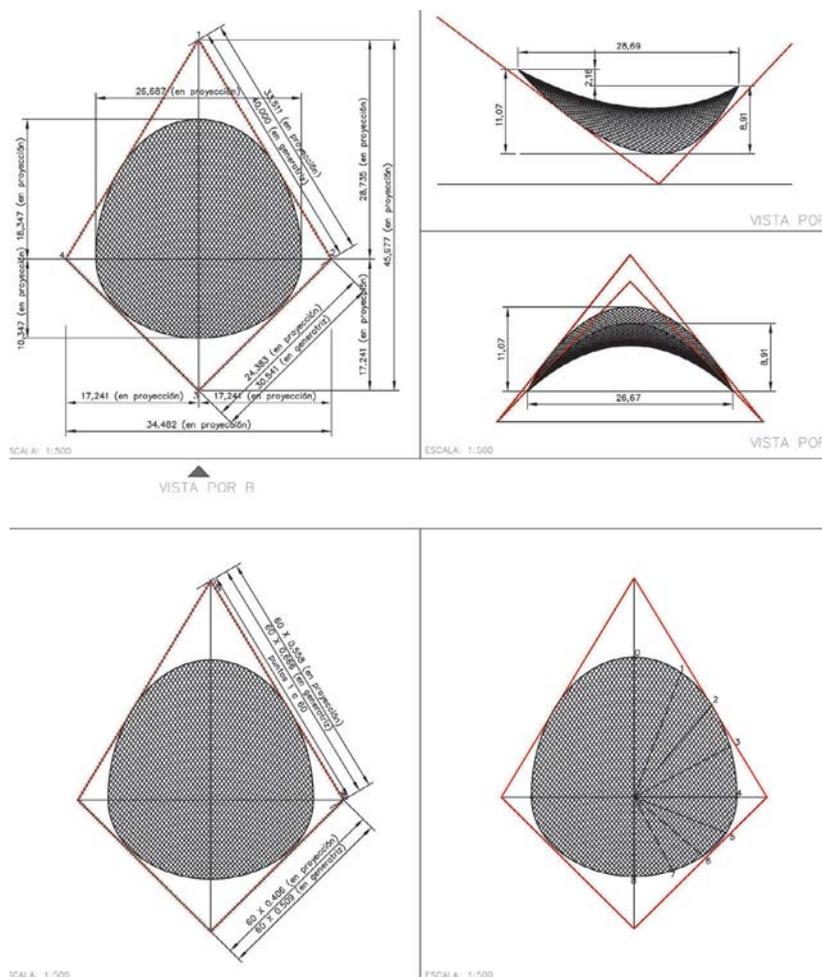


Figura 3. Diseños en la fase de concepción de la obra.

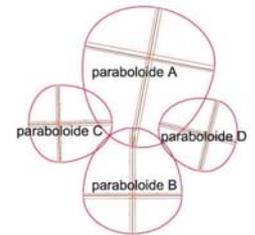
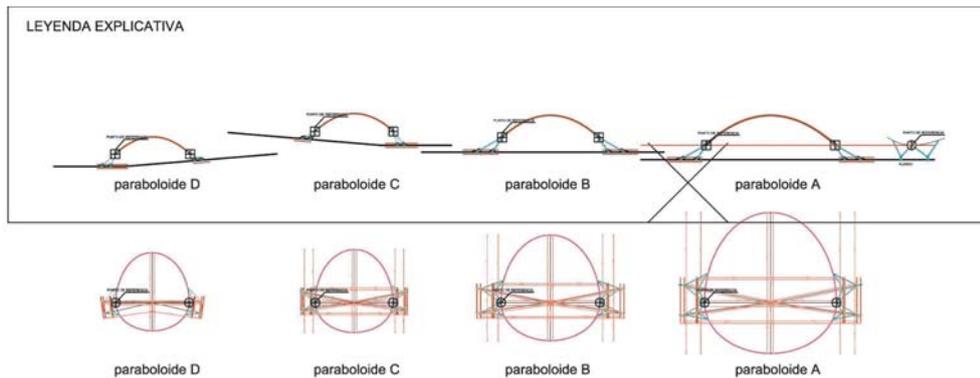


Figura 4. Cubiertas independientes con geometría de paraboloides.



Figura 5. Cubiertas independientes con geometría de paraboloides (Fotografía de Amparo Garrido).

Para garantizar la visibilidad y la accesibilidad a todas las plazas se dispone una pendiente continua del terreno del 8% en todo el recinto.

El problema posterior se plantea al tratar de diseñar los soportes que transmitan la carga al terreno.

La idea inicial era que los paraboloides penetrasen en el pavimento y se resolviese la sujeción al terreno mediante elementos masivos enterrados. Esta idea se desechó ya que daba un acceso fácil a las cubiertas, lo que las hacía presa fácil de actos vandálicos y generaba una imagen más cargada, menos transparente, menos ligera y sutil.

Se diseñaron, por tanto, unos elementos metálicos en forma de dobles W, con un ángulo agudo de apertura entre ellos, lo que venía muy bien estructuralmente, ya que arriosta-

ba el conjunto y permitía, además, la disposición de los refuerzos en los apoyos de manera longitudinal en el perímetro y separaba el conjunto del suelo, con lo que se mejoraba la visibilidad para los espectadores y el concepto de diseño era más claro, liviano y transparente (Figura 6).

Unida a los soportes de acero hay una viga de borde acero clave en la estructura. Viga indispensable para recoger el abanico de fuerzas que se abren. En otros puntos se resuelve la viga de borde con el macizado de la lámina, lo que permite obtener una solución limpia del conjunto (Figura 7).

Los elementos metálicos triangulados que reparten las cargas y las trasladan a las zapatas, constituidas por unos dados de hormigón que quedan enterradas en el terreno, consiguiendo, de este modo, un efecto de ingravidez y de ligereza, minimizando los elementos de

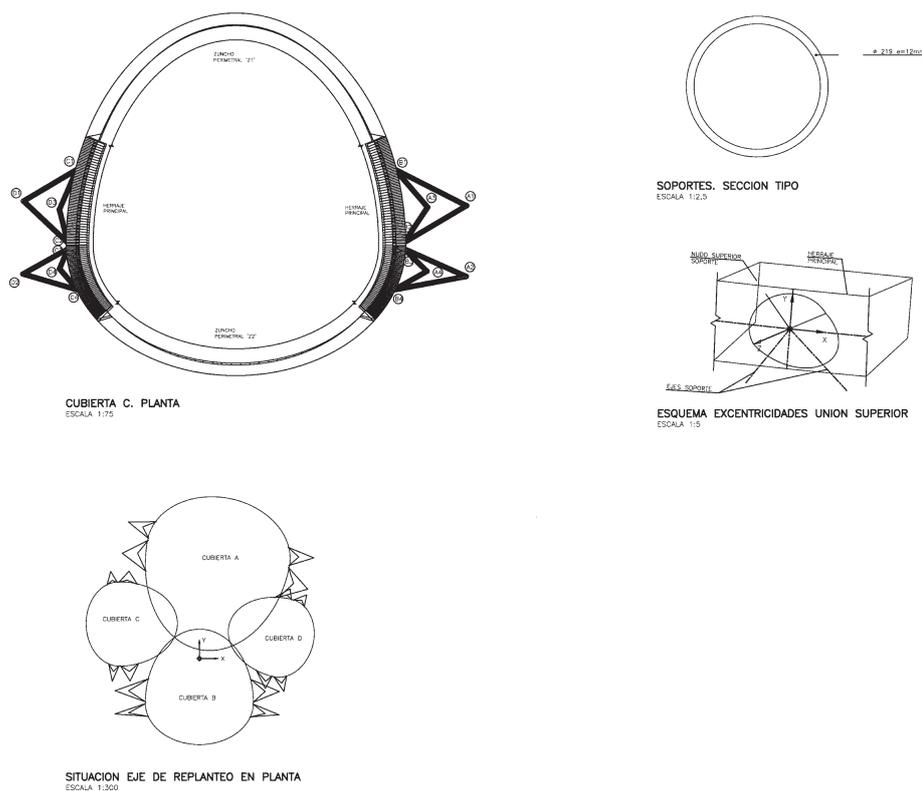


Figura 6. Diseño de soportes de transmisión de carga al terreno.



Figura 7. Soluciones de borde.

Figura 8. Detalles de perforaciones en la madera, en cubierta, para mejorar la calidad acústica del local.



uno de ellos; sobre ellos se instala un tablero de madera que sirve de apoyo al material de cubierta. Reforzando esta idea de ligereza y diaphanidad, la geometría de los paraboloides se afina en los bordes con un canto muy rebajado, así, el efecto es de una lámina fina, extremadamente delgada.

Una de las premisas más importantes al tratarse de un auditorio es que tenga una buena calidad acústica. Se consultó por tanto a los especialistas en la materia y se confirmó la idoneidad acústica de las formas adoptadas para el uso de auditorio. La única recomendación fue la incorporación de unas perforaciones en la rosca de madera que está en la capa inferior, y la interposición de un material absorbente acústico en el paraboloide de mayores dimensiones que está situado sobre los espectadores (Figura 8).

sujeción, así las cubiertas figuran como suspendidas en el espacio (Figura 5).

Las láminas que los constituyen están realizadas mediante una estructura de madera que reproduce las generatrices y directrices de cada

El efecto escultórico del conjunto se refuerza con la colocación de unos elementos luminosos cerca de los puntos de apoyo que proyectan un haz de luz rasante, que enfatiza la curvatura de las superficies y matiza el claroscuro, lo cual, unido al diseño de los elementos de soporte hace que el grupo de paraboloides manifieste, en las horas nocturnas, toda la plasticidad de sus formas orgánicas.

El terreno sobre el que se establece el auditorio, se trata, como se ha dicho, mediante una suave pendiente del 8% en declive hacia el escenario, pavimentándose toda esta superficie de adoquín. Esta pendiente permite el perfecto visionado de los espectáculos por parte del público, aunque ocupe posiciones alejadas,

Este proyecto se completa con unos espacios en planta sótano para incorporar unas cabinas de ensayos para grupos de rock; se ha incorporado una estructura soporte auxiliar de acero con forma de parábola para recibir las cargas de audio e iluminación en el escenario; además, por necesidades de programa, se crean unos camerinos y un almacén bajo el escenario, se han incorporado materiales de insonorización en el paraboloide situado sobre el escenario; se crea un disponible al exterior para almacén del escenario asociado a la rampa que desciende a los usos complementarios; y, por último, se proyecta una estructura metálica sobre el fondo del escenario para soportar los telones.

## 5. MATERIALES Y UNIONES

La estructura diseñada está constituida, como ya se ha dicho, por cinco superficies de diferentes dimensiones, con geometría de paraboloide hiperbólico y contornos cortados por tramos de elipse en proyección horizontal (Figura 5). La superficie en planta de cada una de ellas varía entre 61 m<sup>2</sup> para la cubierta E, hasta 601 m<sup>2</sup> para la cubierta A.

Cada una de las marquesinas se apoya sobre dos grupos de ocho elementos metálicos situados en los extremos del eje menor de cada cubierta y orientados según la tangente a la superficie. Estos elementos están formados por tubo circular conformado CHS de diámetro 273 mm y espesor 15 mm para la cubierta A y diámetro 219 mm y espesor 12 mm para las restantes.

La estructura de cubierta se configura en varias capas de madera aserrada con elementos separados entre 0,50- 0,60 m -se-

gún cubierta- y orientados en la dirección de las generatrices rectas del paraboloide hiperbólico. Cada capa de madera se gira 90° con respecto a la inmediatamente anterior. La escuadría de las tablas y el número de capas varía para cada una de las cubiertas.

Las dos capas superiores se colocan con tablas tangentes entre sí, apoyándose en ellas una lámina impermeabilizante. La estructura de madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) C-30 según EC-5, proveniente de los países nórdicos. Tratada para clase de riesgo 3 y unida por testa con finger joint. Los herrajes, bulones y tirafondos, las barras, bielas, horquillas y pasadores están fabricados en acero S355J0 según UNE 36-080. Los pernos son de acero A8t según NBE EA-95.

El adhesivo elegido que permitiera encolado al exterior fue la cola de monocomponente de poliuretano de elevada resistencia al agua y a las altas temperaturas para elementos portantes de madera. La decisión se tomó después de diferentes ensayos. Este tipo de cola proporciona juntas duroplásticas de excelentes valores de resistencia, proporcionando una junta de color claro y con los parámetros de calidad en base a DIN 68 141 de EN 301 según certificado por Otto-Graf FMPA Universidad Stuttgart Report N° 14-990304000 del 20/12/2002, cuya aplicación se puede hacer de forma manual, bien por rodillo, espátula o dosificador. La calidad del encolado es D4, según DIN/EN 204.

Las normativas empleadas para el diseño y cálculo de la estructura se ha realizado teniendo en cuenta la normativa siguiente:

- NBE-AE-88: Acciones en la edificación
- NCSR-02: Norma de construcción sismorresistente.
- NBE-EA-95: Estructuras de acero en la edificación.
- EC-e, Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero.
- EHE-99: Instrucción de hormigón estructural.
- EC-5, Eurocódigo 5: Diseño de estructuras de madera.
- CTE SE-M, Código Técnico de la Edificación, Seguridad Estructural: Estructuras de Madera.

## 6. CÁLCULO Y COMPROBACIÓN DE LAS CUBIERTAS

El análisis de las cubiertas se efectuó empleando un modelo matricial de elementos finitos tipo barra. Debido a la diferencia de tamaños y secciones tipo de las cubiertas,

se realizó un modelo específico para cada una, en dicho modelo se representaron con elementos barra las dos familias de tablas coincidentes con las generatrices rectas del paraboloides hiperbólico, la triangulación de la estructura reticular se consigue mediante una serie de capas macizadas, efecto que se incorpora al modelo de cálculo a través de unos elementos diagonales con las propiedades de rigidez obtenidas con un modelo local específico. El zuncho perimetral y la rigidez de los herrajes principales se representaron mediante elementos tipo barra, al igual que los perfiles tubulares que sirven como soporte del conjunto de la estructura.

El análisis frente a pandeo se llevó a cabo en dos etapas: en primer lugar se realizó un análisis no lineal de pandeo por autovalores, obteniendo los primeros modos y sus coeficientes de seguridad, a partir de estos modos se determinaron las longitudes a de pandeo equivalentes para cada uno de los elementos que permitieron realizar las comprobaciones normativas mediante coeficientes de amplificación de tensiones debidas al áxil. Adicionalmente, para la combinación de cargas mas desfavorable se llevó a cabo un análisis no lineal tipo P-Delta amplificando la carga hasta alcanzar la tensión de rotura, obteniéndose de esta forma un coeficiente de seguridad global.

## 7. PROCESO DE EJECUCIÓN

De forma general el conjunto consta de cinco estructuras parabólicas que se denominaron, de mayor a menor, A, B, C, D y E, cubriendo un total de 1.500 m<sup>2</sup> en proyección (Figura 4).

La estructura principal es de tablas de madera de sección constante de 140 x 34 mm y largos variables. Colocadas de forma superpuesta y simétricas a la diagonal mayor del paraboloides.

El planteamiento inicial del proyecto, consistía en la construcción de una cimbra inferior, diseñada con una especie de andamiaje europeo, de tal forma que a cada una de las barras verticales convergía un cruce de entablado de la estructura, consiguiendo la coordenada "z" de cada punto. Este planteamiento presentaba bastantes dificultades de ejecución a la vez que encarecía desmesuradamente la obra.

Para demostrar la viabilidad del proyecto se efectuó una simulación sobre una maqueta a escala, con las roscas de madera tal y como había que ejecutarlas. Con esto se concluyó que la medida óptima sería fabricar un

bastidor de acero sobre el cual se apoyaría la generatriz que engendra el paraboloides hiperbólico. Este bastidor debía a su vez servir de apoyo a una cimbra recuperable y autoportante que nos sirviese de primera rosca y tuviese la suficiente capacidad para soportar todo el peso de la cubierta y sirviese de guía para el resto de la estructura (Figura 9).

La puesta en práctica de esto último confirmó el resultado de las previsiones, realizándose el ensamblaje de esa manera, con lo que se simplificó y se abarató el mismo, ya que parte de la estructura auxiliar utilizada en el montaje de un paraboloides, se desmontaba y se utilizaba para el siguiente.

La madera fue transportada en camiones especiales y con una subestructura para darle rigidez a los paquetes de tablas debido a que, con las uniones por testa tipo *finger joint*, se consiguió que las líneas estructurales tuviesen la longitud total.

La unión de los nudos se realizó con la cola antes mencionada y tirafondos que garantizasen la unión de la misma entre las dos caras y con una distribución alterna para no tener coincidencias con las siguientes capas (Figura 10)

El cálculo de la estructura dio como resultado que en determinadas zonas de los hiperboloides era necesario un refuerzo estructural. Se tomó como solución macizar todas las zonas intermedias que quedaban entre las citadas roscas con el mismo material. De esta forma se consigue una losa maciza de madera. A la vez que en todo su perímetro también se realizó una zona maciza a modo de viga perimetral para el reparto de todas las sollicitaciones de la estructura, con un ancho de 80 cm.

El número de roscas varia de un módulo a otro (Figura 5), en el módulo "A" es de seis, en el "B, C, D", de cuatro y en el "E" de tres. En todos los módulos y por encima de las roscas estructurales se forman dos roscas más, con tablas de 140 x 20 mm colocadas cada una en una dirección, de forma que estas dos capas forman una losa superior de cierre y en toda la superficie de la estructura de 40 mm. Esta capa final es la que conforma el vuelo perimetral, vuelo que es de 60 cm, medidos en la prolongación de la estructura en cada punto. Sobre esta capa final es donde se apoya el elemento de cubierta. Además en el paraboloides de mayores dimensiones se incorporan las perforaciones previstas por las condiciones acústicas que se realizaron en la capa inferior (Figura 8).

Otro punto a tener en cuenta a la hora de ejecutar los paraboloides fue la cronología de ejecución, ya que unos están solapados entre ellos, complicando el montaje de los bastidores y de la estructura. El orden cronológico de ejecución fue primero el módulo C, D, A, E y, por último, el B.

La coordinación de todos los oficios que tomaron parte en la construcción de los paraboloides se realizó de forma perfecta, ya que dependían unos de otros.

En todas las estructuras que conforman las cubiertas se optó por un zuncho de refuerzo de acero perimetral continuo realizado in situ dada la complejidad de las formas que adquiriría. Este zuncho se ancló mediante tirafondos y cola a la estructura.

La cimentación y los herrajes, al igual que la estructura de madera, requirieron de un esfuerzo técnico y de ejecución desmesurados, ya que se estaba trabajando en una cota de terreno distinta a la de acabado final. De las zapatas, a modo de grandes bloques monolíticos, surgen unos elementos cilíndricos de hormigón armado que sirven de apoyo a los soportes metálicos, los cuales, partiendo de ellas, alcanzan el paraboloide con ocho brazos por cada lado de apoyo, consiguiendo una estructura muy armónica y singular (Figura 11).

Una vez finalizada la estructura del primer módulo, se procedió a descimbrar por fases, en un primer momento se descargó la estructura auxiliar a un 50% dejándola 24 horas en vigilancia, una vez transcurrido este tiempo se desmontó al cien por cien y se realizaron las verificaciones de deformación y flecha, adquiriendo éstas unos valores muy inferiores a los datos teóricos.

## 8. CONSIDERACIONES FINALES

El estudio y el análisis final del conjunto tanto desde el punto de vista geométrico, como constructivo y estructural nos permiten verificar las hipótesis de partida y nos confirman la idoneidad de este tipo de geometrías para realizar superficies con amplias luces, con apoyos mínimos y grandes áreas a cubrir, consiguiendo, al mismo tiempo, un efecto plástico novedoso.

Entre sus características particulares podríamos citar el empleo de la madera para la construcción de las láminas de cubierta, que permite una utilización de formas orgánicas con posibilidades casi ilimitadas. Este material admite unos cantos extrema-



Figura 9. Proceso de ejecución de la obra. Colocación del bastidor de acero y las cimbras de madera.



Figura 10. Unión de los nudos de la estructura de madera de cubierta.



Figura 11. Detalle de zapatas de hormigón.

damente finos, con lo que la sensación del conjunto es de una ligereza extraordinaria, matizada todavía más por el tratamiento del borde más afilado al confiar la resistencia del conjunto a la suma de todas las roscas de madera, pero permitiendo en el perímetro que sólo sean dos roscas las que forman el remate de la arista de borde.

La estructura interna de los paraboloides formados por las familias de tablas de madera cruzadas para formar las diferentes roscas, consigue que se creen hacia el interior unos casetones cuadrangulares que refuerzan la expresividad de la superficie, y crean una grafía seriada muy particular, en contraposición con la solución exterior, que es una superficie lisa, tersa, para que el agua discurra sin obstáculos.

La geometría de los soportes, en forma de dobles W, permite la conexión de las áreas reforzadas por las superficies de madera macizadas y la traslación de los esfuerzos al terreno mediante unos perfiles metálicos circulares de diversos grosores, a través de

unas zapatas de forma cilíndrica de hormigón armado. La formalización en W al ser doble, crea una malla espacial que arriostra fuertemente el conjunto y lo ancla al terreno.

A pesar de tratarse de una intervención singular, con una imagen y un procedimiento de ejecución insólitos, su construcción fue rápida y sus costes moderados, ya que no sobrepasa los estándares establecidos para la construcción de edificios públicos del Ayuntamiento de Madrid .

#### **AGRADECIMIENTOS**

A todo el equipo de Caramés, Estructuras de madera laminada.

A Ángel Gil y su equipo de Cerrajerías Gil. Al Jefe de obra y encargados de la Empresa Ortiz Construcciones y Proyectos.

A Francisco Carrasco, Silvia Navarro César Rico y Elena Miró

A Todos los que, directa o indirectamente, han colaborado con este trabajo.

#### **BIBLIOGRAFÍA**

- (1) Ramón y Cajal, Santiago: Los Tónicos de la Voluntad: Reglas y Consejos sobre la Investigación Científica. Editorial Gadir, 12/2005
- (2) Fernández Ordóñez, José A.: Eduardo Torroja, Ingeniero. Ediciones Pronaos, S.A.
- (3) greatbuildings.com, www.epdlp.com, <http://lectura.ilce.edu.mx>.
- (4) <http://en.structurae.de/structures/index.cfm>.

\* \* \*