

La geometría en la obra de Eduardo Torroja

Carmen García Reig
Dr. Arquitecto

Prof. Titular de Universidad Politécnica de Madrid. ETSAM

RESUMEN

La obra del ingeniero Eduardo Torroja presenta desde el punto de vista formal y descriptivo (obviando otros aspectos funcionales, estructurales y constructivos) una fuente de conocimiento sobre las formas geométricas de aplicación a la arquitectura.

El artículo analiza la generación y descripción de las formas adoptadas en cada caso, comparándolas con las clasificaciones conocidas de las superficies geométricas como un claro ejemplo a la concepción y aplicación de las formas constructivas.

ABSTRACT

The form and layout of Eduardo Torroja's work provides (in addition to other functional, structural and constructive aspects) a source of knowledge regarding the geometrical shapes which may be employed in architecture.

The article studies the generation and description of the shapes adopted in each case and compares them with known classifications of geometrical surfaces in order to provide a clear example of the conception and application of constructive forms.

La obra arquitectónica no se puede separar de la finalidad funcional o práctica para la que ha sido construida, como tampoco se debe desligar la solución formal, de la armonía propia del objeto y la de su entorno. Eduardo Torroja proyecta sus obras obedeciendo las leyes de la estática, modela las estructuras según las fuerzas en el espacio, y lo logra siempre tras una investigación minuciosa y estricta de las alternativas, con un claro conocimiento intelectual de los problemas asociados a cada ámbito, logrando la concordancia entre la ciencia y el arte de la construcción.

El desarrollo de este estudio se ha basado en el análisis del aspecto formal de ciertas obras significativas seleccionadas de su numerosa producción creativa.

Inicialmente, prescindiendo de otras consideraciones se ha procedido a la observación de la forma arquitectónica en su

medio, para comprender, percibiéndolo como una totalidad compuesta por partes estructuradas en unidades. Luego, observando e identificando cada una de estas partes, estudiando su naturaleza geométrica, como elementos geométricos primarios o como objetos compuestos. Se ha establecido para ello, un análisis individualizado de las unidades que lo conforman, conociendo el modo y el resultado de las uniones e intersecciones, ayudados para ello de la percepción y el conocimiento que la descripción particularizada nos facilita, para lograr la interpretación de la forma compuesta.

En todos los procesos de entendimiento se localizan varios conceptos relacionados: se parte de la *percepción* para seguir con el *conocimiento* y terminar con la *descripción* detallada del mismo. Entendiendo por percepción la visualización de un hecho en el tiempo y en el espacio. Por conocimiento, la com-

prensión de ese hecho como fenómeno general (interiorización del hecho); y por descripción la representación de ese mismo suceso como exteriorización de aquél.

Para ello se han establecido unos medios:

▽ La visualización del espacio a través de las formas representadas, como uno de los sistemas utilizados tradicionalmente por arquitectos e ingenieros adquiriendo tras su conocimiento y práctica, la categoría de *instrumento conceptual* en el análisis de la arquitectura.

▽ El conocimiento de las superficies geométricas de aplicación a la arquitectura conlleva la definición de las formas y objetos geométricos, su generación, análisis y representación, con sus aspectos constructivos, funcionales y estructurales. Por ello, el estudio de las superficies geométricas tiene especial interés, por su etiología geométrico-constructiva, determinante al fin de la forma arquitectónica.

▽ El análisis del espacio interior-exterior generado por las formas de las superficies que lo configuran y sustentan. La idea del espacio como contenedor y a su vez como continente a modo de *encofrado* de las formas.

Por todo ello, el conocimiento gráfico-perceptivo es anterior a la concreción y manipulación de las formas definidas, considerando que el espacio está coligado a las formas que en él habitan y le comparten, siendo aquellas también espacio, es fundamental y esencial su conocimiento ante un estudio puramente formal como el que se propone.

Analizando las superficies geométricas construidas y/o proyectadas por E. Torroja, llama la atención su exhaustiva formación geométrica, que el autor aporta a cada una de sus creaciones, pudiéndose afirmar que un recorrido por sus obras equivale a un completo tratado de geometría.

Dada la necesidad de sintetizar su enorme producción creativa, para este trabajo y a modo de resumen de catálogo, hemos elegido por diversos criterios las siguientes obras y que cronológicamente son:

- 1933 Mercado de Algeciras.
- 1934 Hipódromo de la Zarzuela.
- 1935 Depósito para el Hipódromo de la Zarzuela.
- 1935 Cubierta del Frontón Recoletos.
- 1951 Silo dodecaédrico en el Instituto E. Torroja de la Construcción y del Cemento.
- 1951 Iglesia en Pont de Suert.
- 1956 Cuba Hiperbólica de Fedala en Marruecos
- 1956 Cubierta para el Club Táchira en Caracas
- 1956 Depósito de Sidi-Bernoussi en Marruecos.
- 1959 Construcción experimental en Costillares.

Permítaseme hacer previamente y a modo de recuerdo un recorrido simplificado sobre las superficies geométricas.

Las superficies que se consideran con definición geométrica (membranas, constructivamente hablando), se determinan como *lugares geométricos de las posiciones que toma una línea (generatriz) que se mueve en el espacio, sufriendo deformación o no, según una ley determinada y continua (directriz)*. La ley del espacio que determina el movimiento de la generatriz puede establecerse en general según tres condiciones: apoyarse sobre varias líneas (directrices), un punto o una recta, una línea o una superficie, o como envolventes de otras superficies "núcleo" que dirigen las posiciones de la generatriz.

La clasificación de las superficies atiende a los distintos sistemas de generación que admitan. Así, basándonos en el tipo de generatriz, las superficies se pueden clasificar en: **regladas**, si la directriz es recta, y **no regladas** si la generatriz es curva. A su vez, las regladas se subclasifican en **desarrollables** y **alabeadas**. Desarrollables si, como indica su nominación, pueden ser desarrolladas sobre un plano sin sufrir deformación de tal modo que todos sus puntos y elementos pertenezcan al plano. *La superficie reglada desarrollable es engendrada por una recta que se mueve en el espacio de tal modo que dos posiciones consecutivas de la generatriz son coplanarias y por ello determinan un elemento plano*. Pertenecen a este grupo de superficies el plano, las figuras poliédricas, prismáticas y piramidales, todas las superficies radiadas, conos y cilindros, convolutas, las superficies de igual pendiente y el helicoides desarrollable.

En el caso contrario, la superficie no es desarrollable, es alabeada. *La generatriz recta que se mueve en el espacio se cruza con la inmediata siguiente, determinando en el recorrido infinitesimal un elemento superficial no plano sino alabeado*. Pertenecen a este grupo de superficies las cuádricas hiperbólicas (hiperboloide hiperbólico y paraboloides hiperbólico), conoides, capialzados, paso oblicuo, cilindroides, conos alabeados y diversos helicoides...

Por otra parte, las superficies definidas por generatrices curvas son alabeadas y por tanto no desarrollables. Pertenecen a este grupo de superficies todas las cuádricas elípticas (esfera, elipsoide, paraboloides elíptico e hiperboloides elíptico), y todas las superficies de revolución de generatriz curva (plana o alabeada).

Atendiendo a la curvatura, las superficies geométricas se clasifican en superficies de **simple** y **doble curvatura**. La curvatura de una superficie en un punto se determina trazando planos normales a la superficie en dicho punto (secciones normales); de las infinitas secciones, las de curvatura máxima y mínima normales entre sí son las denominadas *secciones principales*.

Si en una superficie una de las secciones principales es una recta (curvatura nula), se dice que la superficie en cuestión es de *simple curvatura*. Si las dos secciones principales son curvas, de *doble curvatura*.

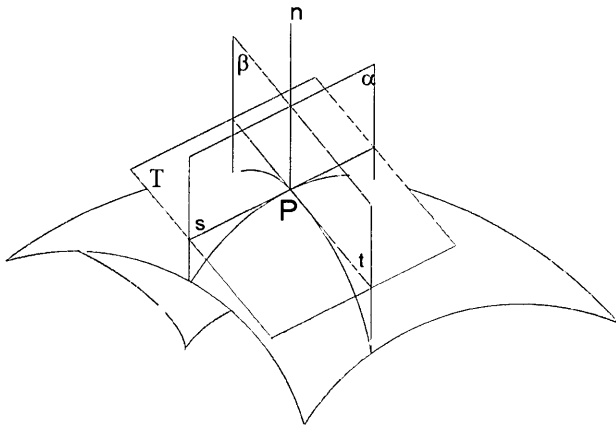


Figura 1. a, b: Planos normales que interceptan a la superficie según las secciones principales de curvatura máxima y mínima. s, t : Rectas tangentes.

Desde el punto de vista constructivo y considerando las cubiertas laminares, se definen estas superficies como de simple o doble curvatura cuyo espesor es pequeño en relación con el resto de la superficie; con resistencia a los esfuerzos de tracción y compresión.

Atendiendo a las curvaturas de las secciones principales, podemos analizar tres casos:

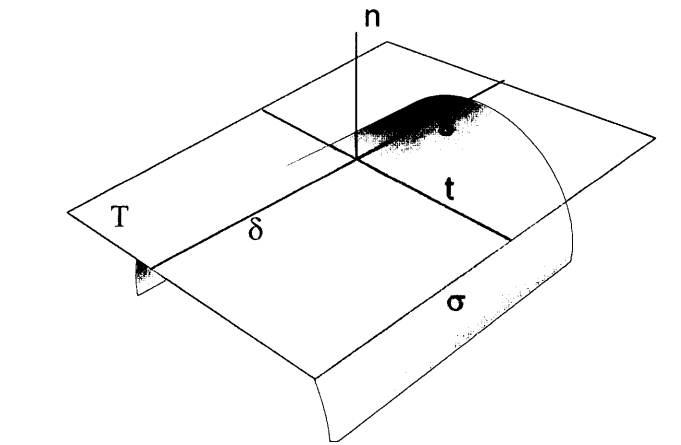
- A.** Una de las secciones principales es una recta. Superficie de simple curvatura.
- B.** Las dos curvaturas son del mismo signo, en el entorno del punto las secciones principales están al mismo lado del plano tangente.
- C.** Son de signo contrario, las tangentes trazadas en el punto a las secciones principales son asintóticas y se localizan a ambos lados del plano tangente, con curvaturas opuestas.

Con ello la importancia del conocimiento de todas estas clasificaciones y el derivado de las propiedades inherentes a todas las superficies, no sólo descriptivo sino también posicional y métrico para establecer el análisis formal de los ejemplos propuestos.

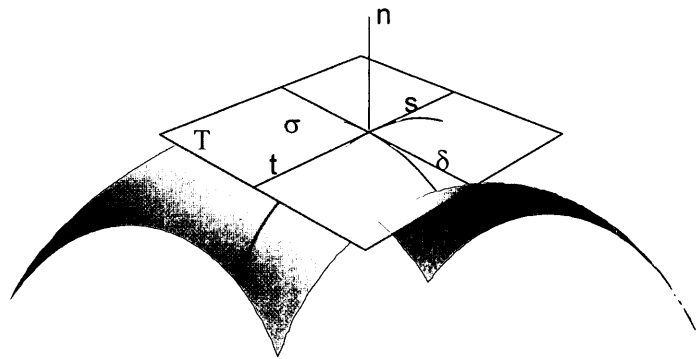
Refiriéndonos a las obras enumeradas podemos establecer una relación de aquellas que nos permitan describir los conceptos referidos:

Respecto a las construcciones de E. Torroja asociadas al caso de superficies prismáticas y piramidales, cabe nombrar la edificación de la Ciudad Universitaria y el Hospital Clínico donde destaca una estructura singular:

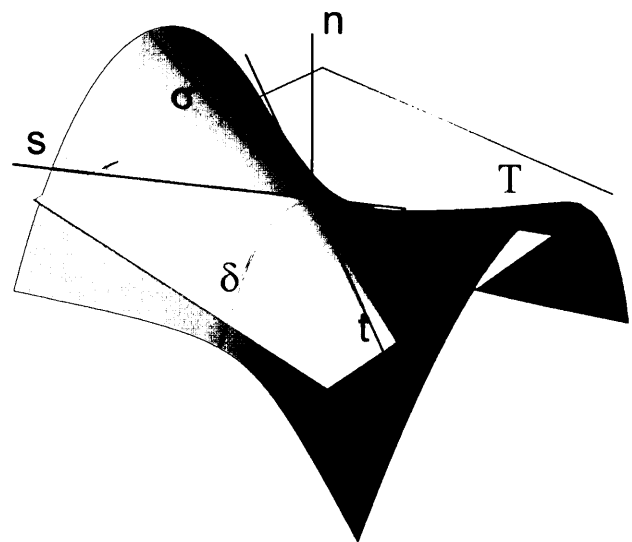
El anfiteatro de operaciones, (para la observación de las intervenciones quirúrgicas), determinado por una sala circular de 21,4 m de diámetro sin columnas intermedias, con una linterna concéntrica poligonal de cerca de 10 m de diámetro. Re-



A

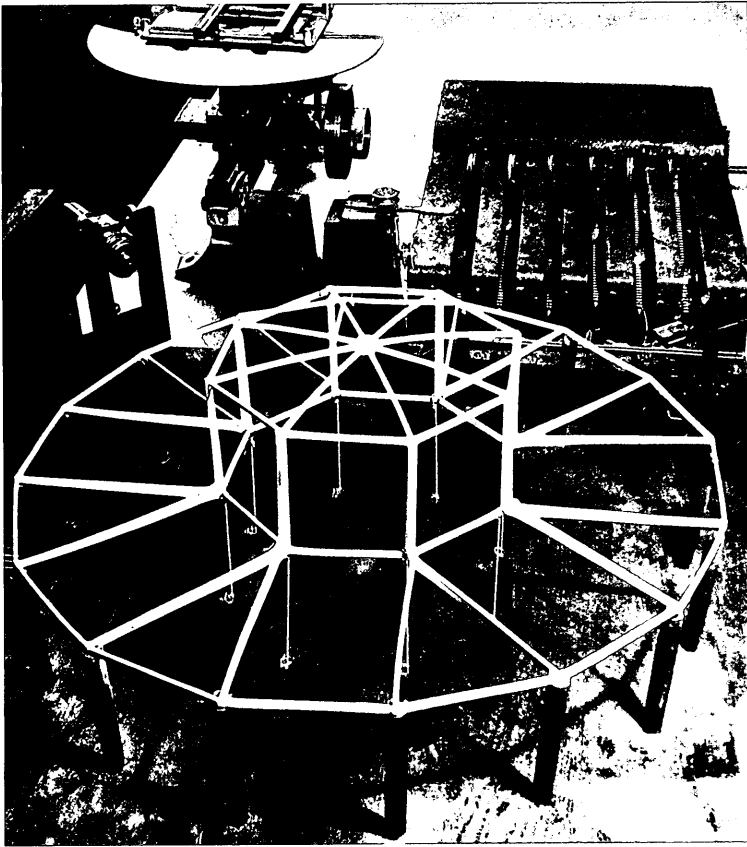


B



C

Figura 2. Puntos A: Parabólico. B: Elíptico. C: Hiperbólico



Maqueta del modelo del anfiteatro de operaciones.

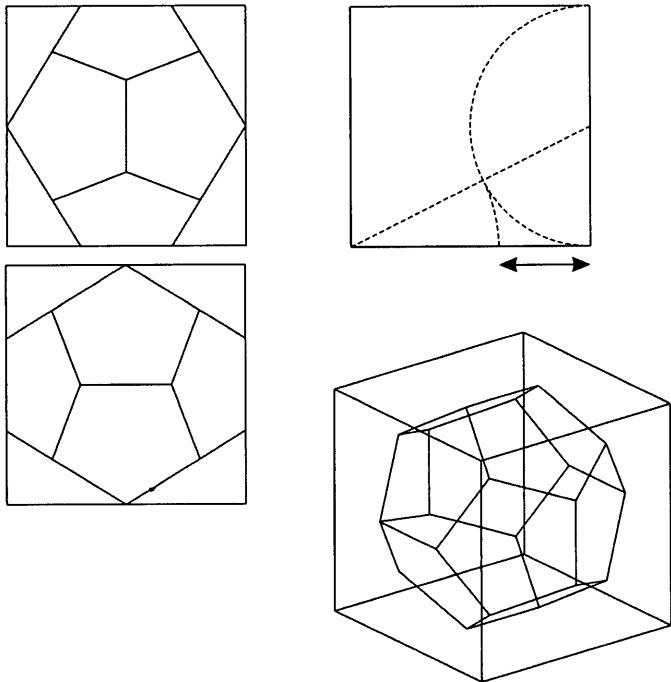


Figura 3. Silo dodecaédrico. Trazados de la inclusión del dodecaedro regular en el cubo. Obtención de la relación entre la arista del cubo y la arista del dodecaedro.

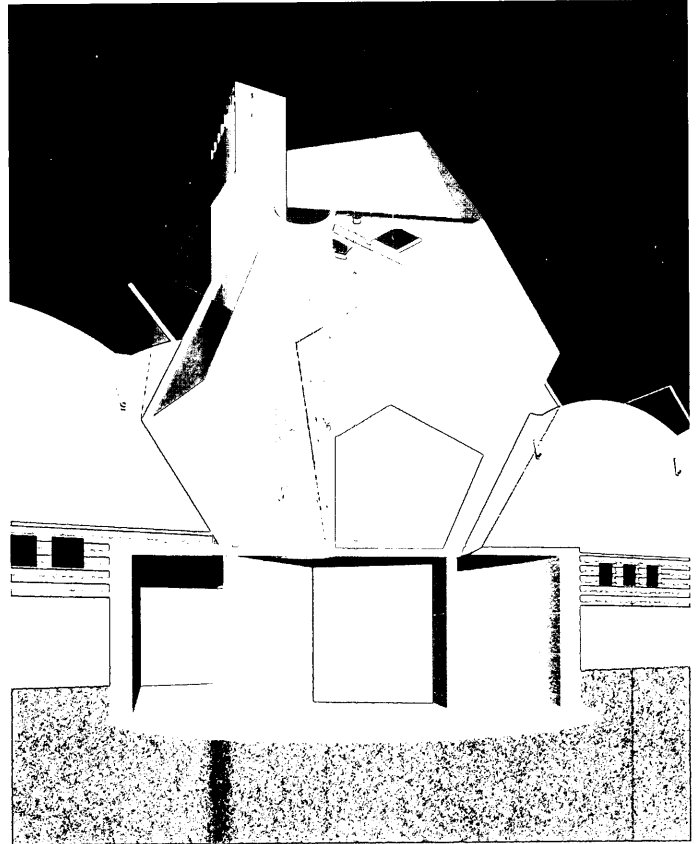


Figura 4. Silo dodecaédrico. Perspectiva cónica de la sección.

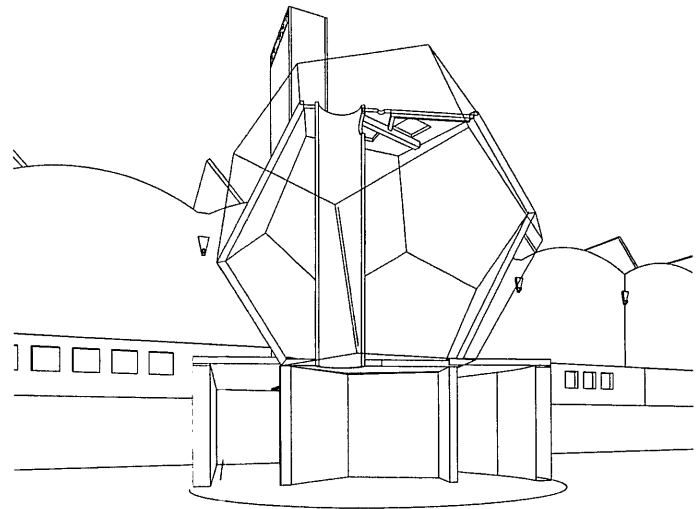


Figura 5. Silo dodecaédrico. Vista de líneas.

suelto con 16 ménsulas prismáticas sobre los ocho montantes de las ventanas.

Un claro ejemplo de superficie poliédrica es el **Silo dodecaédrico** de carbón situado en la zona norte del Instituto de la Construcción en Costillares.

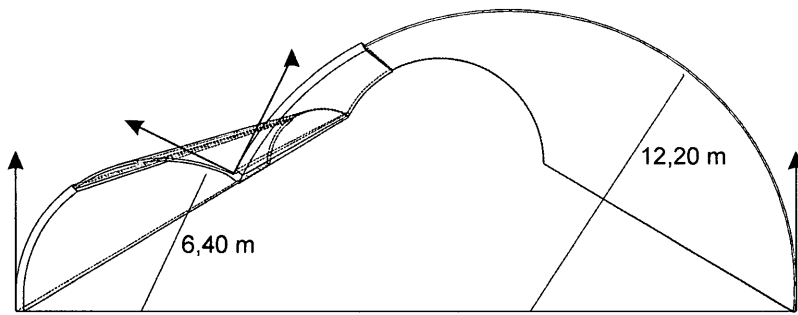


Figura 6. Frontón Recoletos. Alzado fugado.

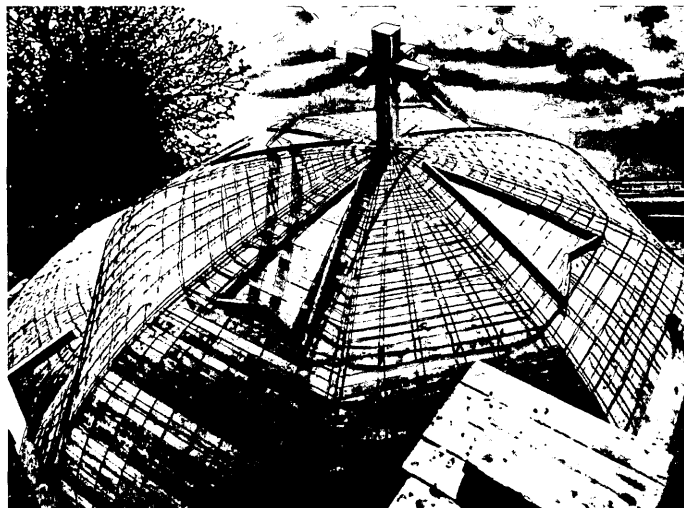
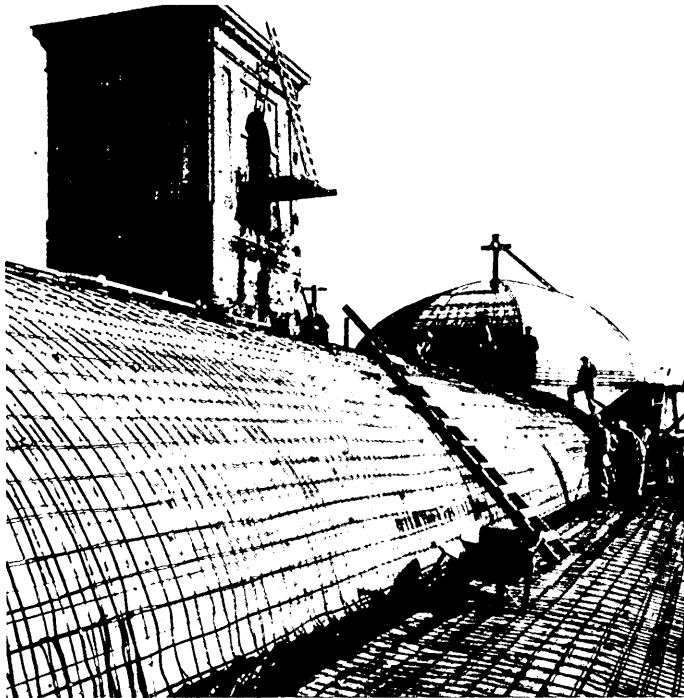


Figura 7. Iglesia de Villaverde. Fotografías de la construcción de la cubierta y la cúpula.

Se trata del poliedro regular dodecaedro (sólido platónico determinado por 12 pentágonos regulares que conforman las caras exteriores), donde es conocida la relación óptima entre superficie y volumen que encierra.

En la modelización en 3D realizada se muestra la sección vertical que hace visible el funcionamiento del depósito, con la chimenea y fachada noroeste del Instituto. A ciertos paramentos, anteriores respecto al punto de vista, se les ha dado una cualidad de transparencia para la observación de la sección y los conductos de abastecimiento de la caldera.

Respecto a las superficies de simple curvatura, como cubierta laminar decisiva en su momento, destacamos el **Frontón Recoletos** cuyo edificio se realizó en 1935 y la cubierta fue rehecha en 1939 consiguiendo ser la mayor del mundo en su categoría.

La cubierta está determinada por dos lóbulos cilíndricos unidos por una recta (generatriz común), paralela a sus ejes horizontales. La directriz está formada por dos arcos de círculo desiguales que arrancan con tangente vertical y se encuentran ortogonalmente.

El mismo año construye la cubierta laminar de la **Iglesia de Villaverde** con una bóveda cilíndrica apoyada en sus extremos, donde la directriz se compone de una semi-elipse central y dos cuartos de elipse a los extremos; completando la cubierta con una cúpula octogonal.

En el **depósito de Sidi-Bernoussi** (1957) utiliza ocho lóbulos, sectores tronco-cónicos que colaboran en la resistencia a la presión del agua, flexionando estos de forma que el paramento interno trabaje en compresión.

En el **depósito de Sidi-Bernoussi** (1957) utiliza ocho lóbulos, sectores tronco-cónicos que colaboran en la resistencia a la presión del agua, flexionando estos de forma que el paramento interno trabaje en compresión.

Figura 8. Depósito de Sidi-Bernoussi. Vista desde el fuste.



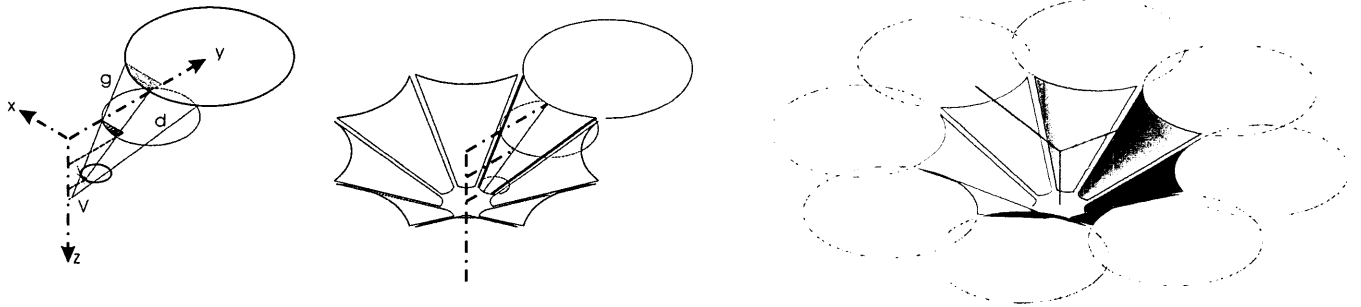


Figura 9. Depósito de Sidi-Bernoussi. Detalle de los trazados de los sectores troco-cónicos, oblicuos respecto al eje de la directriz circular y la ubicación espacial acoplados en un polígono octogonal. La porción cónica se obtiene seccionando por las dos generatrices rectas g y d.

Proyecta y construye varios depósitos en Marruecos con soluciones similares, utilizando la convexidad de la superficie cónica, unos casos con tronco de cono completo y otros con lóbulos o fracciones de conos adosados mediante soportes que rigidizan la estructura.

En el ámbito de las superficies regladas alabeadas, tomamos como ejemplo los diversos hiperboloides hiperbólicos proyectados por Torroja. Esta superficie reglada adopta la característica propia del *haz alabeado de segundo orden*, donde un doble sistema de rectas que se cruzan entre sí en el espa-

cio y se cortan entre las del mismo sistema conforman la superficie alabeada.

La definición del hiperboloide hiperbólico puede ser variada, desde la más intuitiva: giro de dos rectas que se cruzan en el espacio o por el giro de la hipérbola alrededor de su eje imaginario, a la determinación de la superficie conocido un cuadrilátero alabeado con una condición de tangencia y/o generatriz conocida, elipse de garganta y punto en la superficie,..., que dan lugar a múltiples condiciones de obtención de la superficie.

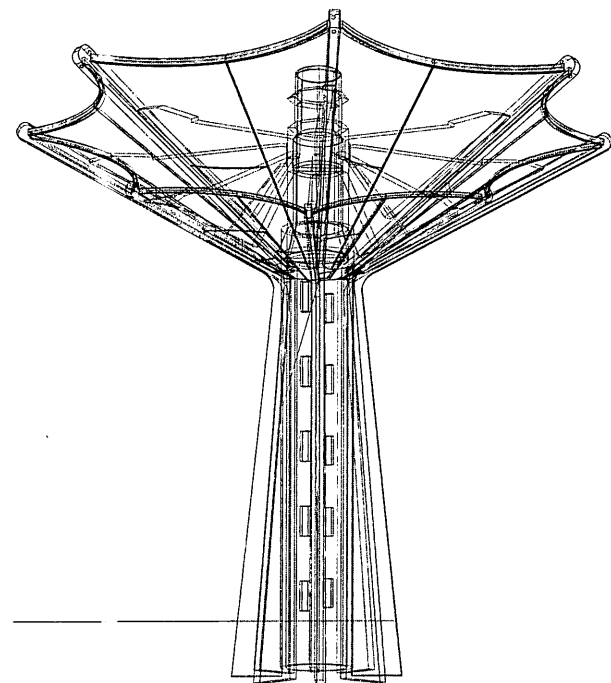


Figura 10. Depósito de Sidi-Bernoussi. Aspecto del modelo en 3D frente a la fotografía de la construcción original. Vista de línea-

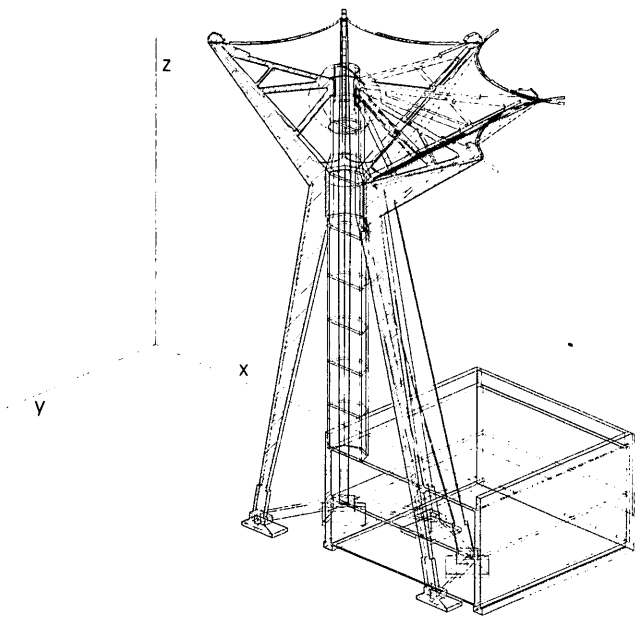
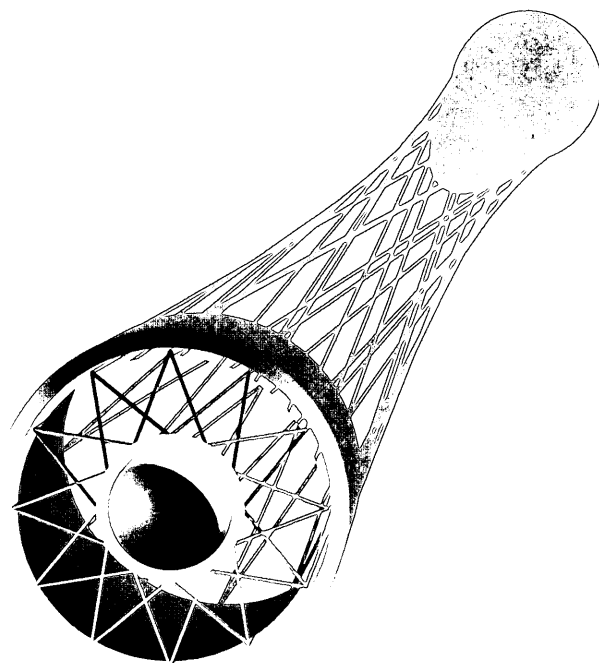
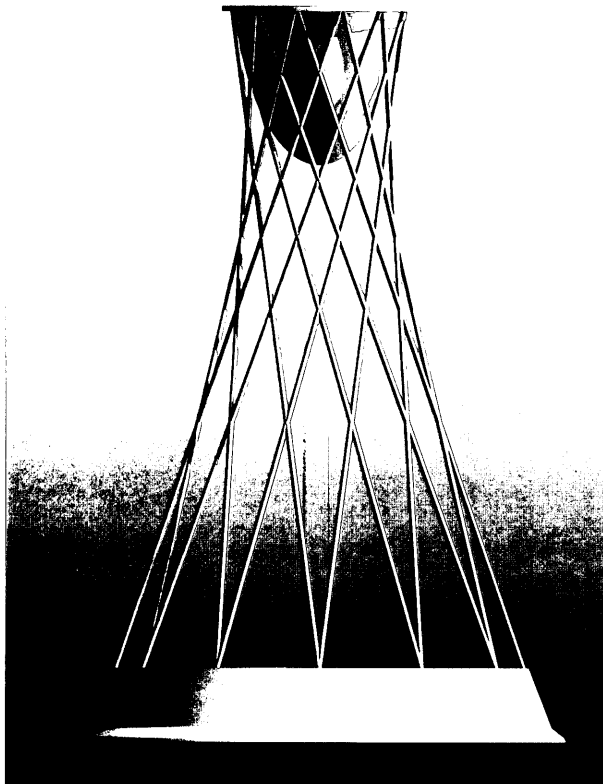


Figura 11. Depósito en Souk el Arba. Axonometría de la sección y vista perspectiva.

Desde el punto de vista constructivo, la inclusión de las dos curvaturas opuestas en cada punto de la superficie y la obtención de las familias de rectas que le constituyen, puede ser aprovechada para realizar las operaciones de encofrado y pretensado de las armaduras en una lámina hiperbólica.

Depósito para el Hipódromo de la Zarzuela (1935), en proyecto. En esta original propuesta para la construcción de un depósito, refleja Torroja, de nuevo, el compromiso integral en el proceso creativo que sucede desde la idea a la solución del problema.

Figura 12. Alzado y planta de la solución proyectada para el depósito del Hipódromo de la Zarzuela.



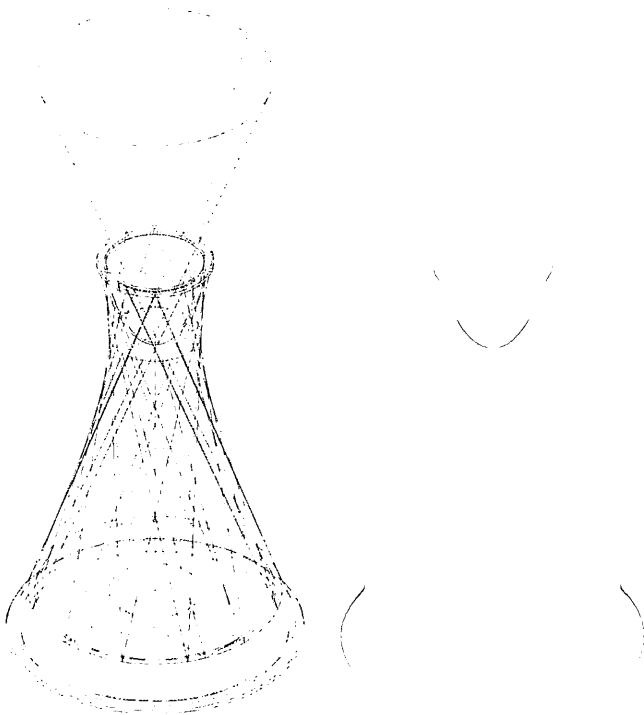


Figura 13. Depósito para el Hipódromo de la Zarzuela. Elementos que definen la estructura portante. Cono asintótico del H.H.

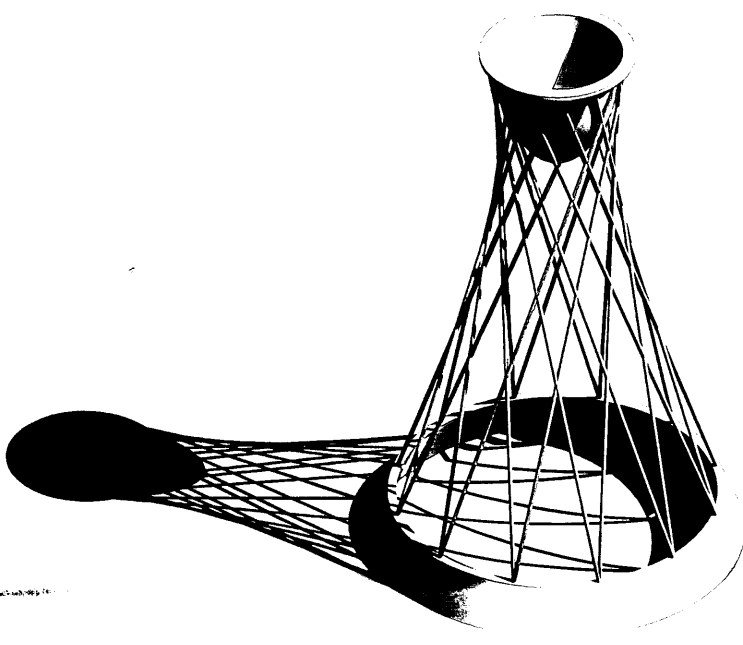


Figura 14. Depósito para el Hipódromo de la Zarzuela. Resultado obtenido al construir el modelo en 3D e iluminarlo bajo ciertas condiciones.

El depósito, podría tener cualquier forma que resolviera la función a la que se le destina, y escoge las ventajas de una superficie reglada combinada con otra elíptica. Se perfila de este modo la forma más conveniente a las posibilidades que le ofrecen tanto los materiales como los modos constructivos del momento, sin desdeñar su repercusión económica; haciendo alarde al mismo tiempo de la abstracción y cultura geométrica que posee, con esta ingeniosa solución.

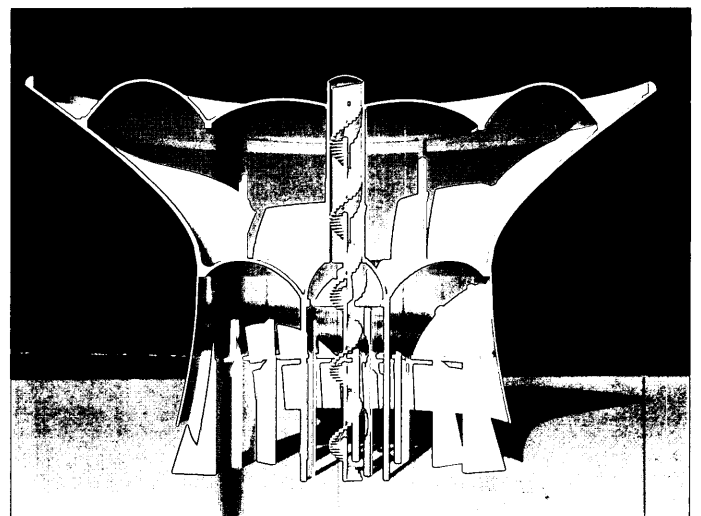
La estructura que integra a los dos depósitos: uno subterráneo y otro elevado, es un *hiperboloide vacuus*, vaciado siguiendo la dirección de generatrices y directrices que le definen. El elevado puede tener definición de *cuádrica elíptica* tangente al borde superior, que bien pudiera tratarse de un hiperboloide o paraboloides de revolución.

El estudio de las superficies que determinan el depósito enterrado le configuran como el resultado de equilibrar los pesos y masas externas. Pared cónica, manteniendo tangencia al círculo de contacto con una porción de esfera invertida bajo una cornisa cónica.

Cuba hiperbólica de Fedala. La gran ventaja que aportan las superficies regladas, permitiendo un doble pretensado de las armaduras en las direcciones de las dos familias rectas (generatrices y directrices), se ha utilizado con frecuencia para lograr la estanqueidad en los depósitos. Uno de los primeros con esta estructura fue construido en 1956 por Torroja en Marruecos.

La cuba está determinada exteriormente por dos hiperboloides hiperbólicos de revolución con la coincidencia del eje vertical. La cara externa superior acusa en la hipérbola que le define una desviación del foco respecto al vértice, mayor que la hipérbola de la cara externa inferior. Esta cualidad en el diseño de la superficie compuesta, convierte al depósito en una estructura hiperbólica con ciertas propiedades inherentes al cilindro vertical al que la zona inferior parece degenerar. Ofre-

Figura 15. Cuba hiperbólica de Fedala. Sección fugada.



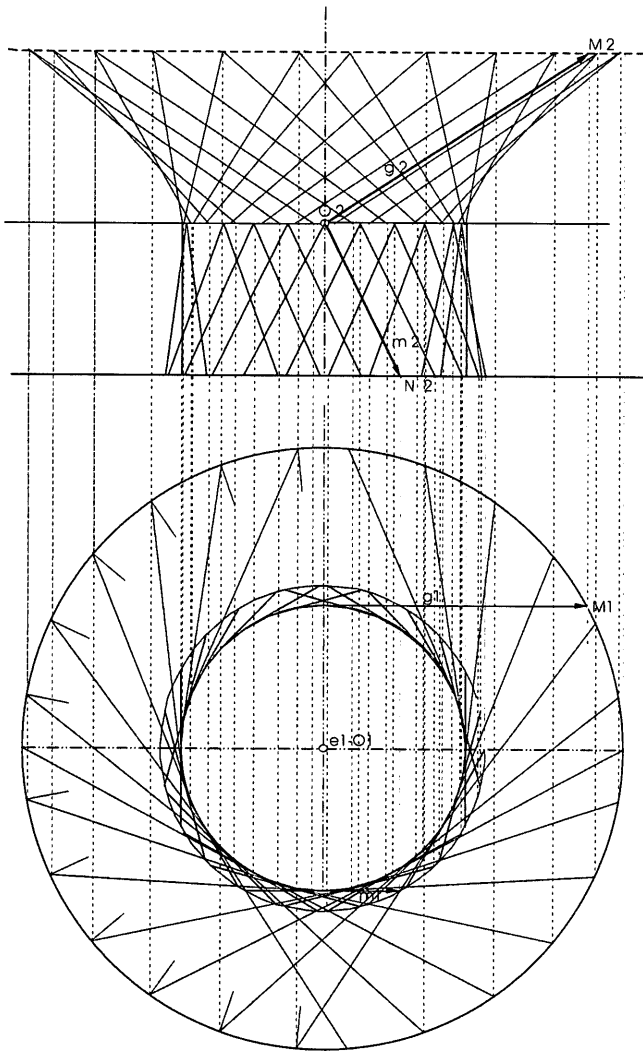


Figura 16. Cuba hiperbólica de Fedala. Trazado de las generatrices y directrices de los dos hiperboloides hiperbólicos que configuran la superficie exterior.

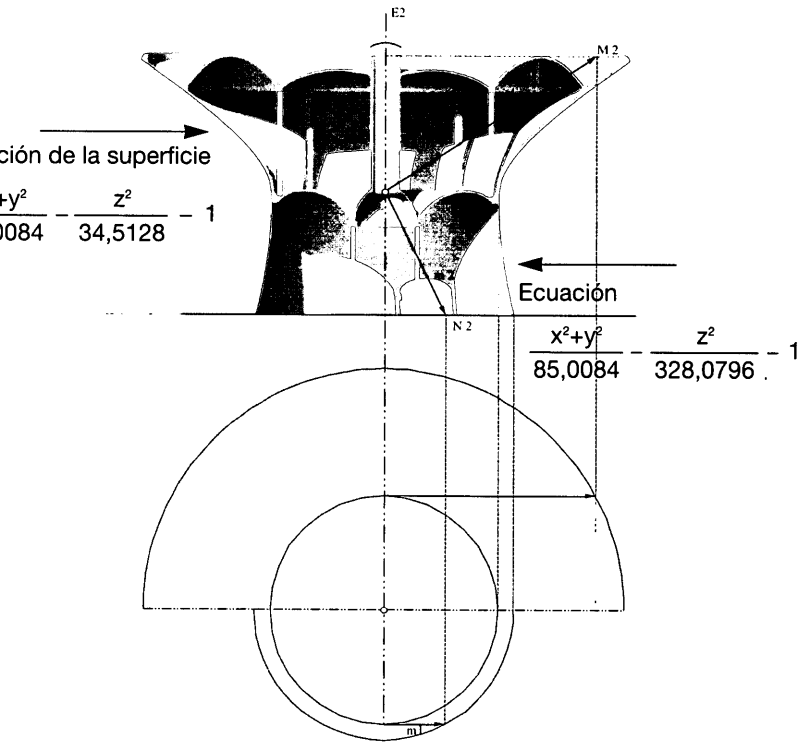
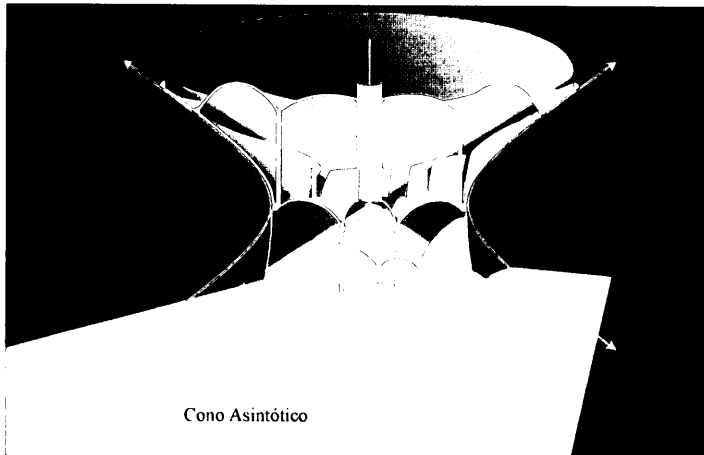


Figura 17. Cuba hiperbólica de Fedala. Esquema con las generatrices que junto al eje vertical definen la zona superior e inferior de la superficie exterior.

ciendo esta disposición de los dos hiperboloides reglados, junto al conjunto de las bóvedas tóricas que conforman el techo y el suelo del depósito una forma compacta resistente a los empujes causados por el agua acumulada.

Como último ejemplo sobre este tipo de superficies, destacaremos la cubierta del Hipódromo de la Zarzuela, donde nuestro insigne ingeniero utiliza de nuevo la misma superficie hiperbólica como elegante solución tanto desde el punto de

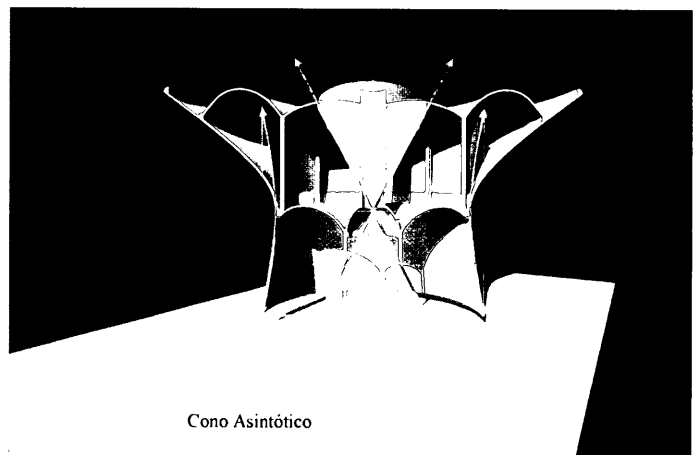


Figura 18. Cuba hiperbólica de Fedala. Hiperboloide reglado de la zona superior e inferior. Elementos y cono asintótico de cada superficie.

Figura 19. Cuba hiperbólica de Fedala. Distintos tipos de generación de la superficie. Vista de las tres bóvedas tóricas: una en el fondo del depósito que apoya sobre el anillo central, y dos en la cubierta.

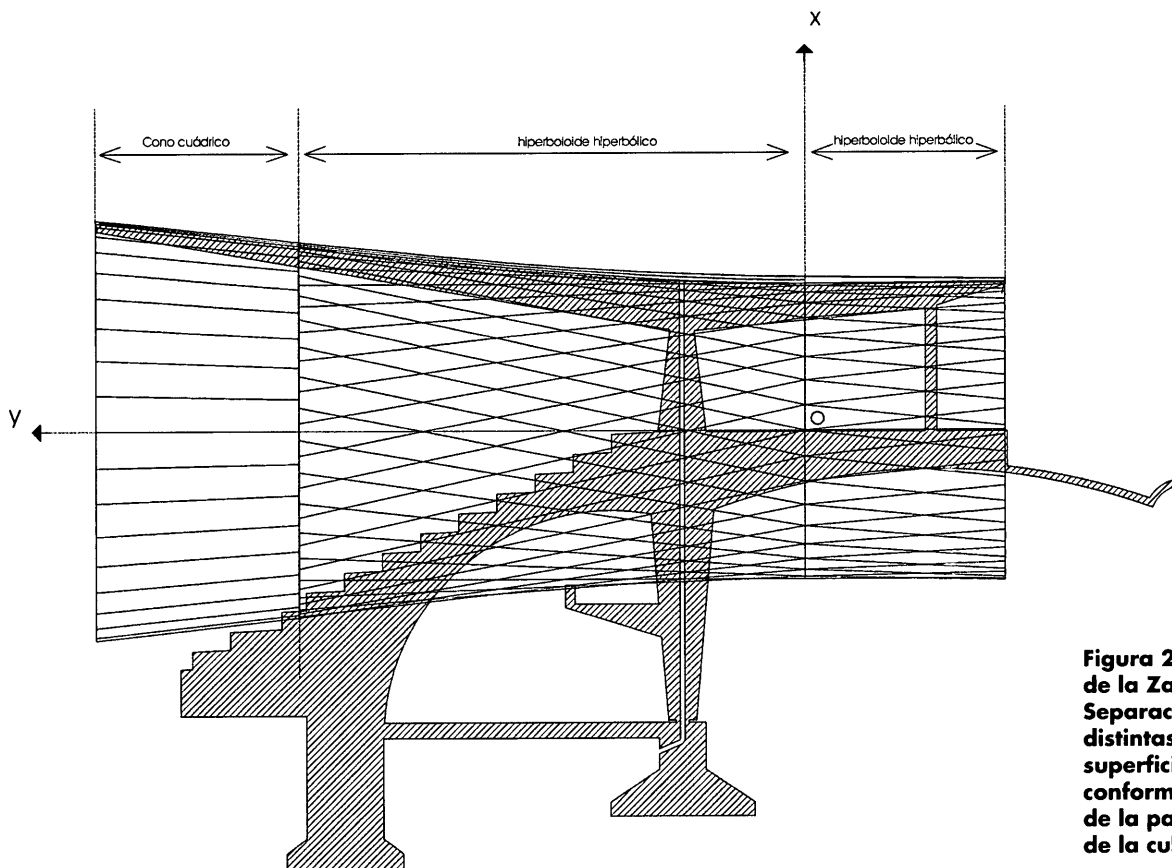
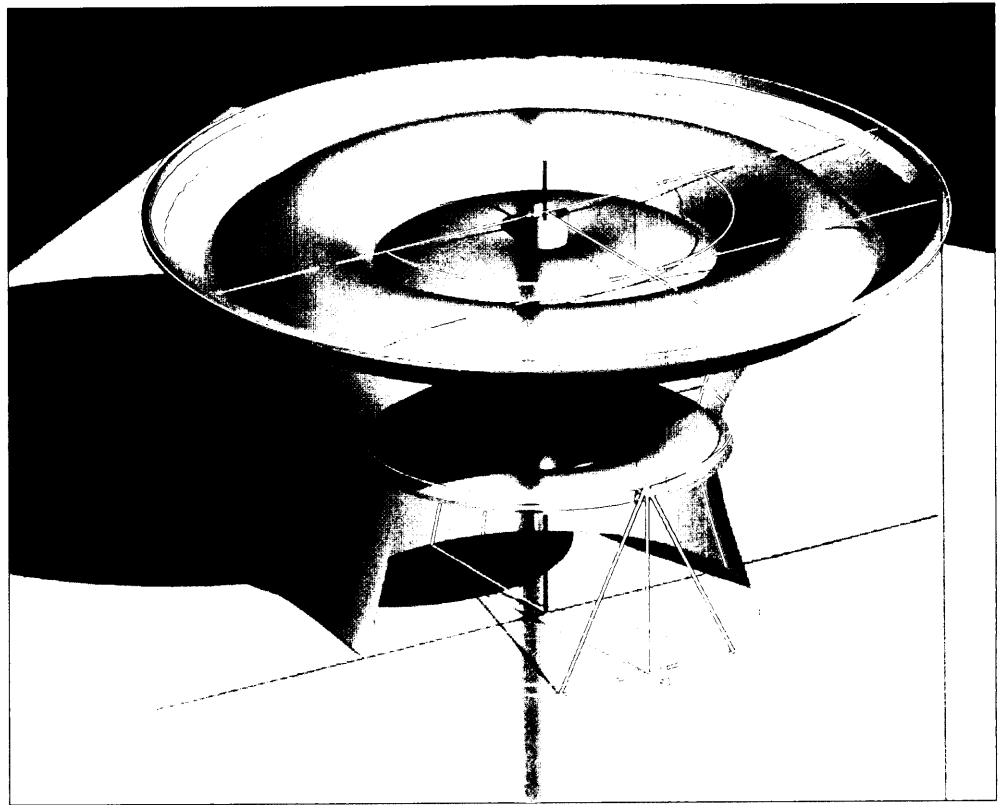


Figura 20. Hipódromo de la Zarzuela. Separación de las distintas superficies que conforman el contorno de la parte inferior de la cubierta.

Ecuación de la hipérbola

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$\frac{x^2}{3.20^2} - \frac{y^2}{13.8855^2} = 1$$

$$c^2 = b^2 + a^2$$

$$e = c/a$$

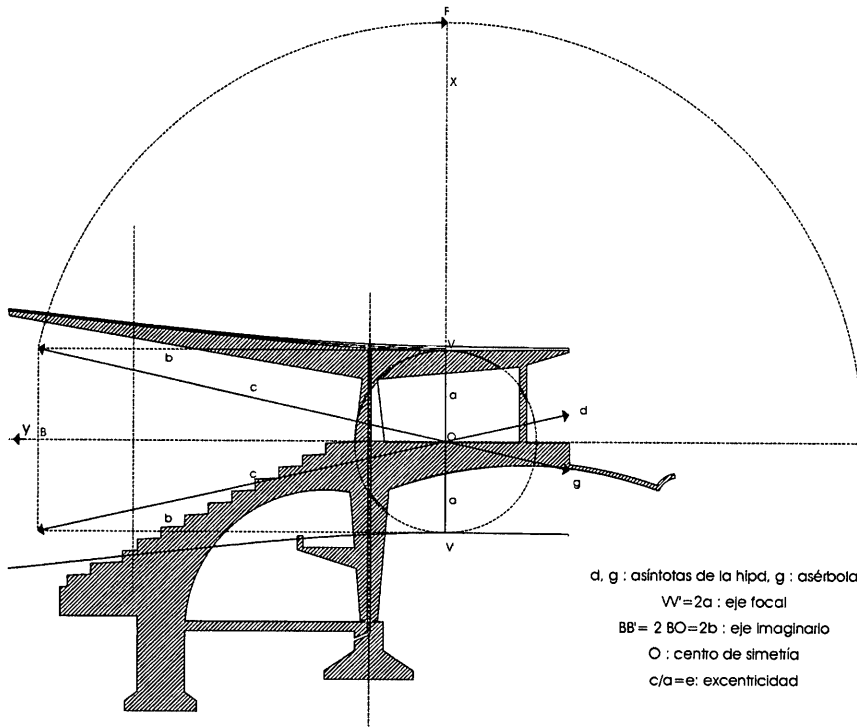


Figura 21. Hipódromo de la Zarzuela. Ecuaciones.

vista estético como desde el punto de vista estructural, siendo unánime su reconocimiento internacional.

La sección por planos verticales no tangentes a la cuádrica, produce en la superficie una línea cónica hiperbólica plana, con la convexidad hacia el plano diametral que contiene al eje horizontal. Para solventar esto, Torroja decide cambiar esta sección curva por rectas, de forma que en los puntos de apoyo en los soportes engrosa la sección, aumentando con ello la curvatura de la sección transversal.

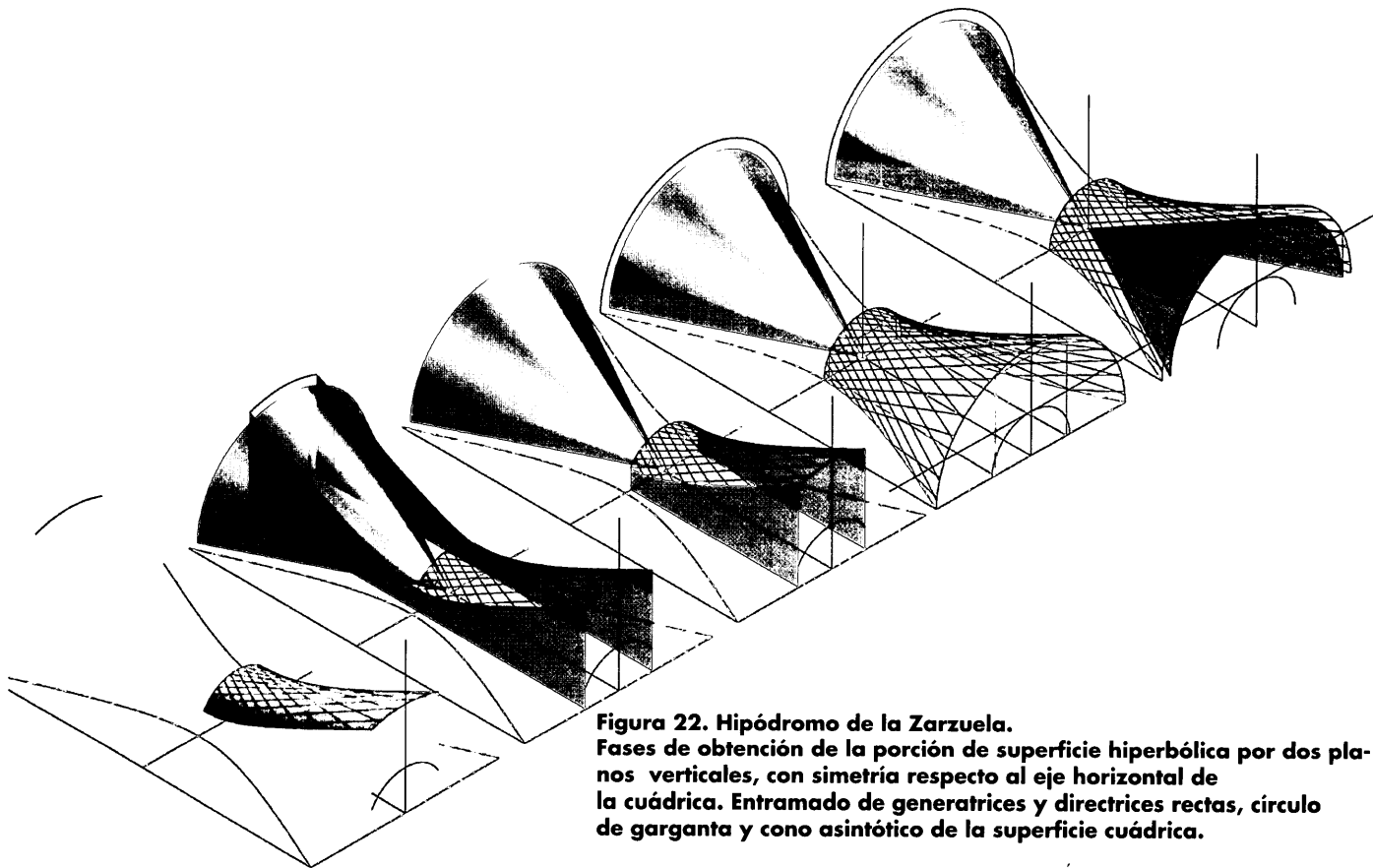


Figura 22. Hipódromo de la Zarzuela. Fases de obtención de la porción de superficie hiperbólica por dos planos verticales, con simetría respecto al eje horizontal de la cuádrica. Entramado de generatrices y directrices rectas, círculo de garganta y cono asíntotico de la superficie cuádrica.

Figura 23. Hipódromo de la Zarzuela. Comparación de la solución geométrica y la lámina construida.

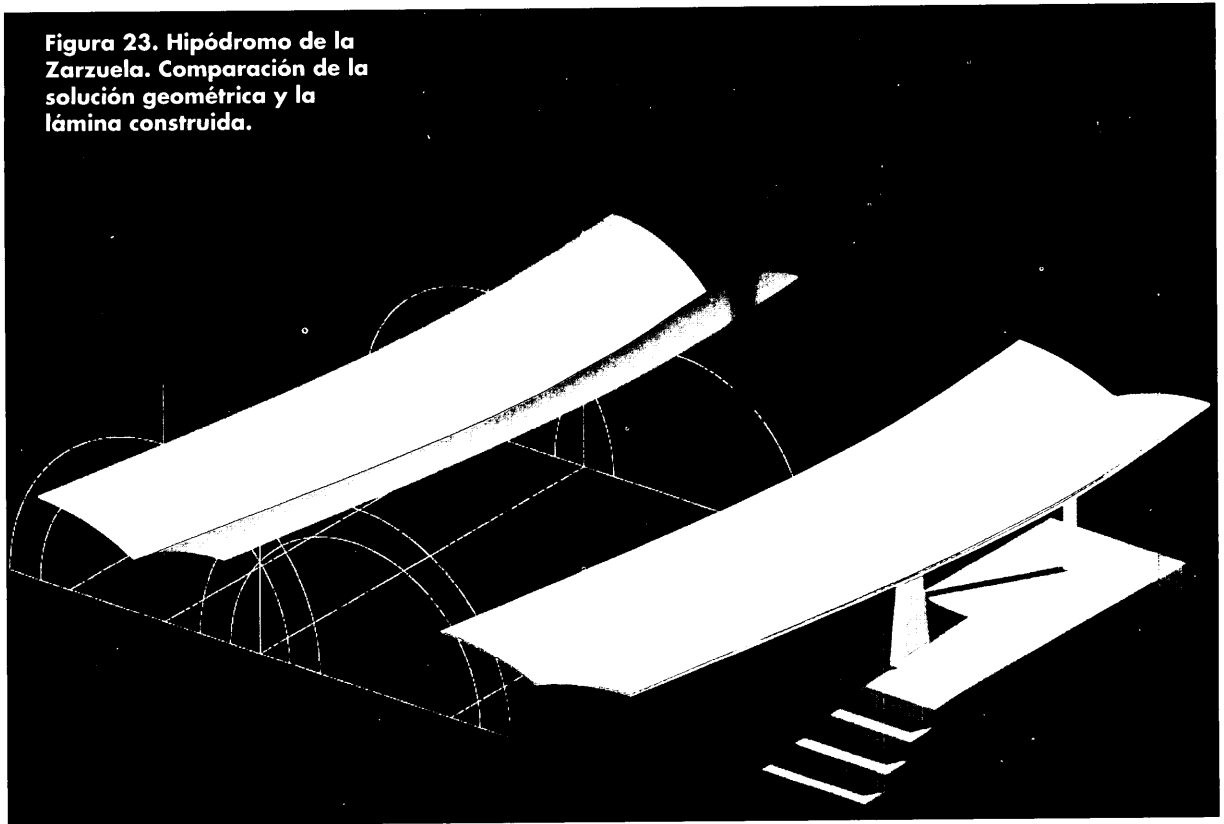
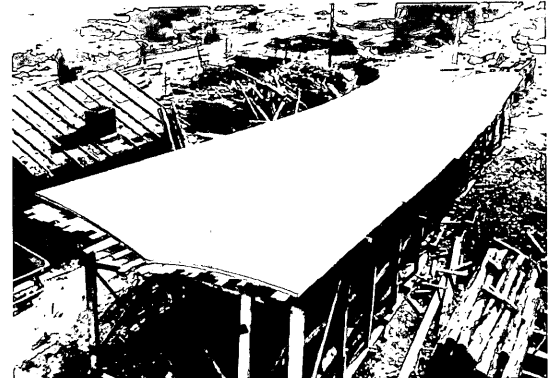
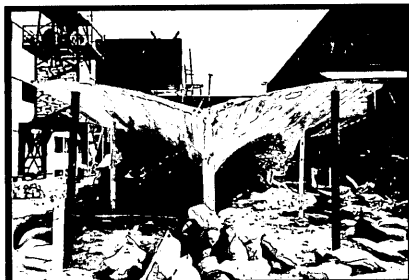


Figura 24. Hipódromo de la Zarzuela. Simulación con el modelo en 3D y comparación con las fotografías originales del modelo realizado a escala 1:1 para la prueba de carga.

Fotografía original.



CONSTRUCCIÓN DEL MODELO:
Lóbulo de prueba.



Fotografía

LÓBULO TIPO
"gaviota"

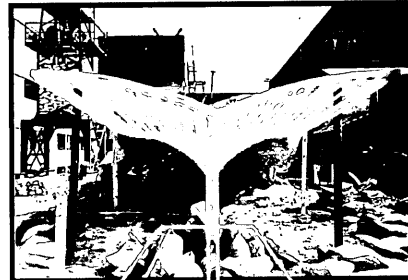


Figura 25. Cubierta del mercado de Algeciras. Vista general.

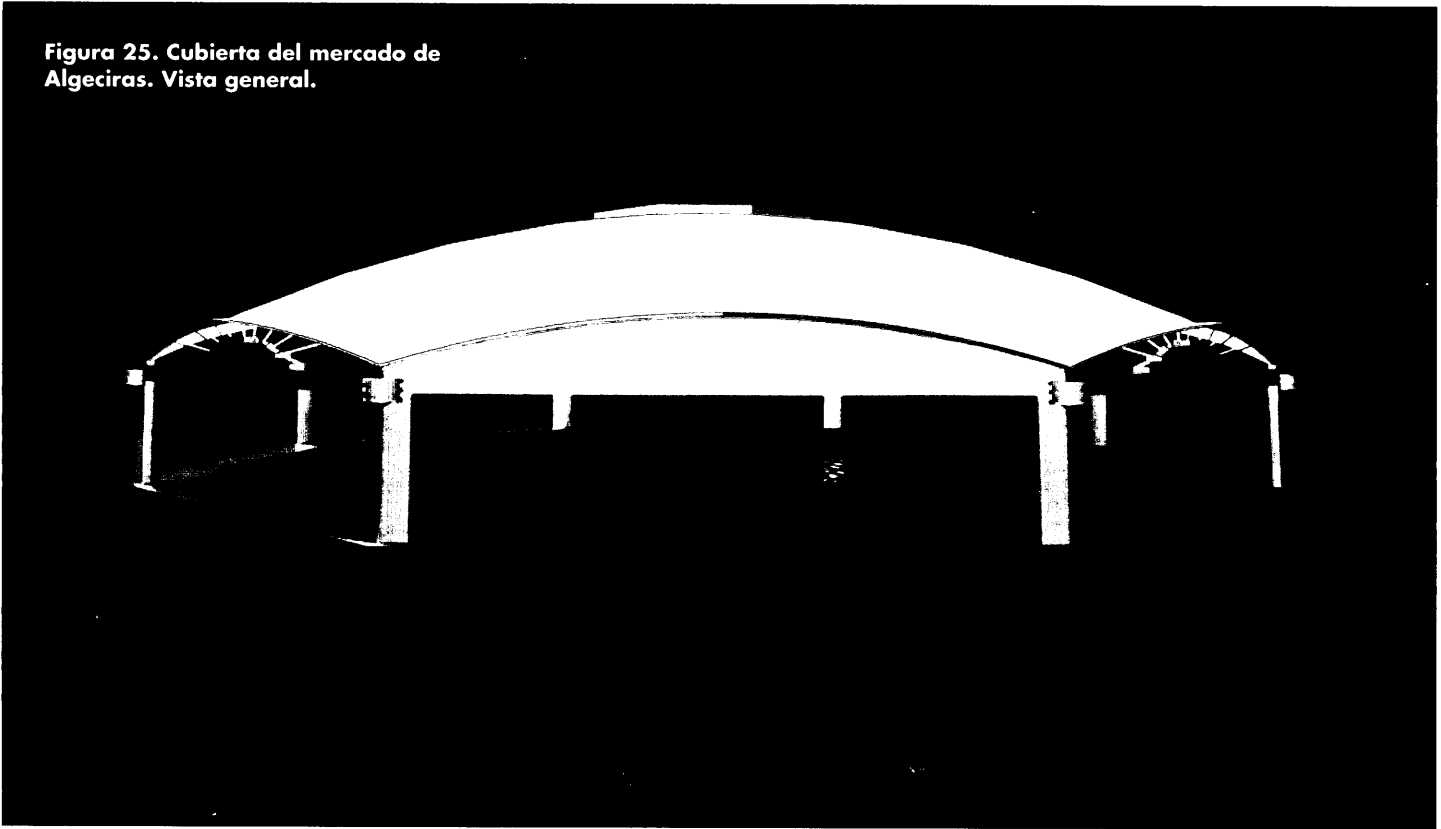
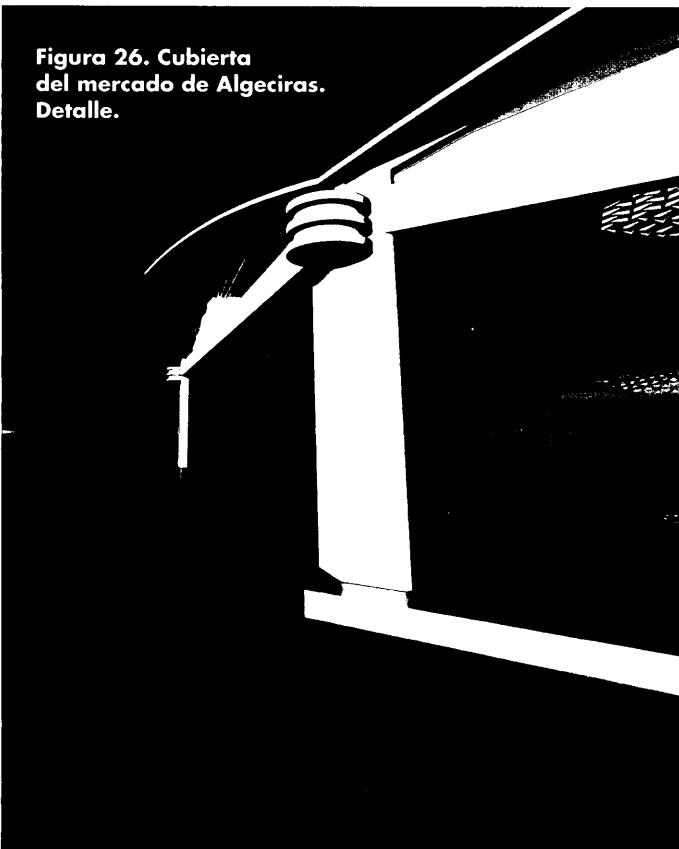


Figura 26. Cubierta del mercado de Algeciras. Detalle.



En el capítulo perteneciente a las superficies curvas o no regladas, de doble curvatura positiva, describimos la **cubierta del mercado de Algeciras**, donde la solución adoptada para cubrir el espacio se convierte de nuevo en un referente mundial de la época.

Una lámina esférica de mínimo espesor con ocho embocaduras cilíndricas que convierten los accesos a la cúpula en una forma poligonal en planta de 16 lados. La cúpula esférica tiene un diámetro de 47,80 metros con un radio de curvatura de 44,10 metros. El borde exterior del casquete esférico está cortado por bóvedas cilíndricas, que periféricamente se apoyan en los ocho soportes, situados en los puntos de intersección de cada dos bóvedas cilíndricas. La estructura así diseñada, consigue que las fuerzas meridianas que provienen de la cúpula y tienen una dirección tangente a la esfera, sean transmitidas hacia los pilares, que junto con el anillo perimetral postensado absorben la componente vertical y la horizontal en cada uno de los ocho nudos.

Planteando el problema geométrico aislado de otras consideraciones: la intersección de la esfera que determina la lámina y cada uno de los cilindros que conforman cada embocadura, determina una línea de intersección alabeada. Las dos superficies implicadas, esfera y cilindro, no contienen sus ejes en un mismo plano. En la figura 27 se observa la variación posicional del eje del cilindro que pasa por O' y el de la esfera con centro en O .

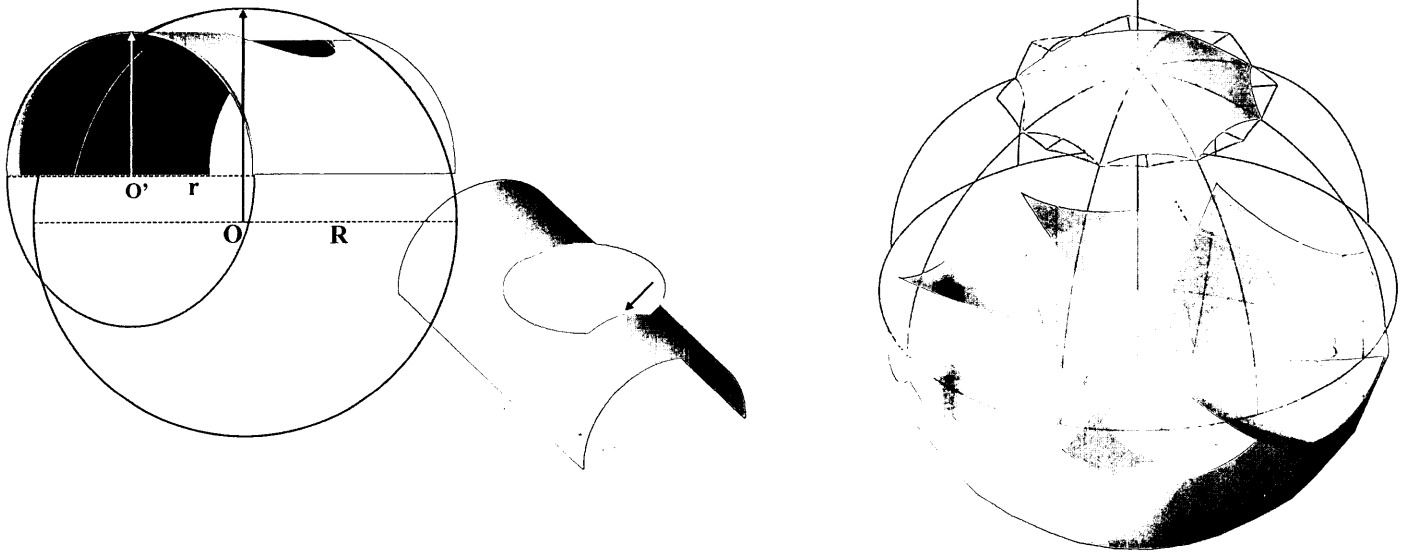
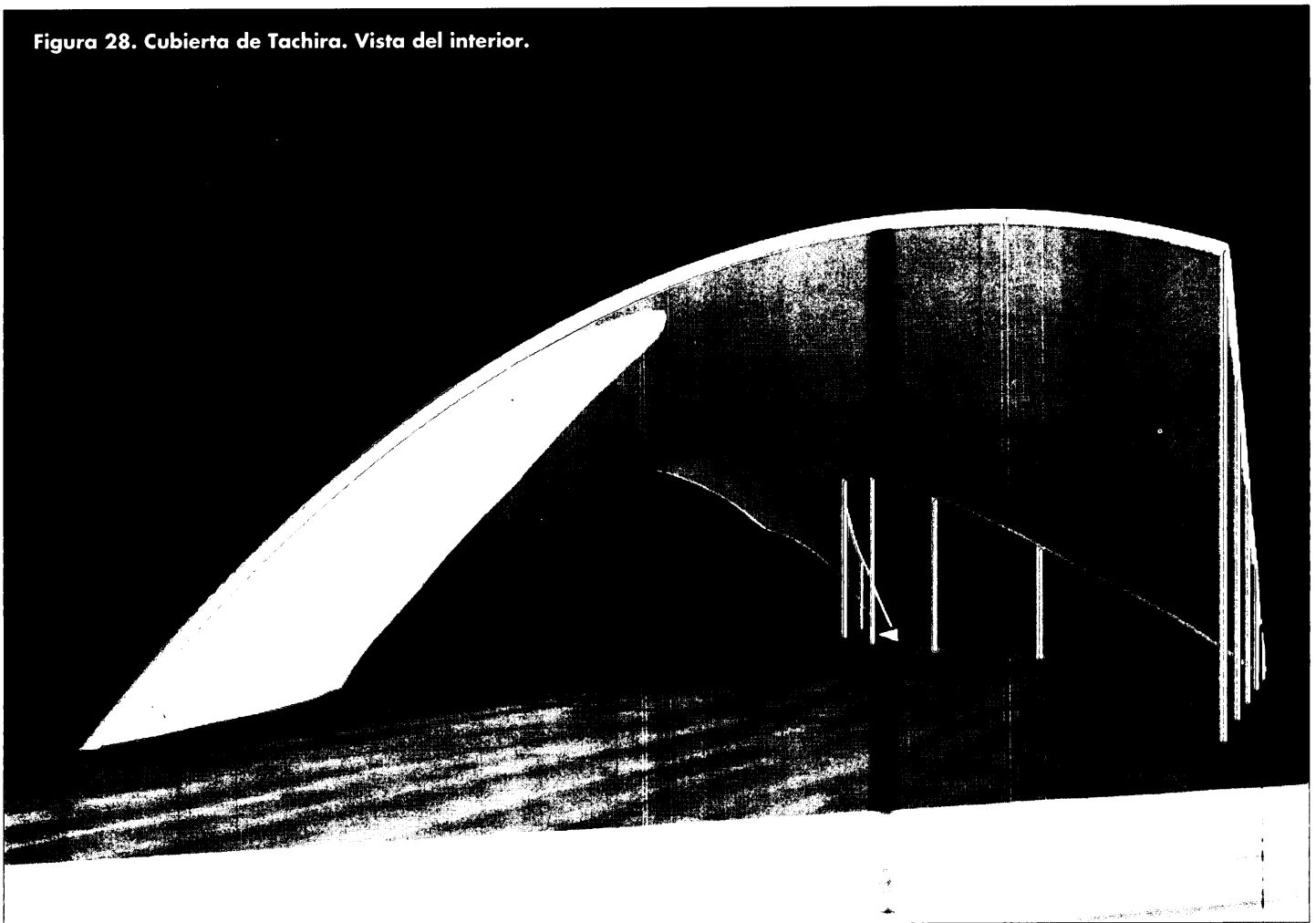


Figura 27. Cubierta del mercado de Algeciras. Las embocaduras cilíndricas producen en la esfera líneas de intersección alabeadas.

Figura 28. Cubierta de Tachira. Vista del interior.



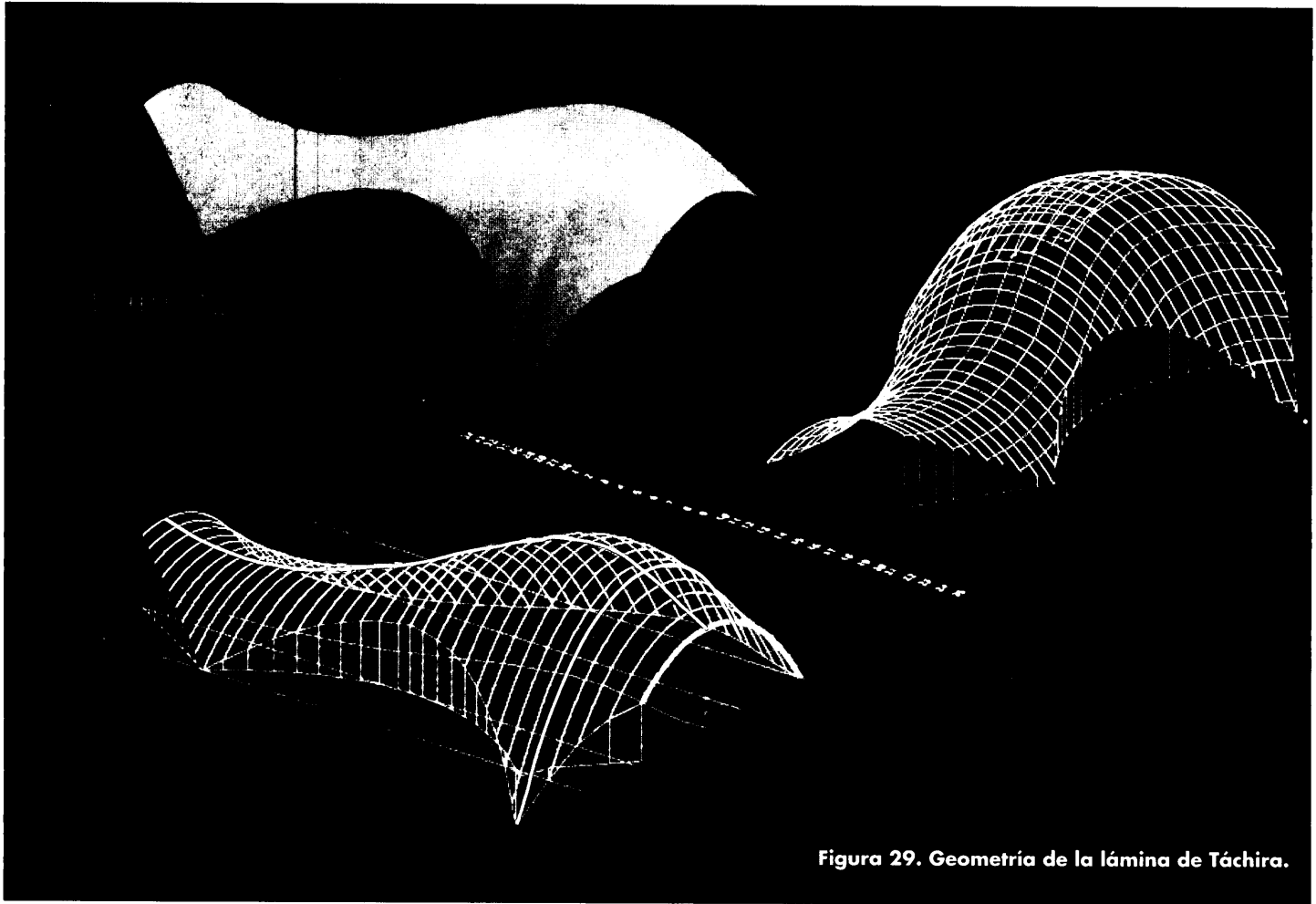


Figura 29. Geometría de la lámina de Táchira.

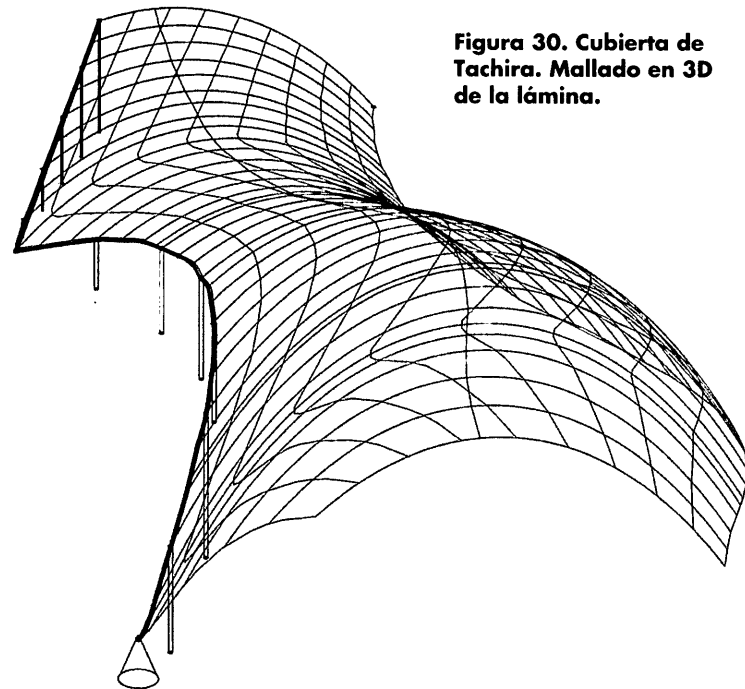


Figura 30. Cubierta de Tachira. Mallado en 3D de la lámina.

Utiliza en sus proyectos con gran agilidad todo tipo de superficies con definición geométrica, abarcando desde las geometrías sencillas a las más complejas. Ejemplo de ello es la **cubierta de Táchira**, determinada por la traslación de una catenaria que mantiene su vértice sobre una curva alabeada, formando una superficie de traslación que posteriormente es seccionada por varios planos verticales. La superficie así definida, es de doble curvatura positiva.

En la **Iglesia en Pont de Suert**, establece una serie de 10 láminas idénticas, situándolas dos a dos según el eje longitudinal de la nave, consiguiendo la armonía de los distintos módulos que configuran el espacio interior de la iglesia.

Según comentarios del autor, la forma de estas láminas asemejan a la de ciertas conchas marinas que E. Torroja completa con unos nichos en forma de semi-elipsoides donde se ubican otros elementos como, pila de agua bendita, confesionarios...

Adosada a la nave se localizan la capilla del Santísimo conformada por una superficie de revolución con generatriz curva plana de tal modo que la forma recuerda un bulbo; y

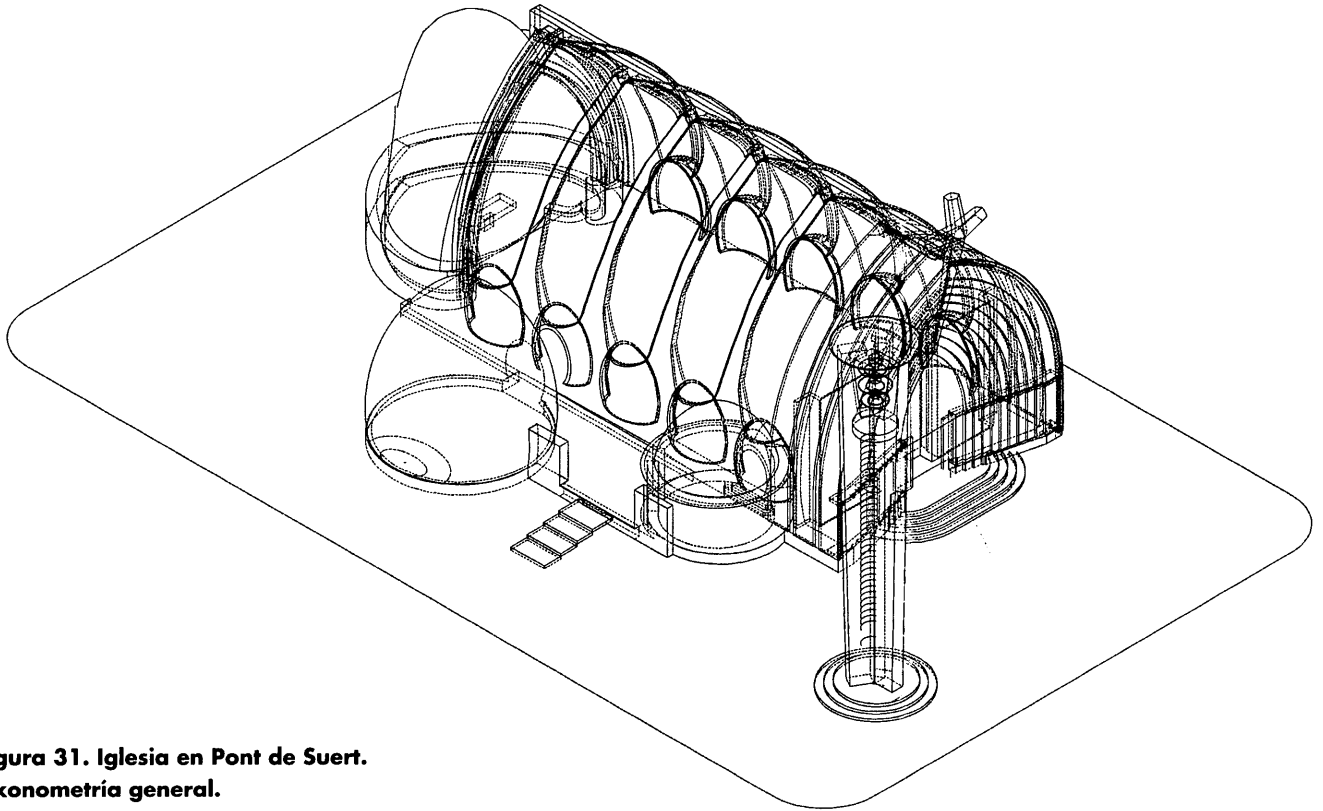


Figura 31. Iglesia en Pont de Suert.
Axonometría general.

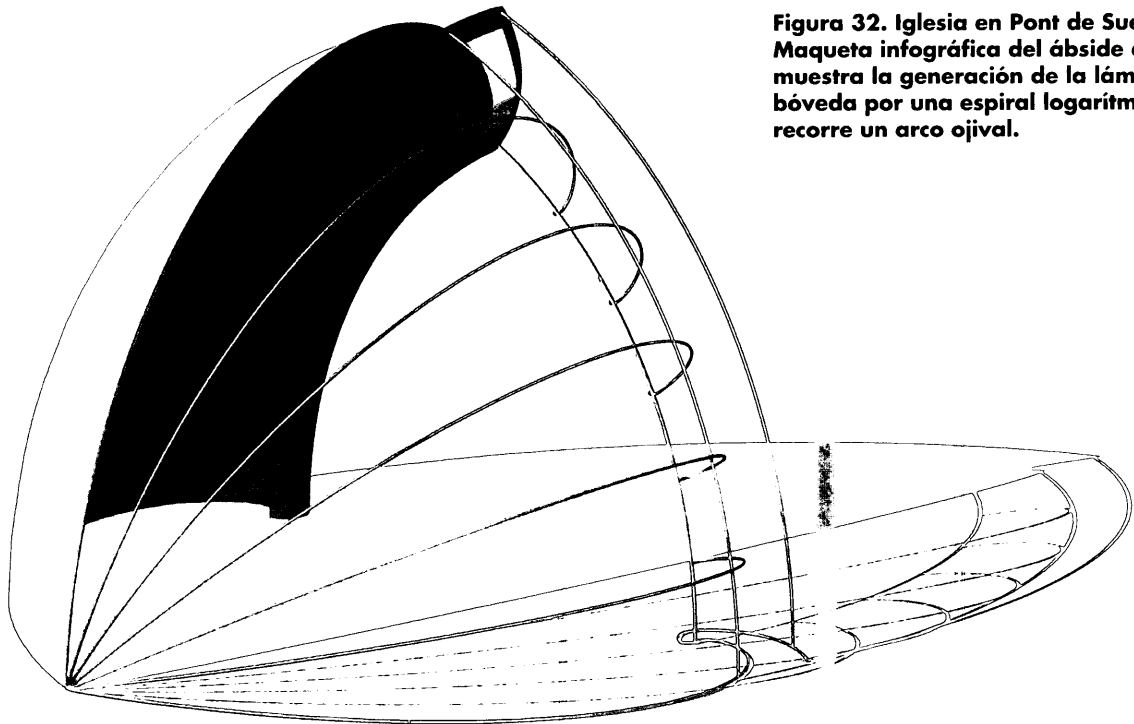


Figura 32. Iglesia en Pont de Suert.
Maqueta infográfica del ábside donde se muestra la generación de la lámina en bóveda por una espiral logarítmica que recorre un arco ojival.

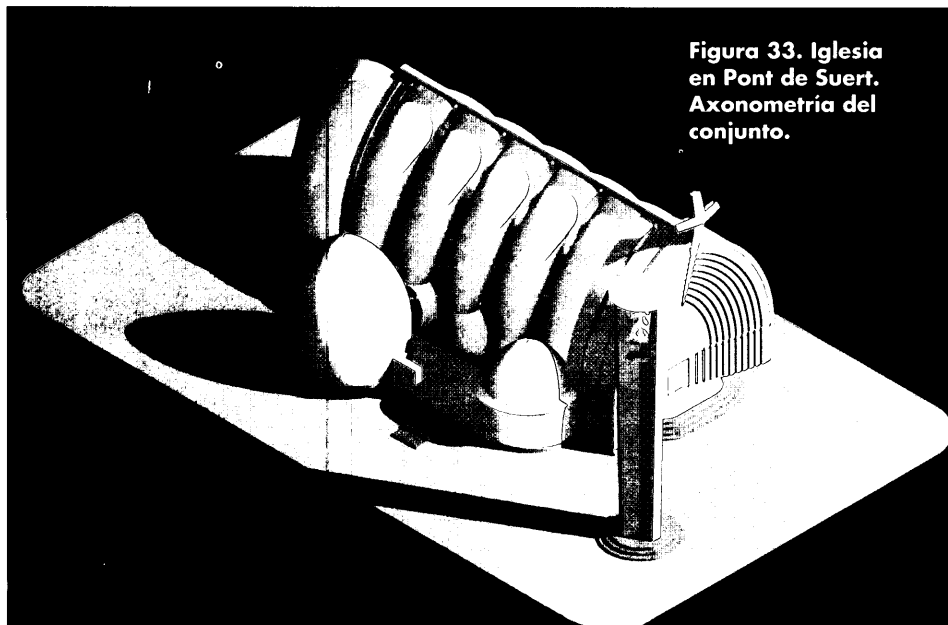


Figura 33. Iglesia en Pont de Suert. Axonometría del conjunto.

la capilla bautismal que recurre a otra superficie de revolución. La torre del campanario es exenta a la iglesia localizándose en el exterior a la izquierda de la portada.

Construcción experimental en el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento en Costillares.

La cubierta de 3 cm de espesor está determinada por una senoide en sentido transversal que recorre en sentido longitudinal dos arcos de elipse, de forma que la senoide varía proporcionalmente su sección.

Esta construcción experimental fue ideada en su momento como precursora de otras prefabricadas, donde la disposición de varios de estos lóbulos son colocados dos a dos en forma de arco y atirantados en la unión con el zócalo de soporte, de forma que se comporte el conjunto como un sistema articulado.

Para concluir esta breve síntesis de la obra de Torroja, quisiera destacar que a lo largo de su extensa producción se ad-

vierte una formación geométrica tan exhaustiva y completa que le permitía disponer de ella al servicio de su ingente actividad creativa. ●

Figura 34. Construcción experimental. Vista general

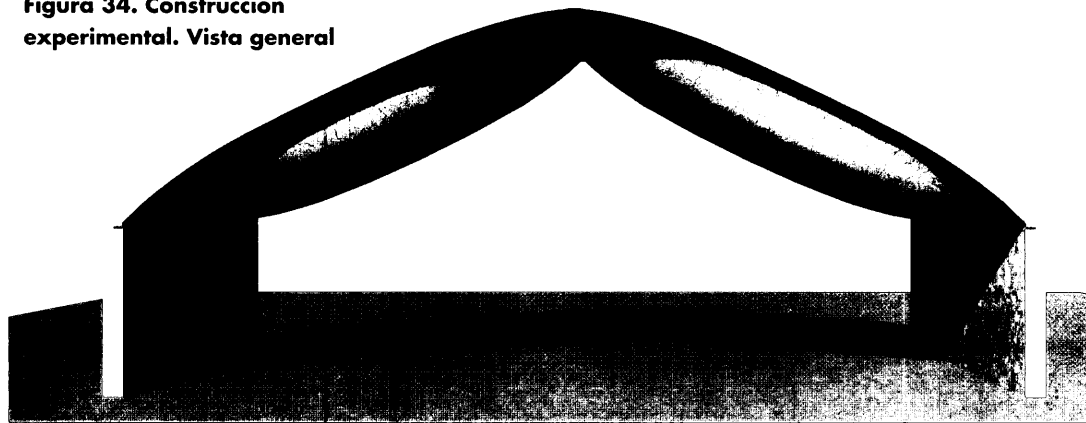
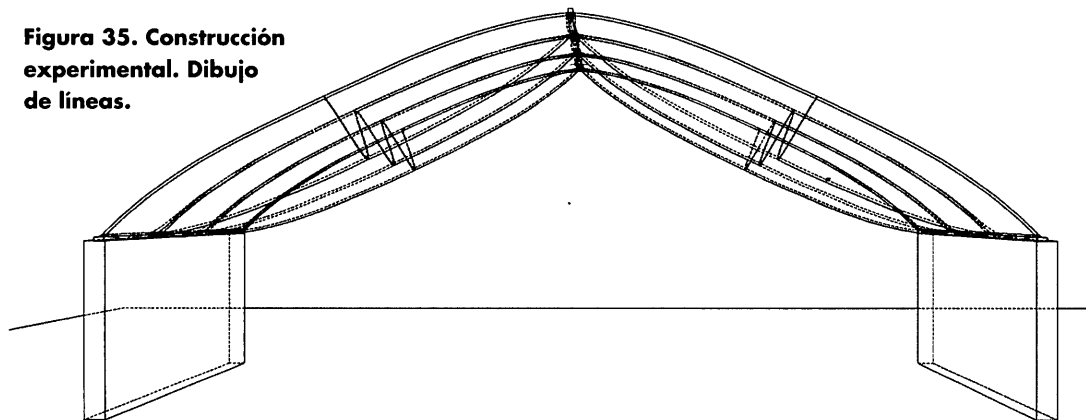


Figura 35. Construcción experimental. Dibujo de líneas.



BIBLIOGRAFÍA:

- Las estructuras de Eduardo Torroja. CEDEX, CEHOPU. 1999.
- Razón y ser de los tipos estructurales. Torroja, Eduardo. C.S.I.C. Madrid. 1998.
- Estructuras de voladizos y cubiertas. Jürgen Joeedicke. Hermes S.A. 1967.
- Sistemas de estructuras. Engel, Heinrich. Madrid. Blume, 1970.
- La representation des structures constructives. París. Eyrolles.
- Geometría Descriptiva, superior y aplicada. Izquierdo Asensi, Fernando. Madrid. 1996.
- Geometría Descriptiva, aplicada a la técnica. Hohenberg. Barcelona. Labor. 1965.