

ALGUNAS ESTRUCTURAS DE LA EXPOSICION INTERNACIONAL DE BRUSELAS

Por C. BENITO y F. DEL POZO,
Ingenieros de Caminos.

Consideramos de interés que aparezca en nuestras páginas algún comentario, como el presente, sobre las estructuras de la Exposición de Bruselas, que ha sido para muchos, y especialmente para los técnicos, lo más notable de tan magnífico certamen.

Cuando estas líneas lleguen al lector, ya se habrá clausurado la "Expo". Los diversos países participantes habrán retirado la tramoya propagandística, utilizada para mostrar al Mundo el nivel que han alcanzado en el Arte, la Ciencia, la Industria o la Agricultura, y es posible que algunos de los pabellones de esta exhibición hayan sido desmontados o demolidos.

Verdadero tema de actualidad durante varios meses, a ella se han dedicado un gran número de artículos, que hemos visto en publicaciones de muy diverso carácter. Por ello, no ofrecería novedad y carecería de interés dedicar una sola línea más a la descripción del magnífico emplazamiento utilizado, a su extensión, urbanización, accesos y aun a la distribución de los pabellones en sectores, según su carácter. La silueta de "la vaca" (el plano) es ya familiar para todos los que han visitado, o se interesan, desde algún punto de vista, por este magno certamen.

A continuación, y como complemento de lo publicado en los números de junio y julio de esta revista, vamos a describir, de manera muy resumida, algunas estructuras de entre las que más llamaron nuestra atención en la visita que realizamos durante el pasado mes de agosto. Esta selección se ha hecho tratando de destacar aquellas que creemos ofrecen un interés especial por la originalidad de la solución utilizada, o por las grandes dimensiones alcanzadas en uno o más elementos de su estructura resistente. Por tanto, hemos omitido toda alusión a construcciones o pabellones dignos de alabanza en su concepción y realización, donde se han seguido normas que, por ser tradicionales, resultan conocidas. Nos ha sido grato comprobar cómo, entre estas últimas soluciones, las había de una perfección y belleza difícilmente superables.

Las descripciones de las estructuras que se incluyen a continuación se han agrupado de manera análoga a como se las había clasificado por la Comisión Organizadora; y así, figuran en primer lugar las pertenecientes a la Sección Belga; después, las realizadas por Organismos internacionales, tales como la ONU, el Consejo de Europa, etc., y por último, las de los pabellones de países extranjeros.

Sección Belga.

El Atomium. — El símbolo de la Exposición Internacional de Bruselas es el Atomium. Con él se ha querido mostrar a los visitantes el desarrollo alcanzado por las industrias belgas del acero y del aluminio.

Su aspecto puede verse en la fotografía de la figura 1.^a. En ella se aprecian nueve esferas gigantes, colocadas en los vértices y centro de un cubo que tuviera vertical una de sus diagonales. Estas esferas, que en la realidad tienen 18 m. de diámetro, van unidas por unos tubos de acero de 3 m. de diámetro, colocados según las aristas del cubo, y otros tubos de acero algo más gruesos (3,30 m. de diámetro), que siguen la dirección de sus diagonales. Todo el conjunto quiere representar la constitución atómica de un cristal de hierro.

Para asegurar el equilibrio de esta estructura de 102 m. de altura, de cada una de las tres esferas inferiores que equidistan del suelo salen dos patas de acero, entre las que se han alojado unas escaleras metálicas que pueden ser utilizadas por los visitantes en su descenso (fig. 2.^a).

Las superficies exteriores de las esferas son de aluminio, y siguiendo círculos máximos, se han instalado numerosas luces eléctricas que parpadean en la noche.

El visitante penetra en el Atomium por un pabellón que rodea la esfera inferior, y en su recorrido puede seguir diversos caminos: visitar la esfera superior, en la que se han situado, en pisos distintos, una galería-observatorio y un restaurante; para ello, puede subir directamente desde el suelo por medio de un rápido ascensor, que podrá utilizar también en el descenso, o subir por escaleras mecánicas, ubicadas en aristas y diagonales del cubo, que le permitirán visitar las exposiciones relacionadas con la era atómica que hay instaladas en las tres esferas inferiores. La esfera central y las tres superiores son, exclusivamente, de paso para los visitantes, que pueden descender hasta el suelo por medio de escaleras metálicas fijas.

La superficie de aluminio de las esferas va sujeta a una estructura de acero, que se une a la de los tubos,

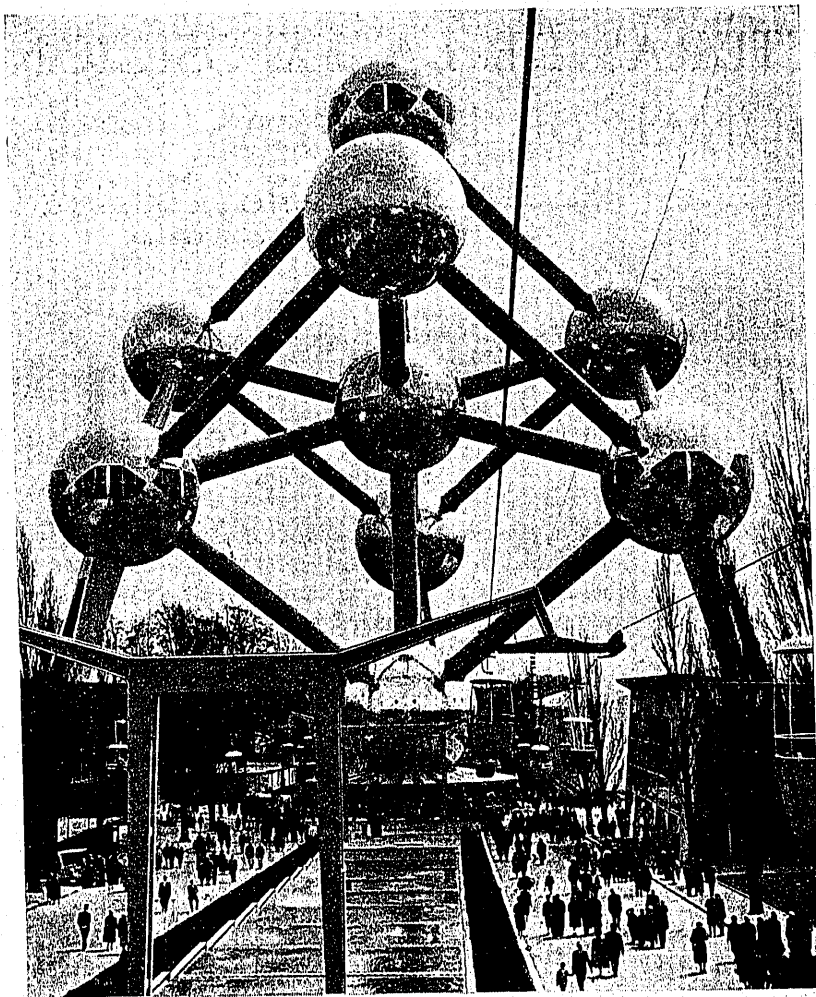


Figura 1.^a

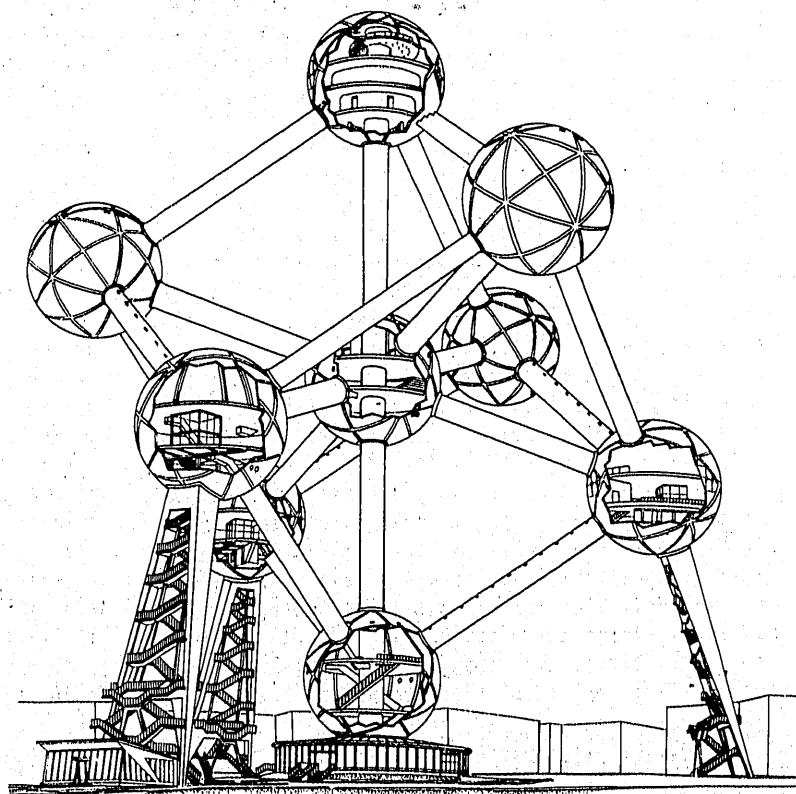


Figura 2.^a

constituyendo un conjunto que puede esquematizarse de la siguiente manera:

Hay tres esferas que van unidas al tubo que hace de diagonal-vertical, el cual se prolonga a través del pabellón de acceso hasta llegar a la cimentación. En ellas, la estructura está formada por unos arcos meridianos, que sirven de apoyo a los pisos visitables por el público.

Cada una de las tres esferas inferiores está soportada por una arista del cubo y por dos patas metálicas articuladas en sus extremos inferiores. Sobre estos trípodos van unos pórticos metálicos que sirven de apoyo a unos arcos semicirculares que soportan el forro de la mitad superior de cada esfera, y enlazan con dos aristas y una diagonal.

Las tres esferas, situadas en un plano superior, van unidas por una arista a la esfera más alta; por una diagonal, a la esfera central, y con otras dos aristas, a dos esferas contiguas inferiores. Todos estos tubos se unen rigidamente en el centro de la esfera por medio de una pieza hueca de acero, que tiene forma de cubo. En este nudo o enlace van sujetos seis arcos biarticulados que sirven de estructura primaria a la envoltura de aluminio. Se denomina primaria esta estructura, porque en todas las esferas, sobre los arcos meridianos descritos, se ha montado otra estructura de acero, formada por perfiles que, adoptando la forma de círculos máximos, dividían cada esfera en 48 triángulos que, por tener unas dimensiones aceptables, podían ser cubiertos directamente con las chapas de aluminio.

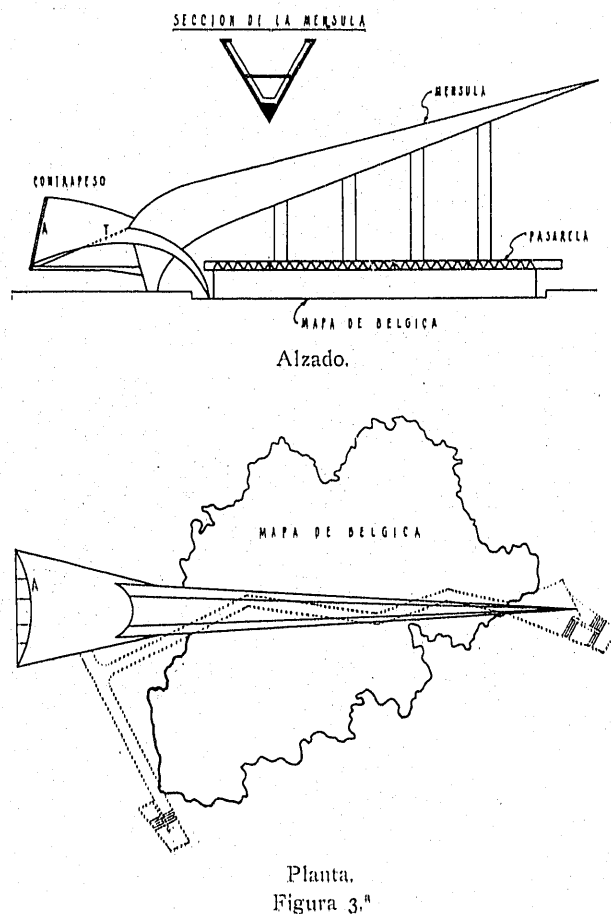
El peso total de la estructura de acero del Atomium es de 2 400 Tn., que reposan sobre una cimentación circular de 12 m. de diámetro, construida en hormigón armado, y que a su vez se apoya sobre 57 pilotes de 17,5 m. de longitud y con una capacidad de carga de 55 Tn. cada uno. Las escaleras metálicas, y las patas que colaboran en el equilibrio de cada esfera inferior, pesan 100 Tn. y van provistas de cimentaciones independientes.

La idea de esta singular construcción es del ingeniero A. Waterkeyn, y en ella han colaborado los arquitectos A. y J. Polak y los ingenieros A. Beckers y A. Joukoff y la oficina técnica del ingeniero V. Daniel.

Ingeniería Civil Belga. — A derecha e izquierda de la avenida de Bélgica se habían agrupado un conjunto de pabellones, en cuyos interiores se enseñaban diversas actividades industriales y comerciales belgas. De entre estas construcciones destacaba, por sus dimensiones, la punta gris de una gigantesca flecha inclinada. Al acercarse el visitante a esta original estructura de hormigón, apreciaba, fácilmente, su utilidad.

Para mostrar la actividad que la ingeniería civil belga ha desarrollado en ese país, el Prof. Willems, Director General de Puentes y Calzadas, ideó la construcción de un inmenso mapa en relieve de su patria,

en el que fuesen fácilmente visibles las principales obras construidas y en proyecto, tales como puertos, carreteras, canales, aeropuertos, etc. Dadas las grandes dimensiones que había de tener este mapa, resultaría sumamente difícil ver con detalles su parte central, situados los observadores en su contorno. Por este motivo, se proyectó la construcción de una pasarela, cuya planta en zigzag cubriese esa zona central. Con el fin de que no hubiese soporte alguno que se apoyase sobre el mapa, lo que quitaría vistosidad al conjunto, se impuso la condición de que la pasarela



estuviese colgada de una estructura superior que, por otra parte, debería ser una buena representación del nivel técnico alcanzado por los belgas en esa especialidad.

El prestigioso ingeniero Sr. Paduart, en colaboración con el arquitecto J. Van Doosselaere, ha resuelto tan difícil problema colgando la pasarela de una ménsula de hormigón armado de 80 m. de longitud.

La ménsula se apoyaba sobre uno de sus extremos en el suelo, y no volcaba gracias a un contrapeso hábilmente dispuesto. El conjunto pasarela, ménsula, contrapeso, es el que se muestra en alzado y planta en la figura 3.ª, y en la fotografía en la figura 4.ª.

A continuación, y de manera muy resumida, se describen las principales características de estos elementos, así como de las péndolas metálicas, que sirvieron para colgar la pasarela de la ménsula.

La pasarela, con su forma de línea quebrada en planta, tenía una longitud que estaba próxima a los 59 m. Su tablero era una losa de hormigón armado de 2,5 m. de anchura, que se apoyaba sobre las barandillas. Estas eran metálicas y funcionaban como vigas trianguladas. Los apoyos de estas vigas continuas de luces desiguales eran otras vigas metálicas transversales, que colgaban por medio de péndolas de la ménsula

producía una compresión sobre los tubos exteriores de unos 20 Kg./mm.². Al actuar la sobrecarga, la tracción en los tubos llegaba a valer 580 Kg./cm.², mientras que en los hilos de acero especial se llegaba a los 6 200 Kg./cm.².

La ménsula, que como se ha indicado antes medía 80 m. de longitud, presentaba la forma indicada en la figura 3.^a, con un canto variable que corresponde, aproximadamente, a la pieza de igual resistencia. Su sección transversal se asemejaba a una A invertida, como puede verse en el detalle de la citada figura. Esta sección iba reforzada con vigas de rigidez en

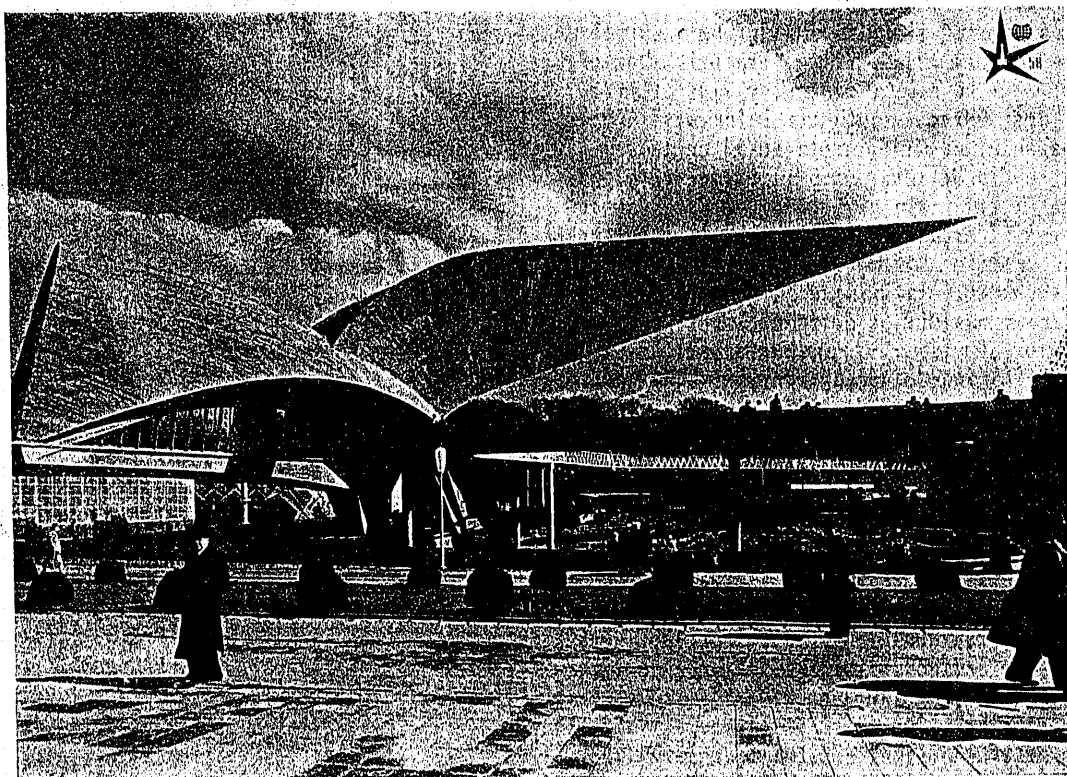


Figura 4.^a

anteriormente citada. Situada la pasarela a 5 m. sobre el nivel del suelo, se había previsto que sobre ella pudiera actuar una sobrecarga de 500 Kg./m.².

Las 16 péndolas tenían longitudes diferentes, que estaban comprendidas entre los 11 y los 23 m., tanto mayores cuanto más próximas estaban a la punta de la ménsula. Cada una de estas péndolas estaba constituida por un tubo de acero dulce de 25 mm. de diámetro exterior y 3 mm. de espesor de pared, que era pretensado por 3 hilos de acero especial de 7 mm. de diámetro, alojados en el interior del tubo. Cuando no actuaba sobrecarga alguna sobre la pasarela, la tensión en estos hilos era de 36 Kg./mm.², y con ella se

los bordes longitudinales y costillas transversales. El extremo inferior de la ménsula se reducía en sus dimensiones, hasta formar un triángulo de unos 3 m. de base y 1,50 de altura.

Es fácil suponer la dificultad que se presentaría si se quisiera empotrar una ménsula de tal longitud en el triángulo cuya dimensión se acaba de mencionar. Por ello, y para asegurar la estabilidad del conjunto, los autores del proyecto idearon alojar como contrapeso de la ménsula una sala triangular de unos 28 m. de lado, cubierta con una cúpula laminar de hormigón armado. Esta sala quedaba constituida como sigue: un forjado, que era de hormigón armado, de 12 cm.

de espesor, y que se apoyaba sobre seis vigas radiales. Las vigas tenían sus extremos concurrentes empotrados en la gran ménsula y sus otros extremos se apoyaban por medio de pendolones sobre un arco que ha sido señalado con la letra *A* en la figura 3.^a. El arco estaba constituido por el refuerzo de borde de la cúpula laminar, y sus reacciones en los extremos eran transmitidas nuevamente a la zona de empotramiento de la ménsula por medio de dos tirantes de hormigón pretensado, indicados con la letra *T*.

La cubierta, constituida por una serie de vigas trianguladas de una aleación de aluminio (cuya sección puede verse en la figura 6.^a), aparece forrada, tanto por encima como por debajo, con finas chapas también de aluminio, determinando un conjunto semejante a un ala de avión. Estas vigas, separadas unas de otras aproximadamente unos 11 m., quedan enlazadas entre sí por medio de una triangulación en cruz de San Andrés, construida con piezas muy esbeltas de la misma aleación de aluminio.

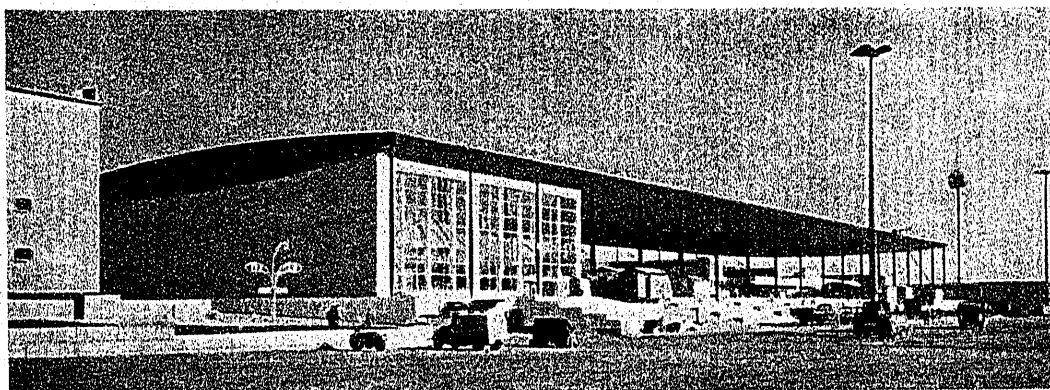


Figura 5.^a

Para aumentar las reacciones sobre estos tirantes se articularon al tercio de su luz las vigas que soportaban el forjado.

La cubierta de la sala-triangular se prolongó por uno de sus extremos hasta el terreno, formando dos patas, que rígidamente unidas en su cimentación al apoyo de la ménsula, constituían un trípode montado sobre pilotes, que daba al conjunto la necesaria estabilidad transversal.

Transportes. — Este pabellón se reduce realmente a una inmensa cubierta de 67×194 m. de dimensión en planta, apoyada sobre soportes de acero. El conjunto se aprecia en la figura 5.^a.

Los soportes de acero tienen unos 15 m. de altura y están articulados en sus dos extremos. La estabilidad transversal queda confiada a unos tirantes inclinados, compuestos por tres alambres de acero especial de 7 mm. de diámetro, que fueron postensados mediante unos resortes que se indican en la figura 6.^a.

Es interesante destacar que, gracias a la disposición adoptada y a los materiales utilizados, se ha logrado cubrir una superficie de tan grandes dimensiones con sólo 15 Kg. de material por metro cuadrado de planta.

El proyecto fué realizado en la Oficina de Estudios de A. Lipsky y ha sido galardonado con el Premio Reynolds.

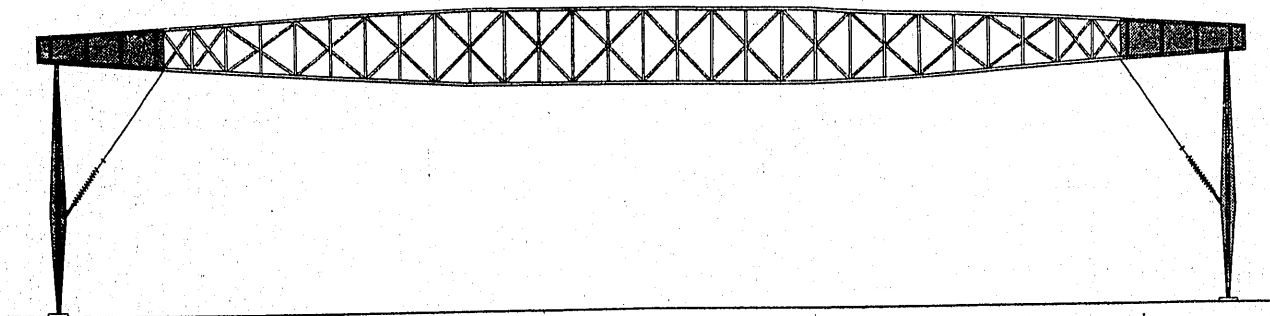


Figura 6.^a

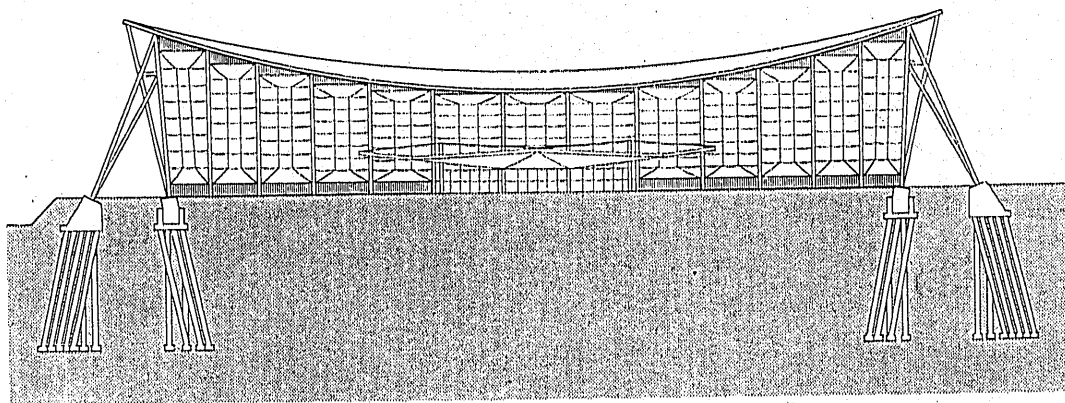
Organismos internacionales.

Naciones Unidas. — La estructura de este pabellón (fig. 7.^a), situado en la Plaza de la Cooperación Universal, es una lámina en casquete esférico, cortada por seis planos inclinados y apoyada sobre el terreno en seis puntos. El diámetro de la esfera a la que pertenece el casquete es de 56,75 m. y la base tiene 50 m. de diámetro, siendo su altura máxima de 15 m.

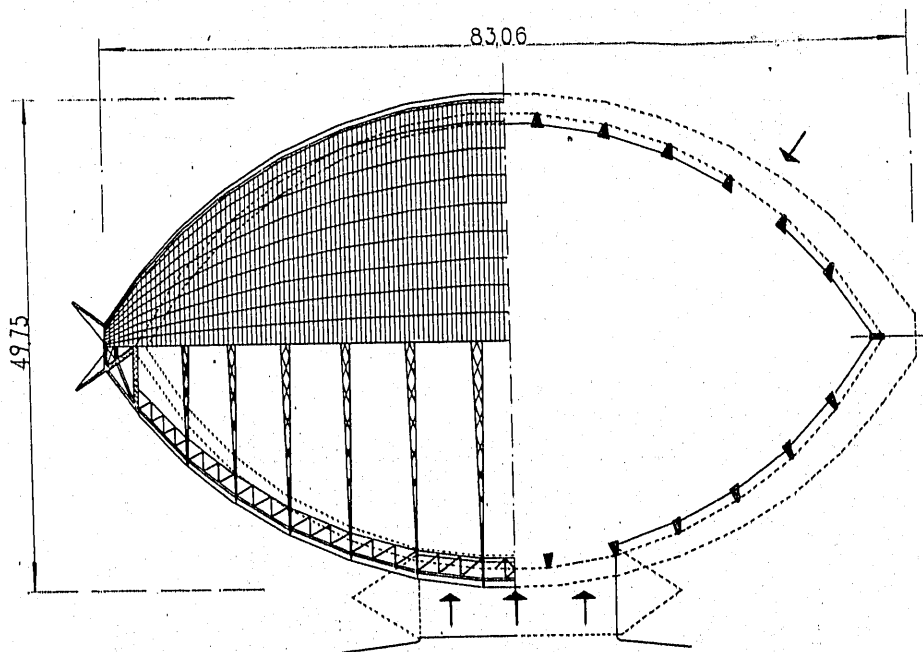
El estudio elástico de la cúpula ha permitido a los proyectistas fijar su espesor en 8 cm. Los arcos de rigidización de los bordes son de sección rectangular, variable de $0,40 \times 0,50$ en la clave a $1 \times 0,50$ en arranques.



Figura 7.^a



Alzado.



Planta.

Fig. 8.^a — Pabellón de la O.E.C.E.

Todo el conjunto se construyó en hormigón armado, sobre un encofrado de madera que se apoyaba en una cimbra formada por tubos de acero. La cantidad de acero empleada en la cúpula ha sido del orden de 10 Kg./m.². Las seis cimentaciones de los puntos de

Oficina Europea de Cooperación Económica (O. E. C. E.). — Este pabellón es obra del arquitecto K. Schwauzer y su cubierta es una estructura colgada, sustentada en sus vértices extremos por dos trípodos (figura 8.^a).

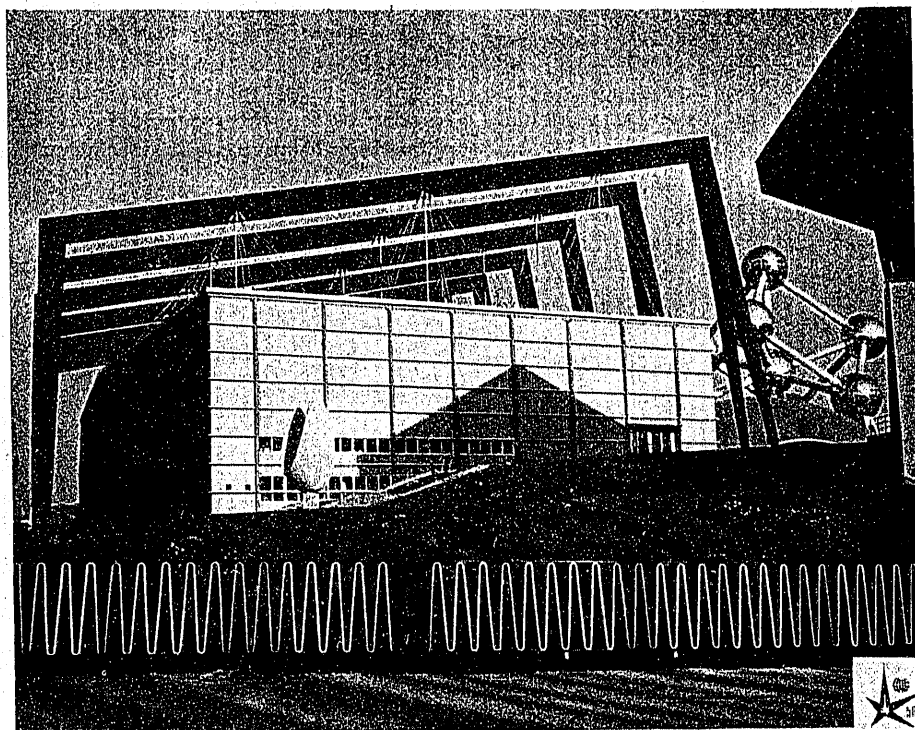


Figura 9.^a

apoyo están unidas por medio de tirantes, y cada uno de estos puntos apoya sobre dos pilotes.

En total se han colocado 224 m.³ de hormigón, de los cuales 58 corresponden a los arcos de rigidización de los bordes, 139 a la lámina propiamente dicha y el resto a los macizos de cimentación y hormigonado de los tirantes.

El contorno del edificio está limitado, en planta, por dos arcos de círculo y su silueta recuerda la de un barco.

La estructura de la cubierta está constituida por dos arcos metálicos triangulados, colocados sensiblemente horizontales, que se unen en sus dos extremos, encima precisamente de los dos trípodos que sus-

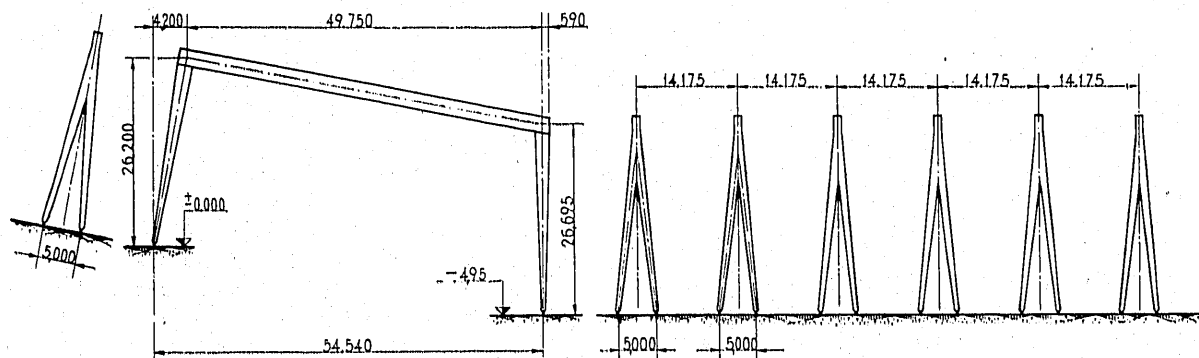


Figura 10.

tentan la cubierta. Sobre estos elementos se apoyan elásticamente otros que dan rigidez al conjunto.

Ancladas sobre los arcos van dos familias de cables que soportan la superficie de cobertura. En la planta puede verse la disposición de los cables y de los elementos citados.

La superficie interior mide 2 300 m.² y no tiene apoyos intermedios. Los cerramientos laterales son enteramente de vidrio.

La cimentación se ha realizado mediante pilotes y la estabilidad del conjunto está confiada a estos pilotes, que tienen 17 m. de profundidad y algunos de los cuales trabajan a tracción.

de acero, que simbolizan los seis países integrados en la C. E. C. A.

En la figura 10 puede verse el alzado de uno de los pórticos y la distribución de éstos a lo largo del edificio. Es fácilmente visible la disimetría en la forma de los pórticos, debida, en parte, a los desniveles del terreno de cimentación, y en parte, a motivos estéticos. Como puede verse en la figura, las patas de los pórticos van separadas para que puedan soportar los esfuerzos del viento y los esfuerzos asimétricos. Estos últimos no son iguales en los cuatro pórticos interiores que en los dos extremos; por este motivo, los extremos son más robustos y pesan 95

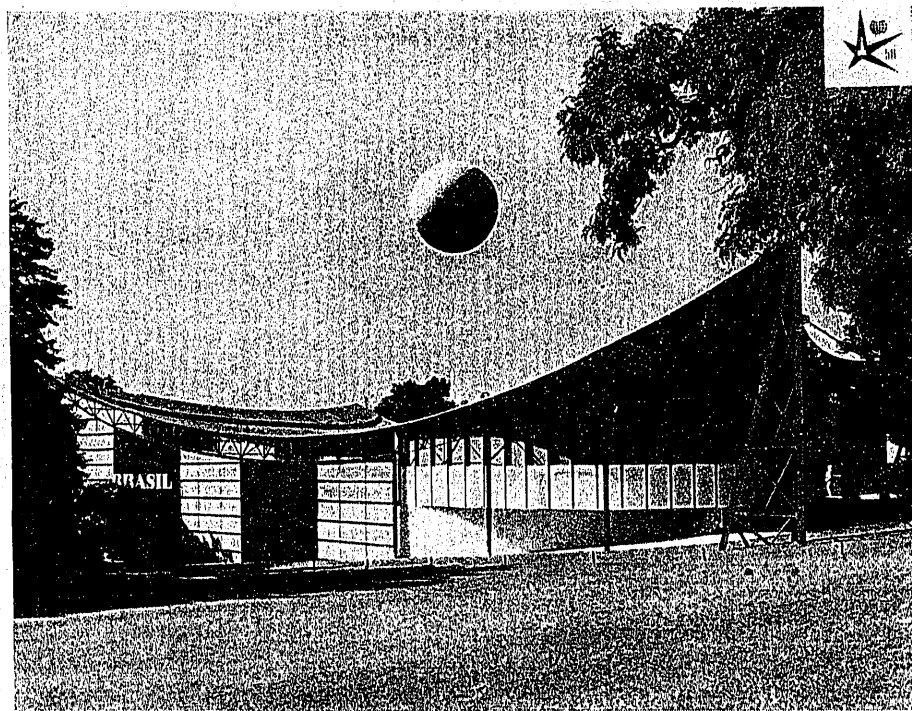


Figura 11.

Este edificio es una réplica del hemiciclo del Consejo de Europa en Strasburgo.

Comunidad Europea del Carbón y el Acero. — Con un proyecto de los arquitectos Delatte y Maquestien, se ha cubierto una superficie de 3 300 m.², con una estructura original que puede apreciarse en la figura 9.^a, que produce la impresión de un edificio totalmente colgado de unos pórticos metálicos. Esta conclusión no se ajusta a la realidad, pues la estructura de la parte interior del edificio está construida con hormigón armado o con fábricas de ladrillo, que se apoyan, directamente, sobre el terreno. Según esto, la que verdaderamente queda colgada es la cubierta, y de ella, los tabiques de fachada. Es como una gigantesca caja puesta boca abajo, colgada de seis pórticos

toneladas métricas cada uno, mientras que los interiores alcanzan un peso de 75 Tm.

La cubierta está formada por un emparrillado de vigas metálicas. Unas de 20 cm. de canto, que son perpendiculares a los pórticos y cuelgan de ellos. Sobre éstas hay otras vigas doble T del perfil núm. 12, cuyas uniones con las anteriores van soldadas. Se ha logrado así una cubierta metálica que pesa 40 Kg./m.².

Del contorno de la cubierta cuelgan las paredes que forman el cierre exterior y que está también constituido por un emparrillado metálico sobre el que se fijan paneles de vidrio o chapas metálicas onduladas de 1 mm. de espesor.

El empuje de viento sobre las paredes laterales es transmitido a la estructura de la cubierta, que lo distribuye entre los pórticos.

Países extranjeros.

Brasil.— Este pabellón presenta, quizá, la más expresiva de las cubiertas colgadas de la Exposición, ya que todos sus elementos resistentes están a la vista y la cubierta no tiene conexión con los cerramientos de las fachadas (fig. 11). Son autores del proyecto los arquitectos Sergio Bernándes y Nicolai Fikoff.

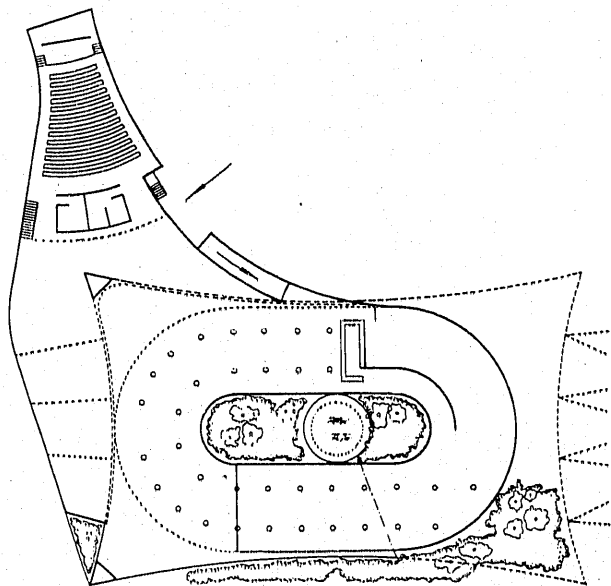


Fig. 12. — Pabellón del Brasil. Planta.

La planta del edificio (fig. 12) presenta una forma sensiblemente rectangular, de unos 60 m. de longitud por 25 de ancho. La parte más interesante del pabellón, como ya se ha indicado, es la cubierta colgada, que tiene los cables sustentantes en el sentido de la mayor dimensión de la cubierta (fig. 13). Sus cuatro bordes están rigidizados mediante vigas trianguladas de trazado curvo y construídas con tubos de acero, soldados en los nudos de triangulación.

La estabilidad del conjunto está confiada, fundamentalmente, a cuatro torres metálicas, también trian-

guladas, situadas en las cuatro esquinas del edificio, y a cuatro tensores inclinados, en cada una de las dos fachadas menores, que van anclados en el terreno.

La cubierta propiamente dicha está formada por un pequeño espesor de hormigón sobre un encofrado permanente de chapas de amianto-cemento.

Debido al poco peso de la estructura, era de temer que un viento fuerte pudiera levantar toda la cubierta; para evitar este peligro, se han dispuesto unos tensores verticales que la anclan al terreno.

La cubierta, en su parte central, presenta su concavidad hacia arriba, razón por la que se dispuso un agujero central de unos 6 m. de diámetro, reforzado circunferencialmente por un anillo metálico. Este agujero sirve para la evacuación de aguas en caso de lluvia fuerte y da directamente sobre un estanque situado en un jardín tropical que existe en el interior del pabellón. Esta abertura central se cierra mediante un balón, que puede levantarse a voluntad y deja libre el hueco para aumentar la iluminación.

España.— Sobre una planta de forma muy irregular, con diferencia de nivel, entre un lado y otro, de unos 6 m., los arquitectos R. Vázquez Molezún y J. A. Corrales han proyectado un pabellón compuesto por unidades hexagonales acopladas unas a otras, según exigían las necesidades de la planta. La estructura de cada una de estas unidades (fig. 14) está formada por un soporte de tubo, de uno de cuyos extremos salen seis ménsulas radiales de manera análoga a las varillas de una sombrilla. Sobre los perfiles radiales se apoyaba la cubierta de aluminio. Las fachadas quedan cerradas, en unos casos con paños de ladrillo visto y en otros por medio de tabiques de cristal con armadura de aluminio (fig. 15).

El aspecto logrado es sumamente atractivo y remitimos al lector interesado en este pabellón a la descripción que de él se hace en el número 198 de la *Revista Nacional de Arquitectura*, correspondiente a junio de 1958. En este artículo incluyen, además, bonitas fotografías del mismo, así como los comentarios y alguna crítica aparecidos en la prensa española.

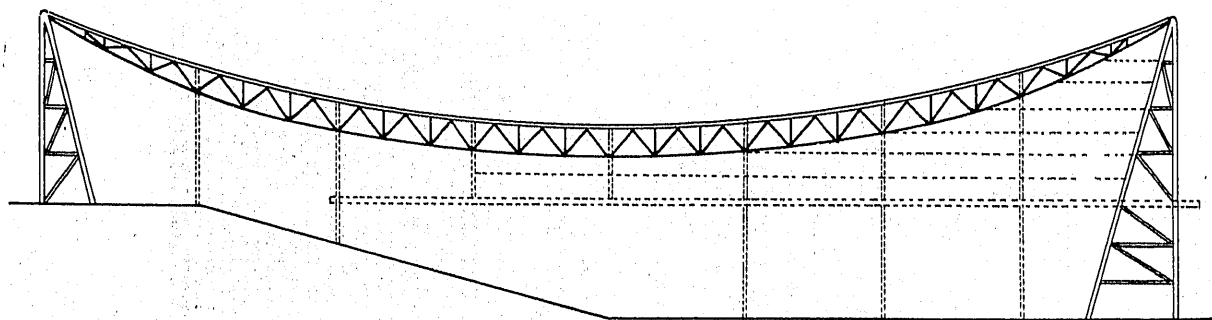


Fig. 13. — Pabellón del Brasil. Alzado.

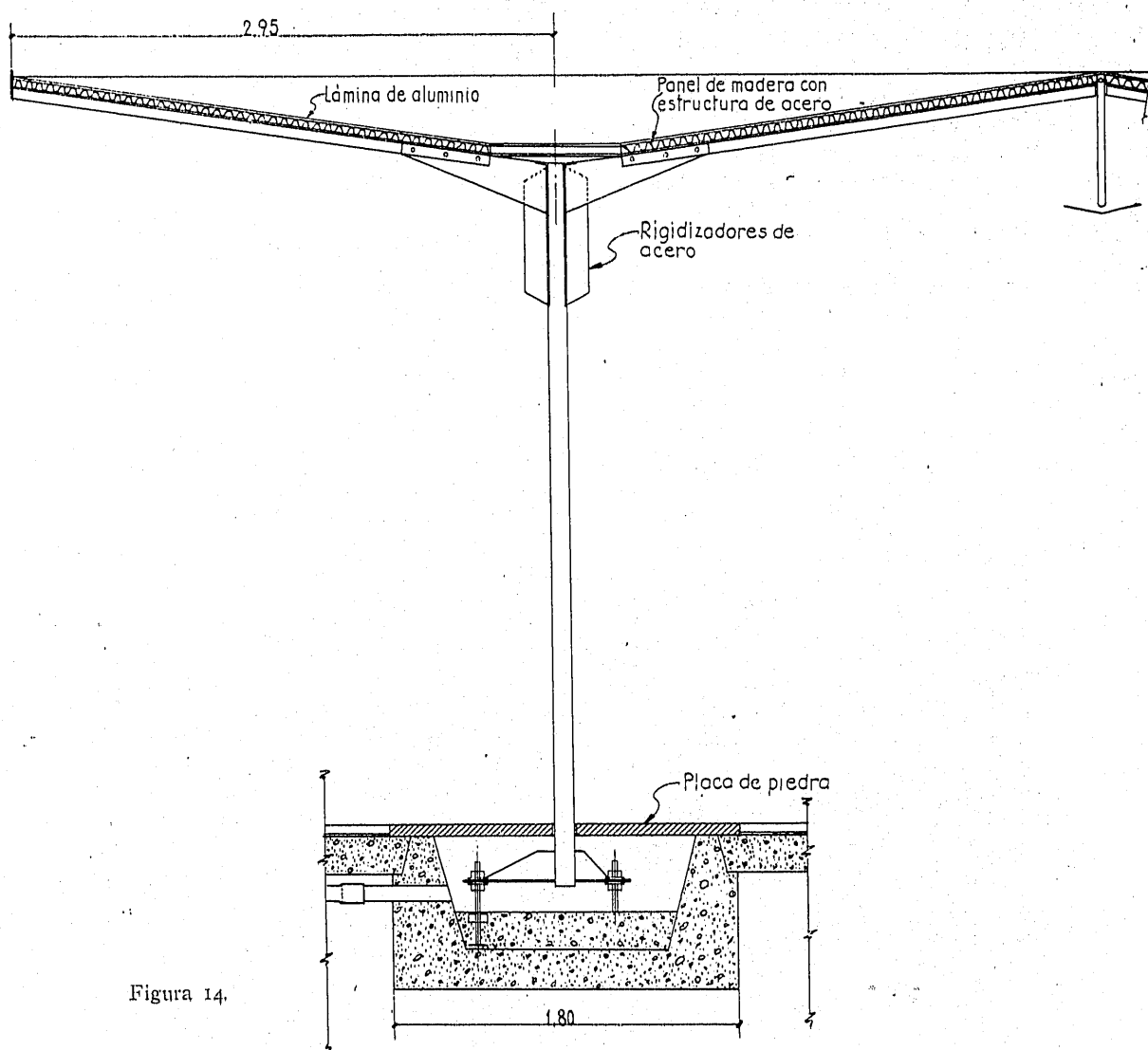


Figura 14.

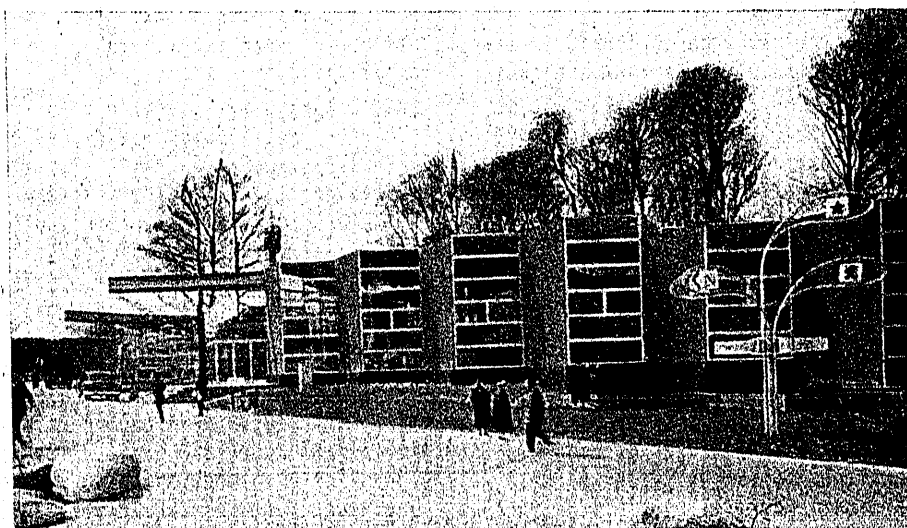


Figura 15.

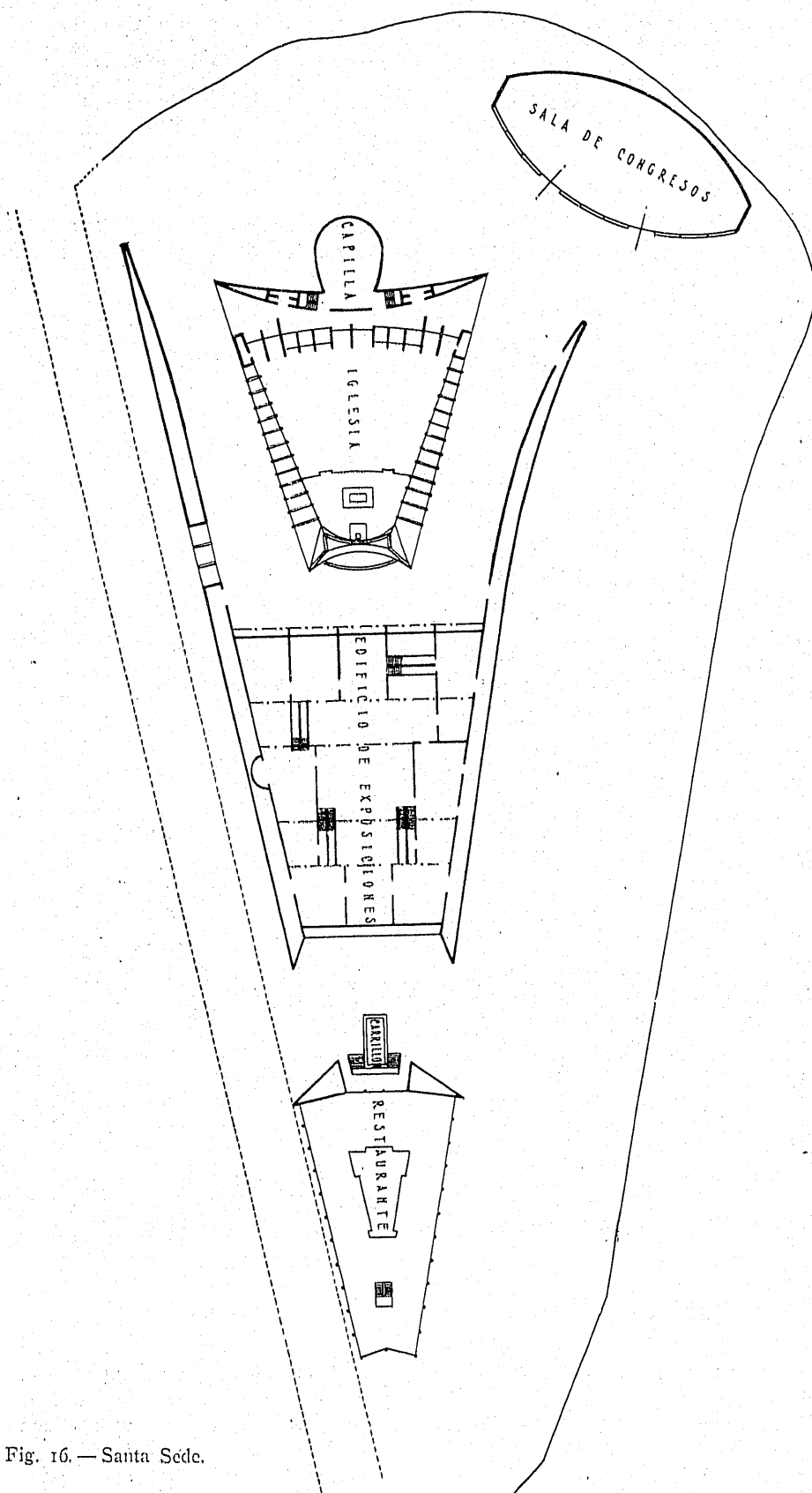


Fig. 16. — Santa Sede.

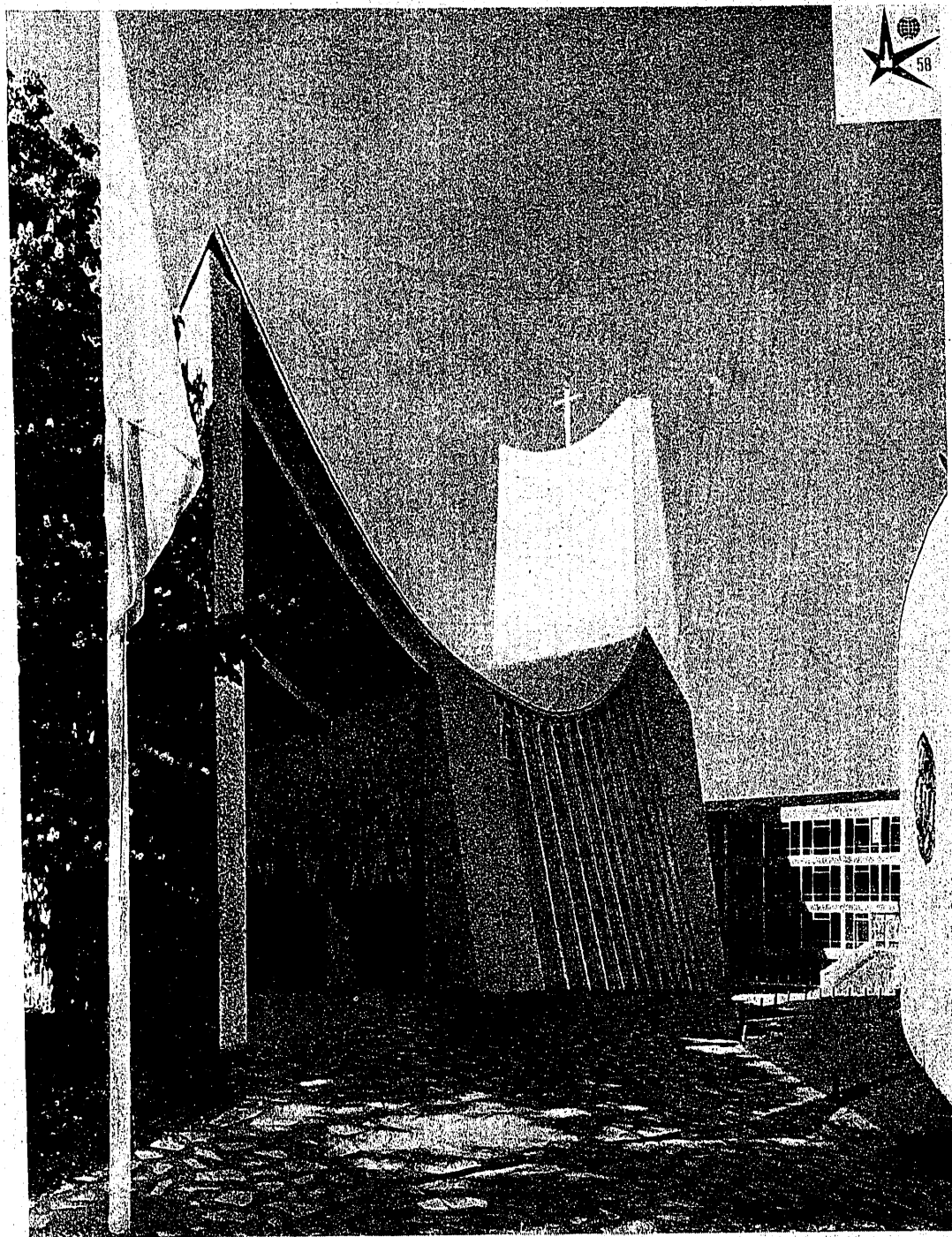


Figura 17.

Estados Pontificios. — Por primera vez la Santa Sede ha participado como Estado soberano en una exposición internacional. Habitantes de cincuenta y dos países han contribuido conjuntamente para hacer posible la presencia en la exposición de todo el orbe católico, representado por este Estado milenario.

El terreno que le asignaron (fig. 16) tiene sensiblemente la forma de un triángulo de base pequeña en relación con su altura, y se encuentra muy próximo a la "Entrada de las Naciones". Los dos lados mayores del triángulo están limitados por la Avenida de las Naciones y por la Pasarela.

Todo el terreno ha sido cercado por un muro con objeto de dejar en el interior un conjunto de edificios que constituyen la *Civitas Dei*. Este conjunto está constituido por una sala de congresos, la iglesia, el

donde se enclavan en la parte superior de unos pilares triangulares de madera clavada, dispuestos en arco de círculo en el fondo de la iglesia.

Tanto las fachadas laterales como la cubierta eran

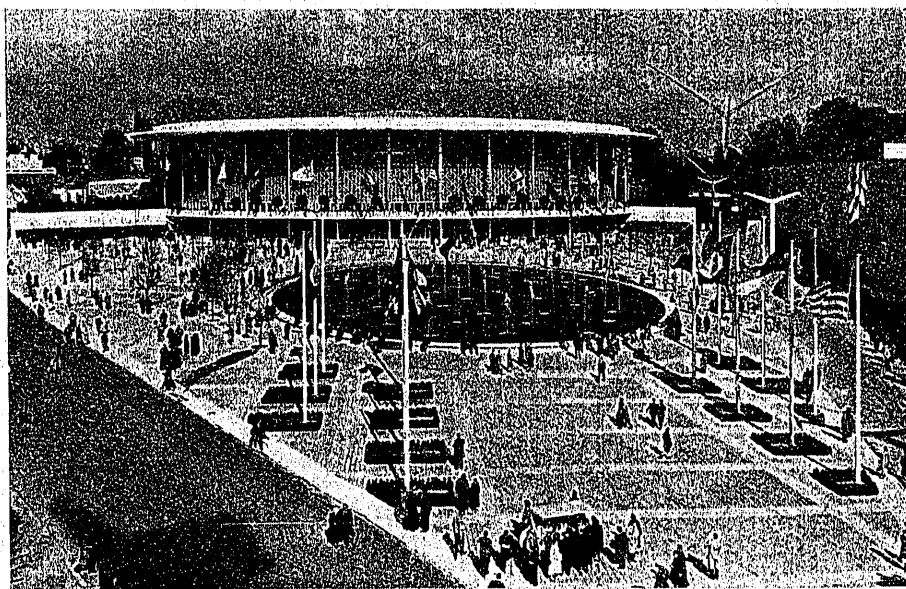


Figura 18.

edificio de exposiciones y el restaurante; entre estas dos últimas construcciones hay instalado un magnífico "carillón".

De todos los edificios citados, el más interesante, desde el punto de vista estructural, es la iglesia (figura 17), capaz para 2 500 fieles. Su forma en planta es sensiblemente la de un trapecio simétrico.

En la base menor se eleva un frontón de 58 m. de altura, que hace las veces de fachada principal y de campanario, y cuyo remate es una gran cruz luminosa.

La cubierta del edificio colgaba de once cables que iban desde el frontón citado a la fachada opuesta,

de madera. Entre todas las cubiertas colgadas de la Exposición era ésta la que tenía mayor pendiente.

El autor del proyecto ha sido el arquitecto P. Rome, que ha sabido sacar buen partido de un terreno que no ofrecía muchas posibilidades.

Estados Unidos. — Para hacerse idea de su forma, puede imaginarse un inmenso cilindro de eje vertical de 98 m. de diámetro y 20 de altura (fig. 18). La estructura de su cubierta se asemeja a una gigantesca rueda de bicicleta, cuyo eje de giro fuese coaxial con el del cilindro. La cubrición se logra por medio de finas chapas metálicas. Cada chapa cuelga de dos

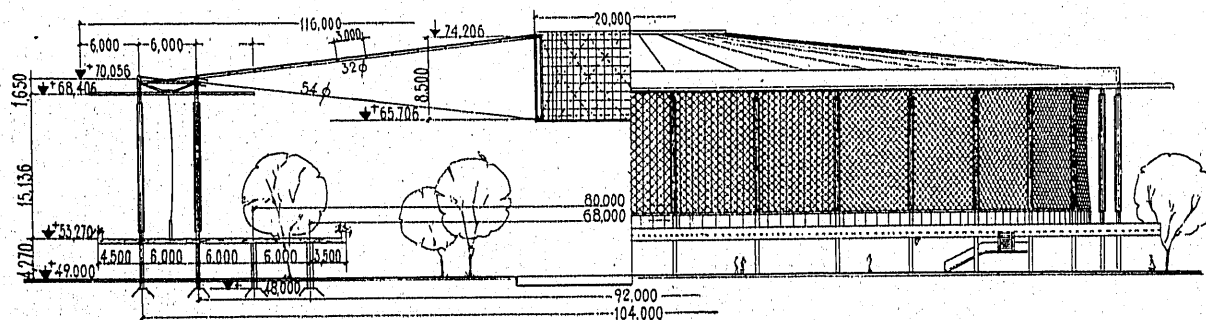


Figura 19.

radios contiguos de la familia superior, rodeandó por debajo al radio intermedio de la otra familia. El "bujé" de la rueda es una superficie cilíndrica metálica de 20 m. de diámetro y 8,5 de altura, que de manera análoga al *impluvium* romano deja al descubierto una zona central del pabellón. La posible entrada del agua de lluvia por este colosal agujero no molesta a los visitantes, pues a nivel del suelo y centrado con él han construido un estanque de 40 m. de diámetro; que utiliza como elemento principal de la decoración del conjunto. Como puede apreciarse en la figura 19, la estructura principal es muy sencilla.

inferior, pero esta solución fué desechada dado el considerable espesor necesario para resistir los empujes de viento. La pared construída está formada por placas de plástico de 3 mm. de espesor, sujetas por una gran malla triangular compuesta por finas tiras de acero, que fueron postensadas para dar rigidez al conjunto (véase la mitad derecha de la figura 19).

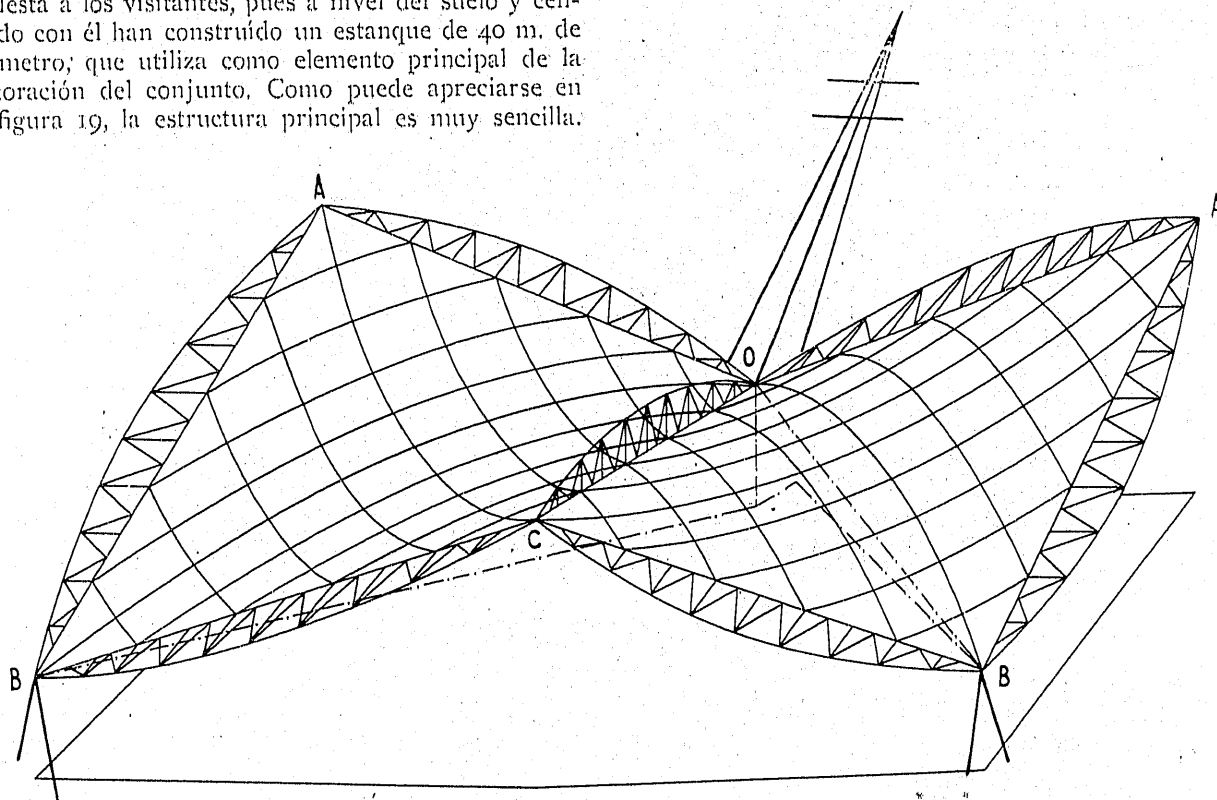


Fig. 20. — Pabellón de Francia.

Unos pórticos metálicos situados en planos radiales sirven para soportar un anillo metálico horizontal que corresponde a la llanta en el símil de la rueda. Los radios inferiores son cables de acero de 54 mm. de diámetro y los otros radios son cables de 32 mm. En una primera visión del conjunto, y puesto que la imaginada rueda de bicicleta está horizontal, parece que con los cables inferiores sería suficiente para soportar el tambor central. Sin embargo, esto no es así por dos causas principales: una, la conveniencia de evitar el cabeceo del cilindro central producido por empujes del viento; otra, la necesidad de impedir que la cubierta se elevase como consecuencia de succiones también producidas por el viento. Hay que destacar que entre el cilindro, los cables y las chapas de cubrición, el peso de la cubierta es de 22 Kg./m.².

También resulta interesante la solución adoptada para construir el cierre lateral, que es transparente. En principio parece que se pensó en una lámina de plástico sujeta únicamente en sus bordes superior e

Esta tensión se introdujo de una manera muy ingeniosa: En la malla triangular, uno de los lados es vertical y los otros dos se cruzan formando ángulos de 45 grados con la horizontal. Al construir la pared se colocaron los lados inclinados, como generatrices rectas de un hiperboloide de revolución cuya circunferencia de garganta resultaba algo menor que las de las bases. Al colocar en posición vertical la tercera familia de la malla (que tomaba la forma cóncava hacia el exterior) y tirar de sus extremos, entraban automáticamente en tensión los tres lados de cada triángulo, con lo que se conseguía una rigidez suficiente para soportar los empujes de viento, a pesar de su pequeñísimo espesor.

Francia. — Este pabellón cubre una superficie de 1 200 m.², prácticamente sin apoyos intermedios. Su planta define sobre el terreno dos rombos simétricos unidos por uno de sus lados, y que son la proyección de dos cuadriláteros alabeados, cuyos puntos bajos O

y B (figura 20) están situados a 17 m. de altura y cuyos puntos altos A y C se encuentran a 35 m. sobre el terreno.

La estructura comprende seis vigas de borde, que cierran los lados OA , AB y BC de los cuadriláteros alabeados; una viga central, situada en el lado común OC ; dos vigas diagonales OB , y la estructura triangulada de tubo de acero de las fachadas.

El conjunto resistente de la cubierta está formado por dos redes de cables de acero, tensados y anclados en las vigas que limitan los dos cuadriláteros alabeados. Estos cables se hallan dispuestos según dos familias de parábolas iguales; una de las familias permanece en planos paralelos a la diagonal mayor, con su concavidad dirigida hacia el exterior del edificio, y sirve para sustentar la cubierta. La otra familia se conserva en planos paralelos a la diagonal menor del cuadrilátero, con su concavidad dirigida hacia el interior del edificio, y proporciona rigidez a los cables anteriores. En su conjunto, definen dos paraboloides hiperbólicos. Cada cable rigidizante está formado por seis alambres de acero de alto límite elástico y 7 mm. de diámetro, y cada sustentante por ocho alambres del mismo diámetro. Después de tensados los cables rigidizantes y sustentantes, en todos sus puntos de cruces se colocaron unos elementos de fijación que impedian el deslizamiento de unos sobre otros.

Las vigas de borde OA , AB y BC son metálicas trianguladas; sus cabezas interiores son rectas y las exteriores de perfil parabólico. Tienen 70 metros de longitud y sobre cada una de ellas se anclan 39 cables. De cada punto de anclaje en las vigas de

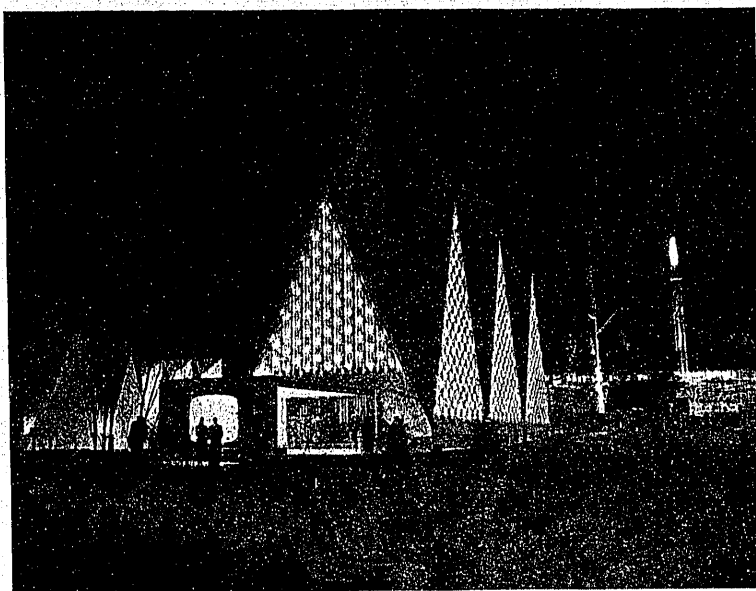


Figura 22.

borde salen dos cables, uno rigidizante y otro sustentante.

La viga axial OC también es triangulada, de sección variable y con cabeza inferior recta.

Las vigas de contorno están semiarticuladas en su unión, de manera que el elemento constituido por dos de ellas, bien la OA y AB o la OC y CB , funciona como una estructura triarticulada, en la que los esfuerzos horizontales son resistidos por las vigas diagonales OB , que tienen una longitud de 94 m., con cordones rectos y sección transversal triangular variable.

La estructura tiene solamente tres apoyos: uno principal O , que recibe la mayor parte de los esfuerzos y que está constituido por un gran macizo de cimentación de hormigón armado y forma piramidal, donde van anclados los elementos metálicos y donde convergen las vigas OA , OB y OC , y dos secundarios que recogen los esfuerzos en los puntos B y que mediante dos soportes en ángulo transmiten los esfuerzos al terreno.

En la figura 21 se puede ver una fotografía del exterior del pabellón.

Las estructuras de tubo de las fachadas están previstas principalmente para absorber los esfuerzos de viento sobre los paramentos exteriores y las desigualdades de esfuerzos en la cubierta debidos también a la acción del viento.

En la fachada Norte del edificio y anclado en el macizo central O , se eleva a 65 m. de altura una aguja metálica.

La cimentación se realizó mediante pi-

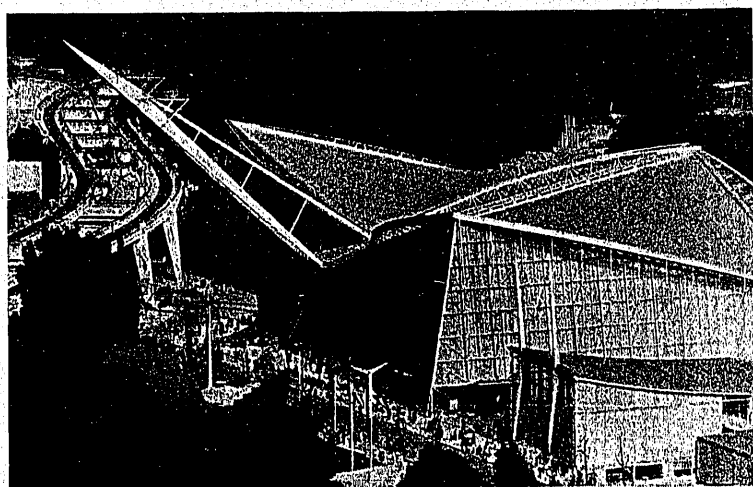


Figura 21.

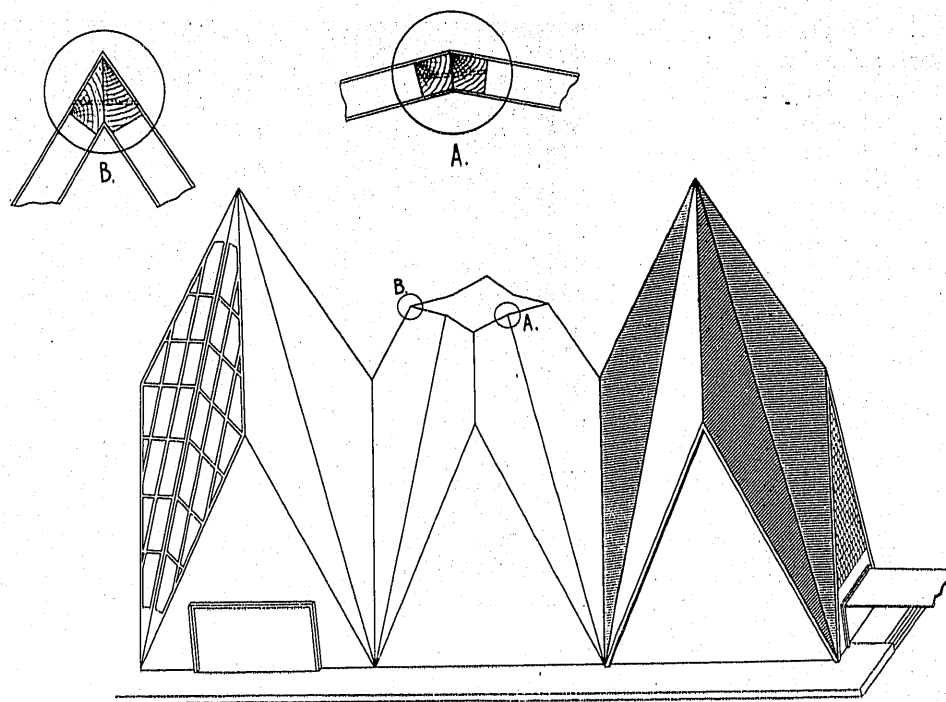


Figura 23.

lotes prefabricados, hincados, de 20 m. de longitud.

Este pabellón, cuyo autor ha sido el arquitecto G. Guillet, en colaboración con los ingenieros Lafaille, Vallée y Sarger, ha requerido 70 000 m.³ de movimiento de tierras, 700 pilotes de 20 m. de longitud, 6 500 m.³ de hormigón armado, 3 000 toneladas de acero y del orden de un millón de horas de operario.

Gran Bretaña, el Pabellón de la Corona. — Entre los distintos edificios e instalaciones que componen la exhibición británica en la Exposición, destaca por su forma original el pabellón que los ingleses denominan "La sala de la tradición".

Esta sala es rectangular en planta de 33 m. de larga por 11 m. de ancha y su altura máxima es de unos 20 m. Su forma es la repetición por triplicado de una cubierta compuesta por ocho triángulos adosados unos a otros, constituyendo un cuerpo que puede recordar algunos cristales mineralógicos, aunque más se parece a una de las múltiples figuras que pueden obtenerse haciendo dobles con un papel (figura 22).

En cada elemento de la cubierta, los ocho triángulos están unidos, dos a dos, por su lado común. Estos triángulos quedan compuestos por dos tableros de madera de 6 mm. de espesor, separados 15 cm. por unos rastreles, también de madera. El material está protegido en sus superficies exterior e interior con una pintura especial resistente al fuego.

Las armaduras de cada dos de los triángulos consecutivos de los que forman ángulo obtuso (Sección A de la fig. 23), fueron unidas para constituir un elemento que se montó en la Exposición con la ayuda

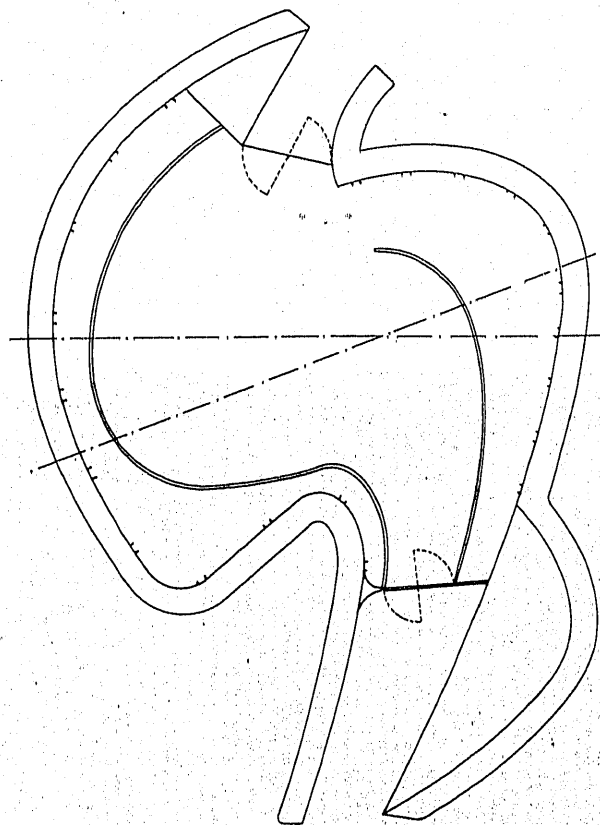


Fig. 24. — Pabellón de Philips. Planta.

de una simple grúa sin necesidad de cimbra. Cada dos elementos contiguos, se unían en obra en la forma indicada en la Sección B. Resultaba así construida la estructura, cuyos cuatro puntos inferiores quedaron articulados sobre la cimentación. El pabellón aparecía cerrado lateralmente por medio de ocho paneles triangulares verticales, de construcción análoga a la descrita.

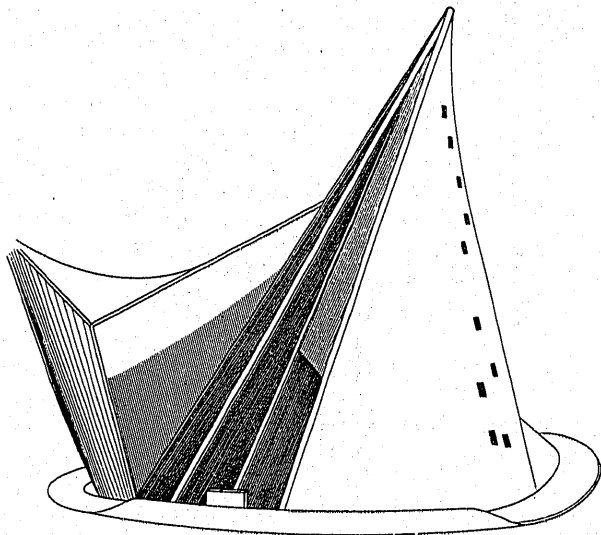


Fig. 25. — Pabellón de Philips. Perspectiva.

Como puede verse en la figura 23, se entraba al pabellón por una puerta situada en uno de los lados cortos, mientras que se salía por uno de los triángulos laterales más alejados de la puerta de entrada.

Los tres triángulos contiguos que están iluminados en la figura 22 iban provistos de cristales redondos, en colores oscuros, que proporcionaban una iluminación diurna muy tenue en el interior.

Los arquitectos autores del proyecto fueron Howard V. Lohb & Partners.

Países Bajos. El Pabellón de la Casa Philips. —

En su forma recuerda una gran tienda de campaña levantada sobre una planta como la indicada en la figura 24. Tiene alrededor de 400 m.² de superficie en planta, sobre la que destacan tres vértices o picos de 20, 18 y 13 m. de altura, respectivamente.

Mucho se ha discutido y seguirá discutiéndose la estructura de este pabellón, que sin lugar a dudas presenta la forma más revolucionaria de cuantas hemos visto en la Exposición. No es razonable juzgar el acierto o desacierto de su elección, sin conocer muy a fondo todo el programa inicial de proyecto, donde las condiciones acústicas y de alumbrado han debido jugar un importantísimo papel para la elección de la superficie envolvente. Esta superficie quedaba formada por doce zonas, pertenecientes a otros tantos paraboloides hiperbólicos, unidos entre sí mediante generatrices rectas (fig. 25).

Las generatrices de unión de dos paraboloides contiguos, se materializan en unos elementos de sección circular de 40 cm. de diámetro, por intermedio de los cuales se transmiten al terreno los esfuerzos de borde de las doce láminas, que tienen un espesor de 5 cm. Este espesor mínimo parece que ha venido obligado por exigencias acústicas.

Todas las láminas que constituyen las paredes y cubierta del edificio se han postensado mediante alam-

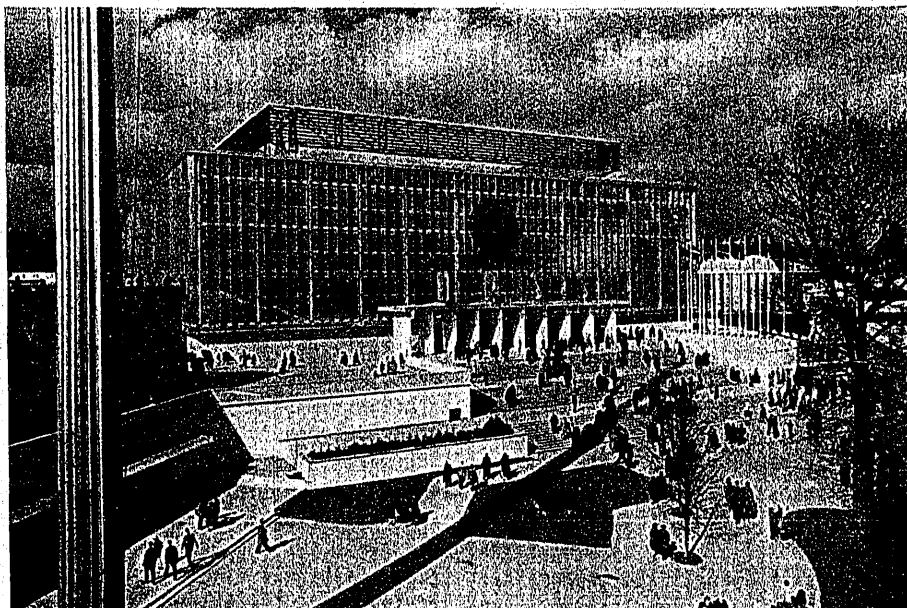


Figura 26.

bres de acero especial de 7 mm. de diámetro, siguiendo el trazado de las dos familias de generatrices rectas de cada uno de los paraboloides.

La ejecución material de una estructura como la que nos ocupa, formada por una gran superficie de muy pequeño espesor y con paredes casi verticales o muy inclinadas, hubiese presentado dificultades prácticamente insuperables si se hubiese intentado realizar por los sistemas tradicionales de construcción. No

gulo que forman dos generatrices rectilíneas de distinto sistema.

Los elementos de borde llevan una armadura helicoidal para resistir las torsiones a que están sometidos y un postensado longitudinal para disminuir las tracciones.

El autor del proyecto ha sido el arquitecto Le Corbusier, y con él han colaborado el matemático B. Lafaille y el ingeniero H. C. Duyster.

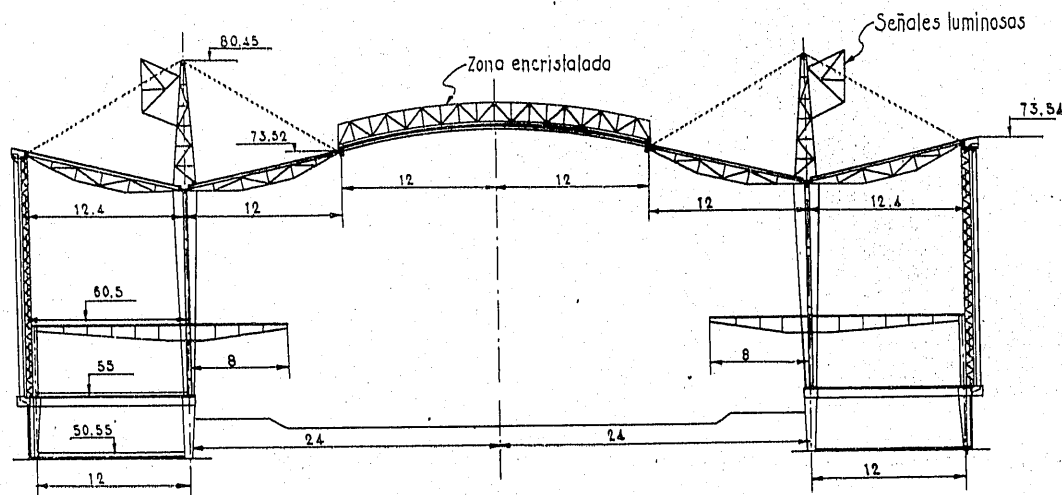


Figura 27.

obstante, la prefabricación y el postensado han hecho posible su realización.

Los elementos cilíndricos de borde se han ejecutado de hormigón armado *in situ*. Después de desencofrados, se ha levantado un andamiaje general, con objeto de sostener los elementos prefabricados que constituyen las superficies de cierre. Estos elementos eran placas de hormigón ligeramente armado, con los cuatro bordes rectos, un espesor de 5 cm. y de un área aproximada de 0,75 m.². Su colocación se realizó dejando una junta de un centímetro de espesor alrededor de cada una de ellas.

Después del relleno de las juntas, se efectuó el postensado que, en principio, parece que los autores pensaron llevar por la cara interior de los elementos prefabricados; sin embargo, como no les fué posible comprobar experimentalmente, por falta de tiempo, si este esfuerzo excéntrico producía unas tensiones secundarias admisibles, procedieron a colocar parte del postensado por la cara exterior, dejando los alambres al descubierto.

Aparte de los alambres de postensado anclados en los elementos cilíndricos de borde y que siguen las generatrices rectilíneas de la superficie, aparecen en algunas zonas otros alambres con trazado curvo en dirección sensiblemente normal a la bisectriz del án-

Se han realizado ensayos en modelo reducido de la estructura en el Laboratorio de la Universidad de Delft.

Rusia. — Sobre una planta de forma rectangular de 150 X 70 m., los arquitectos Boretsky, Abramov, Darbov y Polansky han proyectado un edificio de forma prismática (fig. 26), con fachada de cristales, sujetos éstos por emparrillados de aluminio soldado.

La cubierta de esta gran nave es translúcida en su parte central y opaca en el resto. Está soportada por dos filas de pilares de acero, que son paralelos a los lados mayores del rectángulo, quedando los pilares separados unos 12 m. de dichos lados. A 20 m. de altura se articulan en estos soportes metálicos dos vigas trianguladas, cuyos extremos libres cuelgan del mismo soporte por medio de cables en la forma indicada en la figura 27. Los extremos libres de las vigas exteriores sirven de sujeción a los emparrillados de fachada, mientras que de los extremos interiores cuelgan unos arcos triangulados, que sirven para resistir el peso de la parte encristalada de la cubierta, que mide 100 X 24 metros.

La rigidez longitudinal y transversal está confiada a la estructura metálica de los pisos inferiores y a unos arriostramientos que unen las partes altas de

los soportes. Aparentemente, estos arriostramientos sirven para sujetar los aparatos eléctricos utilizados en la iluminación exterior del pabellón.

Después de clausurar la Exposición, según se ha anunciado, este pabellón será desmontado y trasladado a Moscú para ser nuevamente construido y servir como Palacio de Exposiciones con carácter permanente; quizá este sea el motivo por el que han dejado visible una gran parte de la estructura metálica, lo que restaba belleza al conjunto.

En una exhibición como la que nos ocupa, en la que es posible estudiar más de cien soluciones distintas al problema de proyectar y construir un pabellón para una exposición, parece fácil destacar tendencias que marcasen un estilo o una orientación extrapolable a la vida corriente. O sea, que resultarán aplicables al proyecto de una estructura concebida para cubrir un gran espacio, ya fuera el necesario para instalar una fábrica o un recinto deportivo. Desgraciadamente esto no es así por varias causas.

Las soluciones a que se ha llegado son muy heterogéneas, pero también los datos lo eran. En unos casos se ha pretendido lograr un gran espacio cubierto exento de tabiques interiores; mientras que en otros se ha supeditado la división interna a motivos estéticos o a circunstancias económicas. Unos países han querido ser fieles a una tradición constructiva y se han ceñido a un material para la cubierta o los

paños de fachada, mientras otros buscaban la espectacularidad con grandes cierres de cristal o plástico, magníficos en una exposición, pero que serían inadecuados en climas con temperaturas extremas. Cualquiera de estas premisas ejerce su influencia en la solución encontrada, como también ha influido en los pabellones extranjeros la conveniencia de llegar a una solución fácilmente desmontable que permitiera ser utilizada en otro lugar o en la que pudiera recuperarse gran parte del material empleado.

En líneas generales, parece que se ha utilizado la estructura metálica con mayor profusión que las de los restantes materiales, aunque esto puede ser una consecuencia del carácter provisional de estas construcciones. También se ha visto una marcada tendencia a cubrir grandes recintos con estructuras colgadas (U. S. A., U. R. S. S., Francia, Vaticano, Brasil, Cooperación Europea, etc.) que participan de la ventaja de ser desmontables.

Los años venideros mostrarán quiénes han acertado al marcar nuevos caminos o nuevas soluciones.

Los autores desean mostrar su gratitud al Servicio Fotográfico del Comisariado General del Gobierno Belga en la Exposición, por su amabilidad al proporcionarles una gran parte de las fotografías publicadas en este artículo, así como a don Antonio Sánchez Vegas por su ayuda en la preparación de los dibujos.