

# cúpula ondeada premoldeada con elementos pretensados

Ing. Horst Berger

Traducido de Journal of  
American Concrete Institute  
Marzo de 1966

Horst Berger, miembro del A. C. I., es un asociado de la firma "Severud-Perrone-Fischer-Conlin-Bandel, ingenieros consultores" de Nueva York. Hasta 1958 el Sr. Berger era ingeniero estructural en la firma "Ways y Freytag, ingenieros contratistas", de Alemania.

Desde 1958 hasta 1960 fue jefe del departamento estructural de la firma "F. H. Kocks, ingenieros consultores" de Teherán, en Irán.

En la firma Severud y asociados, el Sr. Berger ha sido responsable del diseño de una gran variedad de puentes, edificios y estructuras cáscara. El ingeniero Sr. Berger es autor además, de varias colaboraciones a publicaciones alemanas de ingeniería, como también al Journal del A. C. I.

*Se usa hormigón armado premoldeado y moldeado in situ para armar la estructura principal del techo del nuevo estadio de la Universidad de Virginia. Los elementos premoldeados se construyen en obra. Hormigón moldeado in situ y barras postensadas, aseguran un comportamiento monolítico. El anillo de tensión es postensado por un sistema de envoltura de alambre. Se describe el diseño y construcción de esta estructura.*

La estructura principal del grupo cuidadosamente coordinado de los nuevos edificios del estadio de la Universidad de Virginia, es el estadio cubierto de 8.500 asientos. Es un edificio circular techado con una estructura de hormigón en forma de cúpula de 84,5 m. de luz. El

diseño y la construcción de esta estructura de techo es el objeto de este artículo.

La cúpula se soporta con 32 pilares colocados en círculos con un diámetro de 84,5 m. que soportan también la armazón interior. Los nervios de arco premodelados que se apoyan en las columnas transmiten su empuje a un anillo de tensión postensado —en la periferia— y a un anillo de compresión —en el centro— ambos moldeados in situ (Fig. 3). Se colocan cascos livianos premoldeados entre los arcos, produciendo la superficie ondulada que con tanta belleza compite con los cerros de Virginia.

## Elementos Estructurales

El sistema estructural básico se muestra en

los diagramas de la Fig. 1. La presión de los cascos se traduce en una carga vertical de arco, cuya componente horizontal es recogida por los anillos y la resultante vertical por el pilar.

En cuanto a la carga fija o peso propio, el sistema debe crear únicamente esfuerzos axiales. La flexión es producida por las cargas accidentales, y en un menor grado, por los cambios en las fuerzas pretensoras debidas al deslizamiento y a la contracción.

#### Cascos

Los cascos (8 en cada uno de los 32 segmentos) tienen una sección transversal circular de radio constante normal al eje del arco y en la dirección radial se modelan siguiendo la curvatura del arco (Fig. 2). Nervaduras tangenciales curvadas atiesan los bordes de los cascos y forman la junta entre los cascos. La unión entre los cascos y los nervios de arco se

hace por medio de una lechada de cemento para juntas (Fig. 3) en la que el refuerzo de ambos arcos y de los cascos se prolonga, estableciendo de este modo en la práctica un sistema monolítico. Los cascos livianos de concreto de 75 mm. se reforzaron con dos capas de malla de alambre soldada.

#### Nervios de arco

Los nervios de arco son elementos premoldeados de hormigón de  $351,53 \text{ Kg/cm}^2$  y armados con 6 barras N<sup>o</sup> 11 en la parte inferior y en la superior, como se muestra en la Fig. 3. La sección del nervio de arco tiene un ancho constante de 500 mm. y una altura que varía de 1050 mm. en el pilar a 750 mm. en el anillo de compresión. El eje de los elementos de 35 m. de longitud se modeló de acuerdo a la línea de empuje calculada para la carga fija. El nervio de arco se diseñó también para actuar como viga durante varias etapas de la construc-

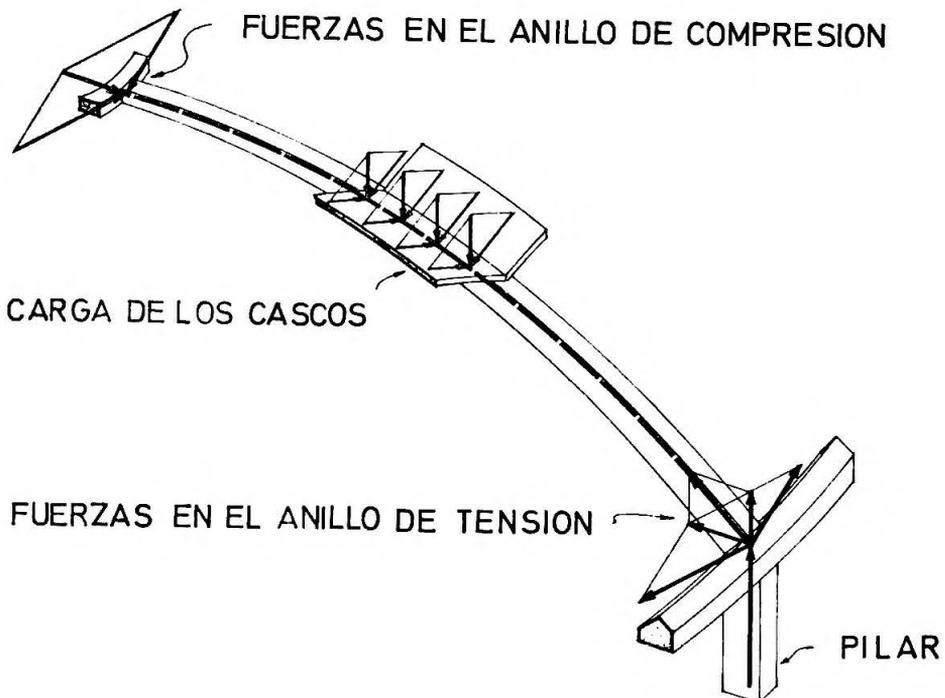


FIG.1 DIAGRAMA DE FUERZAS DE LA ESTRUCTURA DE TECHO DE HORMIGON.

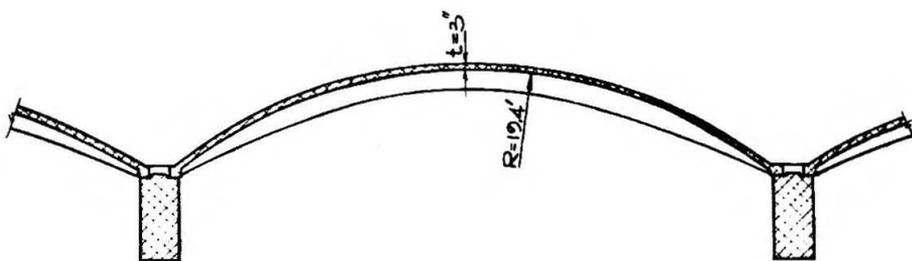


FIG. 2a SECCION TRANSVERSAL DE UN CASCO

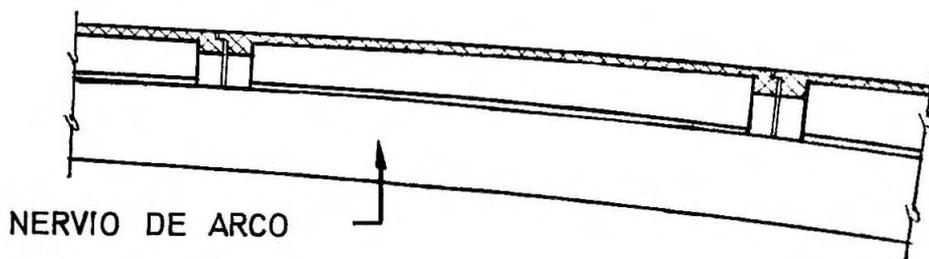


FIG. 2b SECCION LONGITUDINAL DE UN CASCO.

ción y para soportar la flexión producida por cargas desequilibradas de nieve y viento (Fig. 4).

Se estableció continuidad completa en el centro prolongado el refuerzo principal de los nervios de arco en el anillo de compresión construido in situ (Fig. 3b). Para conseguir la continuidad en el extremo inferior se dejaron ranuras verticales en el anillo de tensión sobre cada pilar para recibir las prolongaciones de las barras de los nervios de arco que fueron postensadas después de colocar los nervios y rellenar con lechada de cemento las ranuras (Fig. 3c).

#### Anillo de compresión

El anillo de compresión, una caja hueca en forma de rosca atiesada por un sistema de nervios en forma de estrella, está sometido a cargas axiales, flexión y torsión. También soporta una linterna circular arriba del techo y una plataforma escalonada abajo.

#### Anillo de tensión

El anillo de tensión fue proyectado para ser postensado por un sistema de envoltura de alambre. La fuerza inicial postensadora de 1.180 t.

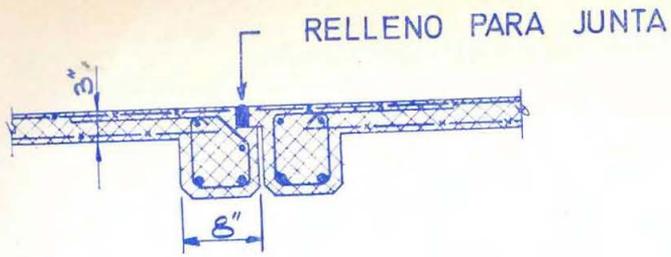


FIG. 2c DETALLE DE JUNTA DE CASCOS

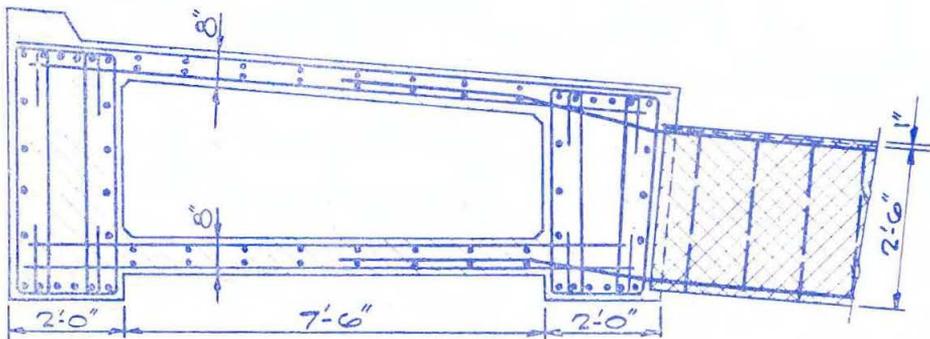
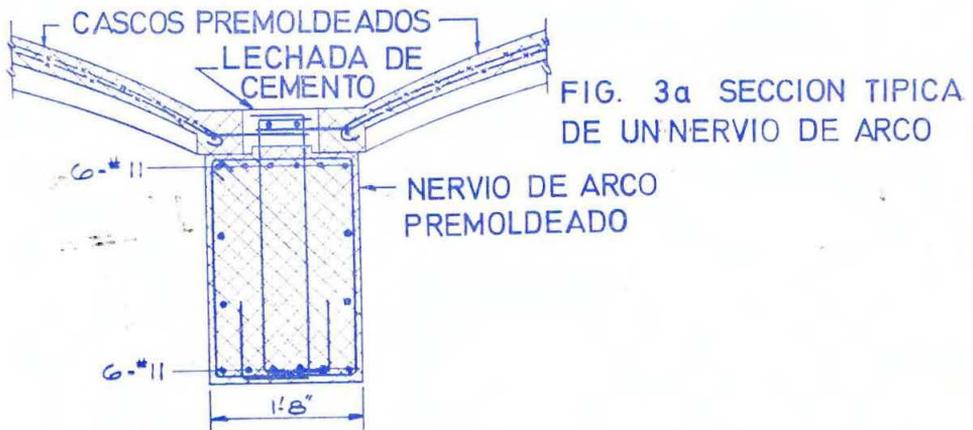


FIG. 3b DETALLE DE LA UNION DEL ANILLO CENTRAL

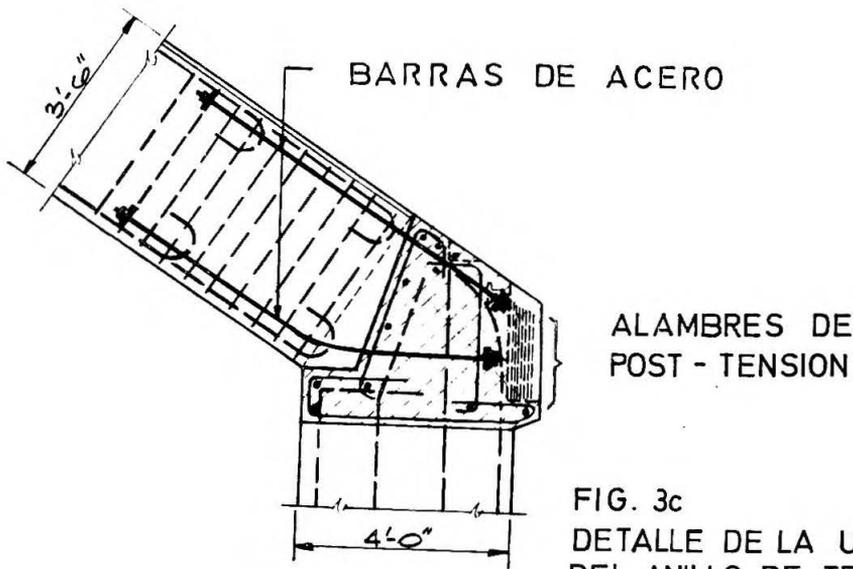


FIG. 3c  
DETALLE DE LA UNION  
DEL ANILLO DE TENSION

contrarresta la presión de la cúpula y garantiza la compresión del hormigón del anillo en cualquier momento. El alambre de postensión (597 alambres de 4,8 mm. de diámetro distribuidos en 10 hileras) sigue un polígono de 32 lados con vértices en los pilares donde las barras espaciadoras determinan la ubicación adecuada. Se especificó una fatiga de ruptura de 14.700 Kg/cm<sup>2</sup> para el alambre.

#### Construcción

Se empezó la construcción con los pilares exteriores construidos in situ, siguiendo con los segmentos del anillo de tensión. Al mismo tiem-

po se vaciaron los nervios de arco en dos moldes de premoldeado. En el centro y en un punto de apoyo intermedio de los nervios de arco, se levantaron torres provisionarias de cañerías de acero. Los nervios de arco de 50 tons. de peso aproximado, se levantaron hasta su posición definitiva con dos grúas. Después que se ubicaron todos los nervios de arco en su lugar (Fig. 6), se rellenaron con lechada de cemento los asientos de los nervios en las columnas y las franjas entre barras, y se tensaron las barras de trabazón. En seguida se moldeó el anillo central. Los cascos que se habían vaciado en dos moldes de greda para hormigón, se colocaron en seguida en anillos concéntricos

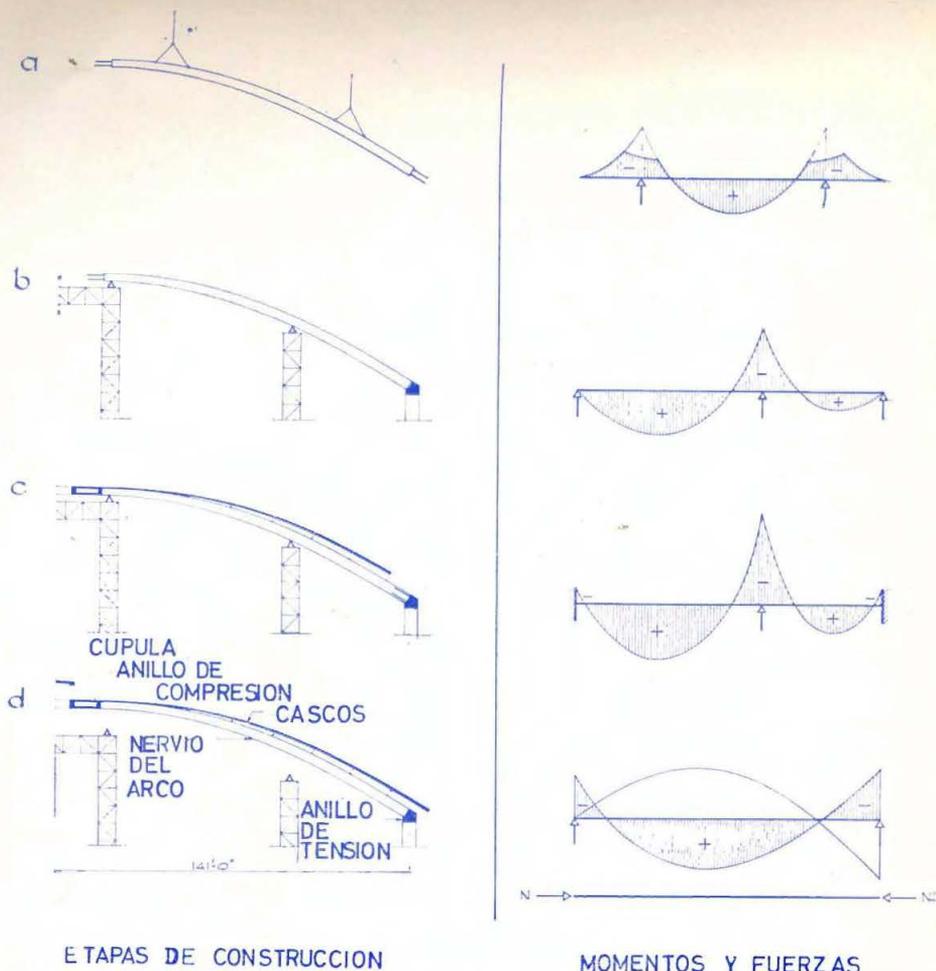
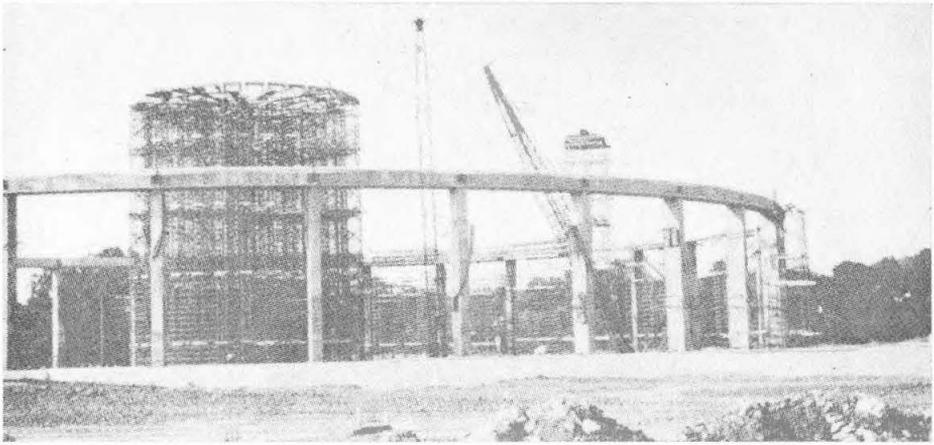


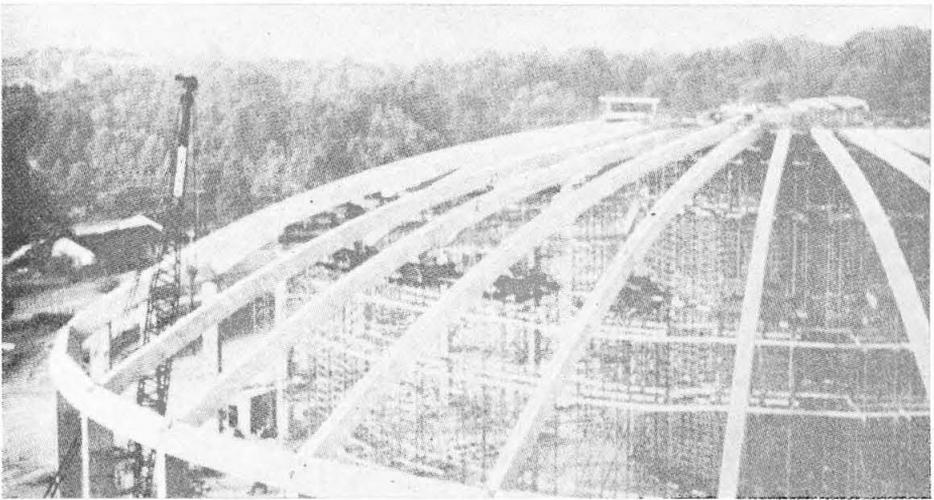
FIG. 4 ETAPAS DE LA CONSTRUCCION DE UN NERVIO DE ARCO: a) NERVIO DURANTE EL LEVANTAMIENTO b) NERVIO DESCANSANDO EN APOYOS PROVISORIOS c) NERVIO CONECTADO A LOS ANILLOS Y CARGADO CON LOS CASCOS d) NERVIO DE LA CUPULA CON LOS MOMENTOS PRODUCIDOS POR CARGAS ACCIDENTALES

partiendo desde el centro hacia afuera. Después de colocar todos menos el último anillo de cascos y de rellenar las uniones de los cascos y de los nervios de arco con lechada de cemento, se empezó el postensado del anillo de tensión, usando el sistema BBR de enrollado de alambre (Fig. 7 y 8). Se necesita un día para cada una de las 10 hileras de alambre de postensado. Por este método la mayor parte

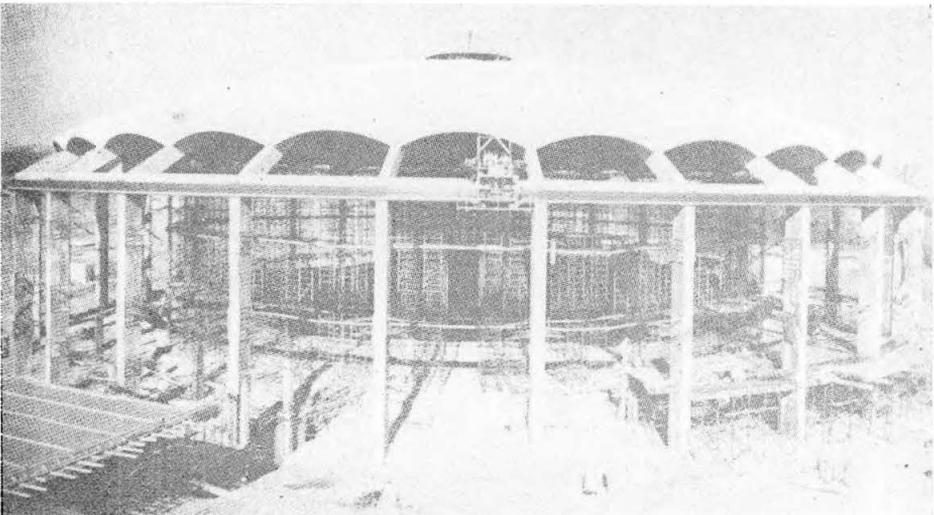
de la carga se transfirió automáticamente de las torres provisionales de apoyo a los nervios de arco. Como la flecha total calculada era sólo de 1,25 mm. hacia arriba, se necesitó sólo un pequeño descentramiento para dejar libre la estructura, ya que la elasticidad de las torres de cañería de acero y sus bases era de 18 mm. más o menos. La estructura de la cúpula se completó entonces encajando los alam-



5. PRIMER NERVIO DEL ARCO EN SU LUGAR.



6. TODOS LOS NERVIOS DEL ARCO EN SU LUGAR.



7. ESTRUCTURA DURANTE EL ENROLLAMIENTO DEL ALAMBRE.

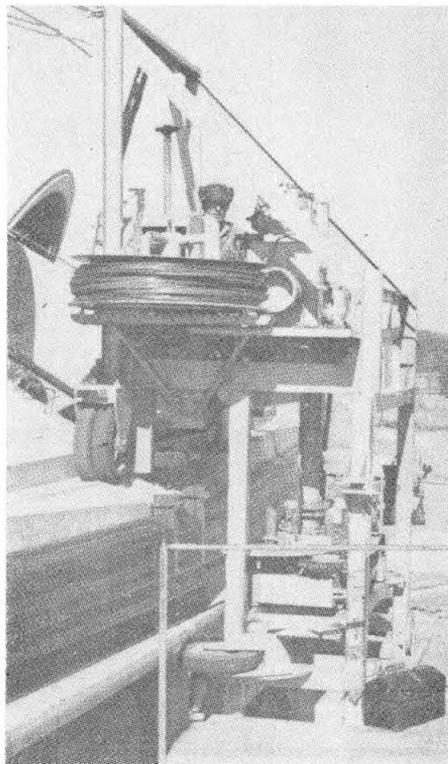
bres postensados en el hormigón y colocando los cascos de los bordes. La Fig. 9 muestra la estructura de la cúpula terminada.

Se levantó entonces la armazón interior consistente en elementos de asientos premoldeados soportados por un sistema de vigas construidas in situ. La Fig. 10 muestra una etapa de la construcción de la armazón interior. La Fig. 11 es una vista de la pieza central de la estructura de la cúpula y la Fig. 12 nos da una vista exterior del techo terminado.

### Conclusiones

El principio básico de la estructura descrita fue el uso de la combinación de hormigón premoldeado y hormigón moldeado in situ con postensado. Esto hizo posible modelar formas difíciles económicamente y conservar todavía el carácter monolítico del hormigón fabricado in situ.

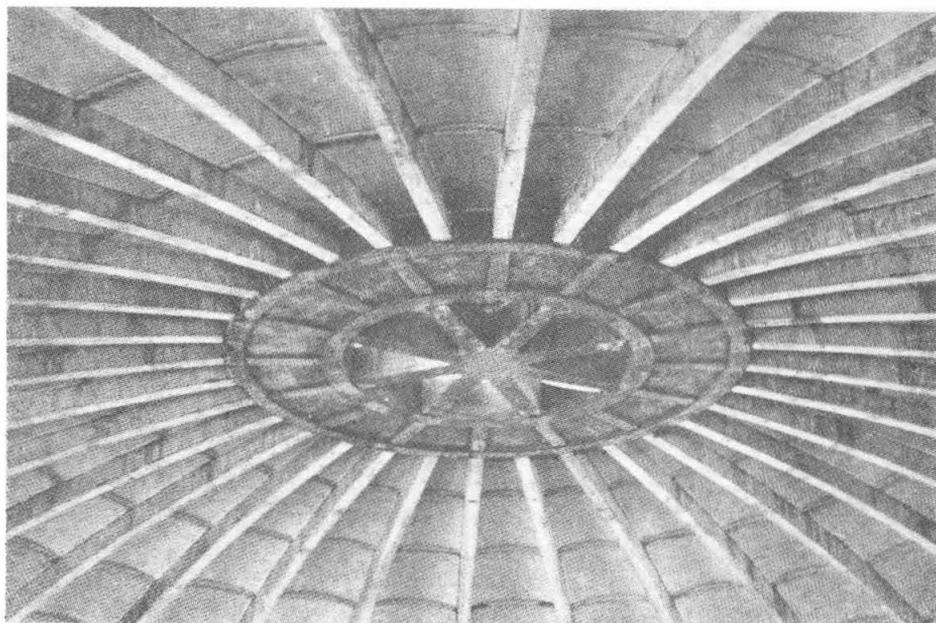
Se comprobó que este principio era económico y permitía ahorrar tiempo. Se necesitaron sólo 7 meses desde la excavación hasta completar la cúpula (sin la armazón interior). Todos los elementos premoldeados se construyeron en obra con gran exactitud y excelente calidad de hormigón.



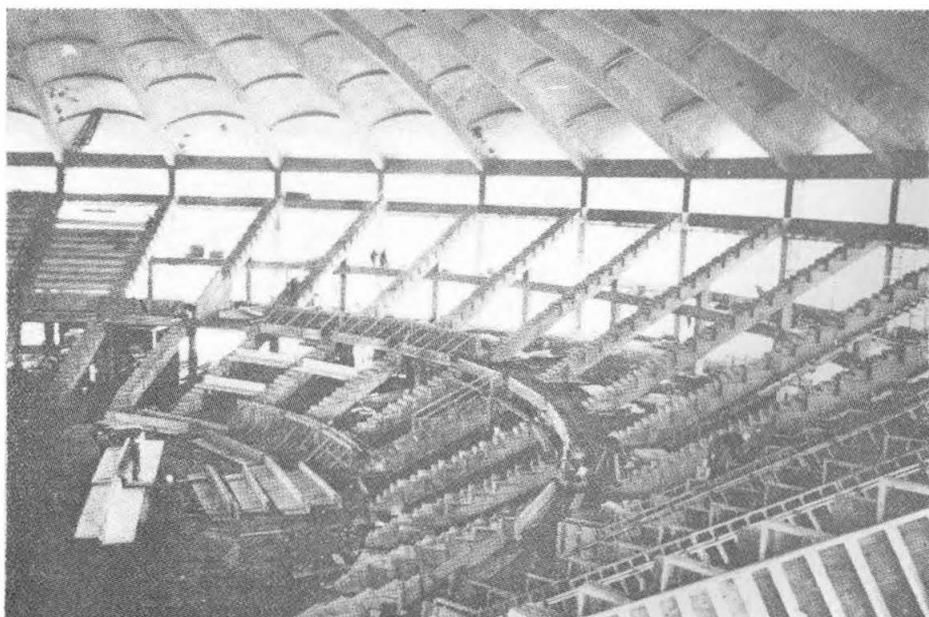
8. MAQUINA ENROLLADORA DE ALAMBRE FUNCIONANDO (SISTEMA B. B. R.)

9. ESTRUCTURA DE LA CUPULA TERMINADA.

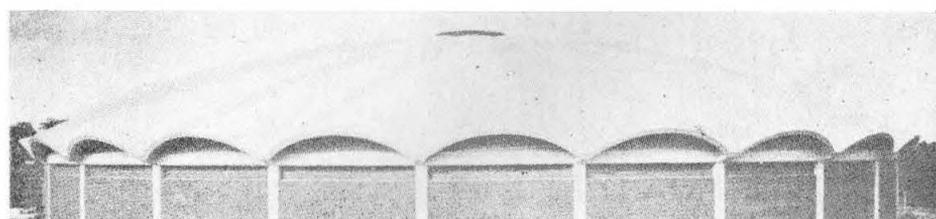




10. PIEZA CENTRAL DE LA CUPULA.



11. ARMAZON INTERIOR EN CONSTRUCCION.



12. TECHO TERMINADO.