

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICI FACULTAD DE INGENIERIA

DESCRIPCION DE ENSAYES SOBRE MODELOS DE LA CUBIERTA DEL PALACIO DE LOS DEPORTES

TESIS PROFESIONAL

JOSE FRANCISCO TELLEZ GRANADOS

MEXICO, D. F.

196B





UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Sec.

A MIS PADRES

RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fué realizado en la Sección de Estructuras del Ins—tituto de Ingeniería de la U.N.A.M. bajo la dirección del Ing. Luis Esteva M. La construcción y ensaye de modelos estuvo encomendada al Ing. Alfredo Olivares P. y el diseño e interpretación de resultados al Ing. Roberto Meli P. Agradezco a los — Ings. Luis Esteva y Roberto Meli sus valiosos comentarios y críticas así como su — amplia cooperación.





FACULTAD DE INGENIERIA Dirección Núm. 73-Exp. Núm. 73/

Universidad Nacional Autónoma de México

Al Pasante señor JOSE FRANCISCO TELLEZ GRANADOS Presente.

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor Profesor Ingeniero LUIS ESTEVA, para que lo desarrolle como tesis en su -exámen profesional de INGENIERO CIVIL.

"DESCRIPCION DE ENSAYES SOBRE MODELOS DE LA CUBIERTA DEL PALACIO DE LOS DEPORTES!

- 1.- Introducción
- 2.- Diseño de los modelos
- 3.- Descripción de los ensayes
- 4.- Interpretación de resultados
- 5 .- Conclusiones.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones,deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo deseis meses como requisito indispensable para sustentar exámen profesional; así como de la disposición de la Dirección
General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el tí
tulo del trabajo realizado.

Muy atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
México, D. F.a 15 de Marzo de 1968.
EL DIRECTOR

Ing. Manuel Paulin Ortiz

MPO'MO'B

CONTENIDO

Cap.			Pág.
1.	INTRO	DDUCCION	1
2.	DISEÑ	NO DE LOS MODELOS	3
	2.1	Análisis dimensional	3
	2.2	Características de los modelos	5
3.	DESC	RIPCION DE LOS ENSAYES	6
	3.1	Arco aislado	6
	3.2	Modelo completo	9
4.	INTER	RPRETACION DE RESULTADOS EN EL ARCO AISLAD	0 13
	4.1	Resultados	13
	4.2	Discusión de resultados	14
5.		RPRETACION DE RESULTADOS EN EL MODELO PLETO	18
	5.1	Resultados	18
	5.2	Discusión de resultados	19
6.	CONC	LUSIONES	22
	6.1	Pruebas del arco aislado	22
	6.2	Pruebas del modelo completo	22

1. INTRODUCCION

Los estudios sobre modelos estructurales se están utilizando ya -con bastante frecuencia en nuestro país, a causa de la construcción de estructuras que por sus características excepcionales resultan ser de gran trascendencia.

Dadas las características sobresalientes de estas estructuras, la - experiencia previa o la intuición no bastan para complementar los procedimientos teóricos de cálculo. Los estudios sobre modelos estructurales permiten eliminar muchas incertidumbres y tomar medidas apropiadas tanto en la etapa de diseño, como durante la construcción de las obras antes mencionadas.

Los modelos estructurales tienen la ventaja de que permiten reproducir de manera sencilla diversas solicitaciones accidentales a las que estará sujeta – la estructura; y además permite estudiar su trabajo en el espacio sin necesidad de reducir la estructura a dos dimensiones como se hace usualmente en el análisis teórico.

Entre las obras que actualmente se construyen para la celebración - de los Juegos de la XIX Olimpiada, el Palacio de los Deportes posee grandes dimensiones y una avanzada concepción arquitectónica y estructural, que lo hacen quedar dentro de las estructuras que requieren del auxilio de estudios experimentales sobre modelos.

La forma exterior del Palacio de los Deportes es la que se obtiene—sobreponiendo a un casquete esférico un conjunto de protuberancias, formada cada—una por cuatro mantos de paraboloide hiperbólico. La cimentación consta de una lo—sa nervada apoyada en 1400 pilotes. Ocupa un área circular de aproximadamente—200 m de diámetro. Excluyendo la zona central destinada a pista, el área total cargada de la cimentación será de aproximadamente 20,000 m² sobre la que descansa rá una estructura contínua de concreto y mampostería de alrededor de 70,000 Ton.—Sobre ésta se apoyará el sistema de arcos de acero que se describe a continuación.

La cubierta para el Palacio de los Deportes está soportada por dos

sistemas de arcos circulares que generan un casquete esférico, limitado por cuatro - círculos máximos, cuyos planos forman ángulos de aproximadamente 45º con los dos planos verticales de simetría. La estructura consta de 22 arcos contenidos en pla-nos meridianos con una separación angular constante de 8º 16¹ divididos en dos - grupos orientados en cada una de las dos direcciones principales (Fig. 1).

Los arcos centrales tienen una longitud de 132 m y una flecha de - 25 m. El radio de la esfera medido a centros de arcos es de 92.60 m. Cada arco - está soportado en sus extremos por un muro perimetral de tabique aparente y dos co-lumnas en forma de V invertida que siguen la inclinación de la cubierta.

Los arcos tienen una sección abierta formada por dos diagonales, - de perfil H de 30 cm, que llegan a montantes de la misma sección; existen además - dos tirantes, de sección tubular circular de 20 cm de diámetro, que unen los extremos superiores e inferiores de los montantes (Fig. 2). Los arcos en las dos direcciones, se unen precisamente en los montantes delimitando en planta, áreas aproxima damente cuadradas de lados variables de 10.50 a 13.70 m, las cuales van a ser techadas con cubiertas de madera, en forma de paraboloide hiperbólico, que van a descansar sobre las diagonales de los arcos. La madera estará soportada por una es tructura tubular de aluminio. La contribución de esta estructura a la resistencia general de la cubierta es despreciable.

La Secretaría de Obras Públicas encargó al Instituto de Ingeniería - la realización de los estudios e investigaciones complementarios al diseño, para lograr los efectos de seguridad, economía y adecuado funcionamiento.

Las dos investigaciones principales llevadas al cabo se refirieron a la predicción y control del comportamiento de la cimentación y al diseño estructural de la cubierta; esta última es el objeto del presente trabajo.

Se describen detalladamente los procedimientos de construcción y - ensaye de modelos estructurales, se consignan para fines de comparación los resul-tados completos de un gran número de pruebas y se discute la aproximación de las - distintas mediciones.

Se ensayó un arco aislado de la estructura, para obtener resultados iniciales y comprobar las técnicas experimentales usadas. Se construyó un modelo - estructural de la cúpula completa y se sometió a los efectos de carga vertical, movimiento de los apoyos, viento y cambios de temperatura, registrando desplazamientos y deformaciones en las barras.

2. DISEÑO DE LOS MODELOS

2.1. Análisis dimensional

Los modelos estructurales para estudio de comportamiento estático se diseñan con base en las conclusiones del análisis dimensional que expresan que si se construye un modelo estructural, geométricamente semejante y con un material del mismo módulo de elasticidad que el prototipo, y si las cargas por unidad de área en el modelo y en el prototipo son iguales, los esfuerzos también lo serán. La esca la del modelo se escoge por razones económicas y de espacio disponible para llevar al cabo la construcción del modelo. En este caso, la escala que satisfizo las condiciones de espacio y costo, fué de 1 a 15 aproximadamente. Se emplearon perfiles — comerciales de acero con el fin de obtener uniones soldadas del mismo tipo que las — del prototipo.

La finalidad principal del modelo estructural en este caso era determinar la distribución de esfuerzos bajo cargas de servicio. El no llevar a la falla al modelo hizo que no fuera indispensable conservar todas las características geométricas de las secciones, sino únicamente la relación entre secciones transversales de los miembros.

Para facilitar el uso de los planos estructurales de fabricación del - prototipo, se procuró que el lado de la sección de las diagonales conservara la mis-ma escala que las otras longitudes.

Para las diagonales, la sección comercial que más se aproximó a - las exigencias anotadas, fué el tubo cuadrado de 3/4" de lado y de lámina del # 18.

El factor de escala que resulta es el siguiente:

$$\frac{L_{\rm m}}{L_{\rm p}} = \frac{1.90}{30} = \frac{1}{15.75}$$

que se utilizó para las otras dimensiones lineales.

Por limitaciones del material disponible no se puede conservar la misma relación para las áreas. En las diagonales se obtuvo

$$\frac{A m}{A p} = \frac{0.91}{139} = \frac{1}{152}$$

que corresponde a una escala de longitudes

$$\sqrt{\frac{Am}{Ap}} = \frac{1}{12.3}$$

que es menor que la que se usó.

Para los tirantes se empleó tubo redondo de 3/8" de diámetro, de - lámina # 16, la relación de áreas es:

$$\frac{A \text{ m}}{A \text{ p}} = \frac{0.38}{0.45} = \frac{1}{119}$$

Esta relación difiere de la que se obtuvo para diagonales debido a - un cambio en el diseño del prototipo después de iniciada la construcción del modelo.

Una vez fijadas estas relaciones entre las longitudes, se obtuvieron para iguales cargas por unidad de área, los siguientes factores de conversión para — las otras propiedades.

Carga por unidad de área
$$\omega$$
 p = ω m

Fuerzas N \propto ω L² N p = 248 Nm

Momentos M \propto ω L³ M p = 3900 Mm

Esfuerzos $\sqrt{\frac{N}{A}} = \frac{\omega}{A}$ diagonales $\frac{248}{152}$ \sqrt{p} = 1.63 \sqrt{m} tirantes $\frac{248}{119}$ \sqrt{p} = 2.08 \sqrt{m}

Deformaciones unitarias $\mathcal{E} \propto \mathcal{J}$ Deflexiones $\mathcal{J} \propto \mathcal{J} L$ diagonales $\mathcal{J}_p = 15.75 \times 1.63 = 25.70 \, \mathcal{J}_m$ tirantes $\mathcal{J}_p = 15.75 \times 2.08 = 32.70 \, \mathcal{J}_m$

Se observa que el factor de escala de deflexiones no resulta un valor exacto y es debido a que en los desplazamientos intervienen las deformaciones de los tirantes y las diagonales que tienen diferente factor de escala. Para fines prácticos bastará saber que este factor está entre 25 y 30.

2.2 Características de los modelos

Los modelos estructurales del arco aislado y la cubierta completa, se construyeron con base en los resultados del análisis dimensional. Para los mon tantes se empleó la misma sección de las diagonales.

Se reprodujeron las mismas juntas soldadas del prototipo con excepción de la unión de las diagonales y montantes. En estas juntas se eliminaron las — placas de unión del prototipo que presentaban gran dificultad de soldado interior debido a lo reducido del modelo, además se quiso evitar el excesivo calentamiento del — montante. En el modelo las piezas se soldaron a tope (Fig. 3).

Los arcos se reprodujeron únicamente hasta la última intersección - de las diagonales, después de éstas en el prototipo existe una sección doble H que aumenta su ancho hasta llegar al apoyo (Fig. 2). En el modelo se reprodujo esta zo na prolongando las mismas diagonales hasta penetrar en unas placas rígidas que proporcionan un empotramiento total (Fig. 3). Debido a la poca longitud que existe entre la intersección de las diagonales y las placas de apoyo, se tiene una gran rigidez que no produce diferencias importantes de comportamiento con respecto a la que se usó en el prototipo.

3. DESCRIPCION DE LOS ENSAYES

3.1 Arco Aislado

Las razones que condujeron a realizar pruebas en un arco aislado - fueron las siguientes:

a) Para tener una idea inicial sobre el comportamiento del - arco, a fin de poder introducir las modificaciones pertinentes en el prototipo y el modelo completo.

b) Siendo una estructura sencilla de analizar se podría verificar la validez de las mediciones experimentales.

Para el ensaye del arco aislado se usó uno de los arcos centrales - de la cubierta. El ensaye se hizo en posición horizontal, por resultar así más fácil - de realizar el contraventeo lateral y la construcción de apoyos con posibilidad de des plazamientos.

Con este fin se construyó una base de mampostería y concreto sobre la que se empotraron los apoyos y se colocó el arco (Fig. 4).

En el apoyo derecho existe un dispositivo que permite dar desplaza mientos verticales mediante el corrimiento de tornillos; los desplazamientos se controlaron mediante micrómetros (Fig. 5).

El apoyo izquierdo descansa en balines de acero de $1/2^{\circ}$, coloca — dos sobre una placa engrasada ahogada en el concreto.

La reacción vertical es proporcionada por dos soleras con agujeros en sus dos extremos, sujetas en un lado por tornillos que atraviesan las placas de - apoyo y en el otro por pernos soldados a la placa ahogada en el concreto. Con el objeto de que las soleras no opusieran ninguna restricción al desplazamiento horizon-

tal del arco y proporcionaran únicamente reacción vertical, los agujeros de las soleras se hicieron mayores que el diámetro de los pernos.

El apoyo horizontal está constituido por un contrafuerte metálico y - entre éste y las placas de apoyo, se colocaron dos celdas de carga calibradas que - permiten medir la reacción horizontal (Fig. 6). Quitando este sistema es posible dar desplazamientos horizontales en forma similar a la indicada para el apoyo derecho - (Fig. 7).

El arco estaba levantado de la estructura de apoyo aproximadamente 3 cm, por medio de cables amarrados en el centro de cada montante y que colgaban - de unos marcos de madera; esto evitó cualquier fricción a lo largo de la estructura. - La longitud de los cables (2 m aproximadamente) era tal que éstos no ofrecían ninguna restricción al desplazamiento horizontal del arco.

Para evitar pandeo hacia arriba existían unas soleras que cruzaban la sección del arco, atornilladas en pernos ahogados en los extremos de la estructura de apoyo. Entre el arco y las soleras se dejó una holgura de medio centímetro - - (Fig. 8).

Para medir las deformaciones unitarias en las barras se usaron celdas de resistencia eléctrica con aproximación de 10^{-6} . La disposición de las celdas (Fig. 10), se escogió con el fin de tener definidos los esfuerzos en todas las abarras de algunas secciones, para poder comprobar el equilibrio de fuerzas en ellas. En cada barra se colocaron celdas en dos caras, para tener el esfuerzo en las dos fibras extremas de la sección y así calcular la fuerza normal y el momento. También se midieron desplazamientos en los 11 montantes por medio de micrómetros de carátula de 0.01 mm de aproximación.

Se aplicaron las siguientes solicitaciones:

- a) Carga vertical igual aproximadamente al doble de la co-rrespondiente a la de diseño del prototipo.
 - b) Desplazamiento vertical del apoyo derecho.
 - c) Desplazamiento horizontal del apoyo izquierdo.

La carga vertical de diseño del prototipo es de 150 kg/m², si se - considera, en una simplificación burda, que la carga es resistida en partes iguales - por arcos aislados en cada dirección, la carga por arco es de 75 kg/m².

Puesto que el ancho tributario medio del arco central del modelo es de 76 cm, su carga por unidad de longitud es 57 kg/m, y la carga correspondiente en

cada nudo es de 50 kg.

Las pruebas de carga vertical se llevaron al cabo aplicando fuerzas concentradas en cada uno de los nudos del cordón inferior. Esto se logró transforman do la carga en el plano del arco en fuerzas verticales por medio de poleas. En cada nudo se sujetó un cable de acero de 1/8" de diámetro que llegaba a unas poleas de 2" de diámetro y de ella colgaba formando un lazo; a éste se amarraban bultos de -- arena de 30 kg cada uno.

Las poleas colgaban de una varilla de refuerzo de la trabe de con-creto que unía los dos extremos de la estructura de apoyo (Fig. 9).

Para calcular la carga realmente trasmitida al arco, se colocó un dinamómetro sucesivamente en distintos cables y se encontró que por fricción en las poleas, se perdía en promedio el 18 por ciento de la carga.

El número de pruebas que se realizaron fué ocho y se proporcionó - una carga nominal de 120 kg por nudo en incrementos de 30 kg. En cada una de es tas pruebas, para cada incremento, se tomaron lecturas en todas las celdas y en to- dos los micrómetros.

Se tuvieron los siguientes problemas al iniciar la realización de es_tas pruebas:

Todas las celdas estaban conectadas a una celda compensadora de temperatura; el funcionamiento de esta última fué defectuoso ya que durante la colocación se le dió una deformación inicial mayor que la debida, lo que hizo que trabajara fuera de su zona de linealidad. Al fallar la celda compensadora, las celdas activas dieron resultados incongruentes

La solución a este problema consistió en cambiar la celda compensa dora, con lo cual trabajaban adecuadamente la mayoría de las celdas activas.

El otro problema se presentó cuando en los primeros ciclos de carga las celdas no trabajaron linealmente, pero después de aproximadamente 5 ciclos, em pezaron a funcionar adecuadamente. Esto se debió a un efecto de histéresis propia de la celda, así como al pegamento por medio del cual se hizo su colocación.

Se realizó una prueba donde se dió un desplazamiento vertical de 2 cm, pero los resultados de ésta no se incluyen debido a que los esfuerzos produci—dos fueron tan pequeños que las mediciones no fueron confiables.

Para estudiar el efecto del desplazamiento horizontal se hicieron — dos pruebas en las que se le dió al apoyo izquierdo un desplazamiento de 1.9 cm en seis incrementos variables. En cada uno de estos se hicieron las lecturas correspon

dientes a las celdas y los micrómetros.

Para medir la reacción horizontal en el apoyo izquierdo, se tomaron lecturas en las celdas de carga para cada uno de los incrementos de carga, de seis de las pruebas de carga vertical.

Se hicieron tres pruebas adicionales para estudiar el comportamiento del arco, sin la contribución de algunos tirantes. Con este fin se cortaron sucesivamente los tirantes 14-17, 14-11 y 18-15 (Fig. 26). Para su realizaron se siguieron los mismos lineamientos de las pruebas de carga vertical.

3.2 Modelo Completo

El modelo de la cubierta se montó sobre una estructura de apoyo de mampostería, con una trabe superior en la cual se ahogaron los pernos que reciben — los apoyos de la estructura metálica. Para permitir el paso inferior y las maniobras — de carga, el punto más bajo del modelo quedó levantado del suelo 1.60 m.

La trabe superior curva se armó y cimbró antes de la colocación de la estructura, pero su colado se efectuó por tramos después de haber fijado provisio nalmente los apoyos de la estructura, para que los pernos quedaran en su posición — exacta.

Para evitar movimientos laterales del muro, debido al coceo del modelo bajo carga vertical, se colocaron tirantes tensados, en dos direcciones perpendiculares para que absorbieran las cargas horizontales (Fig. 11 y 12).

Los apoyos fueron de dos tipos: la mitad de ellos fueron dos ángu-los espalda con espalda, entre los cuales penetraron las diagonales de la estructura;
estos ángulos se anclaron a la trabe de borde, por medio de pernos fijos que no permitían desplazamientos (Fig. 13). La otra mitad de los apoyos estaba formada por los mismos ángulos, atornillados con pernos a la trabe y horizontalmente a unos con
trafuertes metálicos. Por medio de los pernos se permitía movimiento tanto vertical
como horizontal (Fig. 14).

Para medir deflexiones se instalaron, distribuidas en la bóveda, 25 barras verticales con tramos de cinta metálica graduada en milímetros. Por medio de la nivelación de estos puntos se registraron las deflexiones con una aproximación de 0.1 mm.

La medición de deformaciones unitarias en las barras se logró por - medio de 296 celdas de resistencia eléctrica, distribuidas en 38 secciones distintas de la estructura, tanto en los tirantes como en las diagonales (Fig. 15). Se for maron grupos de 10 celdas y para cada grupo se instaló una celda compensadora de temperatura y una celda testigo, colocadas en piezas no esforzadas del mismo material (Fig. 16). El cableado de las celdas llegaba a un tablero común del cual se conectaba a los indicadores de deformación para las lecturas (Fig. 17).

Para registrar la temperatura en distintas partes de la estructura se contó con tres termógrafos de registro contínuo.

Se hicieron diversas pruebas: carga vertical, variaciones de temperatura, asentamiento de los apoyos y efecto de viento.

En las pruebas de carga vertical, ésta se aplicó por medio de bul—tos de arena de 50 kg en 25 nudos dispuestos simétricamente (Fig. 15). La carga se aplicó en incrementos iguales de 100 kg hasta alcanzar una carga de 400 kg — por nudo. Esto no correspondía exactamente a una distribución uniforme, dada la diferencia de áreas tributarias de cada nudo; con respecto al área total cubierta entre—cruces de apoyos se obtuvo una carga promedio de 166 kg/m².

El número total de pruebas efectuadas fué de ocho. En las tres primeras, la interpretación de los resultados puso en evidencia discrepancias entre las mediciones de pruebas nominalmente iguales, y una falta de linealidad notable. Estas diferencias se atribuyeron esencialmente a los cambios de temperatura, 6 ó 7° C que ocurrían en el transcurso del ensaye. Para comprobar el efecto de temperatura so bre las mediciones de las celdas, se realizó una prueba que consistió en tomar lecturas a diferentes horas sin aplicación de carga. Esta arrojó las mismas discrepancias de las pruebas anteriores.

Para eliminar este inconveniente se redujo el número de intervalos - de carga en las restantes pruebas que, además, se efectuaron a horas en que la tem peratura no variara sensiblemente. En esta serie de cuatro ensayes se alcanzó la carga máxima en intervalos de 200 kg en carga y descarga. La variación de tempera tura en estas pruebas no superó los 2ºC. Para esta segunda serie los resultados de las nivelaciones y de las lecturas de la mayor parte de las celdas fueron consistentes

Al observar que los cambios de temperatura provocaron variaciones apreciables en las lecturas de las celdas, se decidió efectuar una serie de ensayes que consistieron en aplicar a la mitad de la estructura una temperatura 20°C mayor que la de la otra mitad.

Para elevar la temperatura se aisló la estructura con una cubierta -

contínua de papel y se calentó el volumen de aire interior por medio de 39 calentado res de resistencia eléctrica de 500 W, distribuidos uniformemente y colocados a una distancia entre 50 cm y 1 m de la estructura. Para tener además una corriente contínua de aire caliente, se instaló un horno eléctrico que arrojaba un chorro de aire que se distribuyó en la zona por calentar con tubos de cartón.

Este dispositivo permitió subir la temperatura en la zona aislada --- hasta 40°C y mantenerla constante con diferencias menores de 2°C mediante el encendido y apagado de los aparatos. La temperatura ambiente en la zona no aislada varió en las distintas pruebas de 17 a 24°C.

Los termógrafos de registro contínuo, colocados dos de ellos en la zona caliente y uno en la que permanecía a temperatura ambiente, permitían contro—lar y registrar la temperatura.

Se efectuaron cinco pruebas; en las cuatro primeras se elevó la temperatura a 40°C, manteniéndola por una hora aproximadamente y bajándola después hasta igualarla a la temperatura ambiente repitiendo el ciclo tres veces. La última prueba tuvo por finalidad apreciar si había diferencias entre la temperatura del ambiente y la de la estructura, para lo cual se mantuvo constante la temperatura a 40°C por espacio de 8 horas. En otra serie de ensayes se estudió el efecto de asentamientos diferenciales, aplicando movimientos verticales a todos los apoyos de uno de los lados de la estructura.

Se realizó una serie de tres pruebas dando desplazamientos a los—apoyos hacia abajo, siguiendo una variación lineal con valor nulo en los arcos extremos hasta un máximo de 1.44 cm alcanzado en cuatro incrementos iguales en el arco central.

En cada incremento se dió un desplazamiento de 0.06 cm en el ar - co extremo, aumentándolo 0.06 cm en cada arco hasta 0.36 cm en el arco central. Después de alcanzar la deformación máxima, la estructura se regresó a su posición - original.

Se hizo una cuarta prueba parecida a la anterior con la diferencia de que los arcos extremos se mantuvieron fijos y en los demás el desplazamiento aumentó de 0.06 en 0.06 cm hasta 0.3 cm en el arco central. Se dieron cinco incrementos de desplazamiento hasta 1.5 cm en el arco central; después se regresaba la estructura a su posición original y se repetía la prueba, pero dando a los apoyos movimientos hacia arriba.

El último tipo de prueba consistió en dar una carga correspondiente a la superposición del efecto de viento y una carga vertical mínima de 80 kg/m², de bida únicamente al peso propio de la estructura metálica y al recubrimiento exterior.

Las cargas de viento se obtuvieron a partir de los coeficientes de presión obtenidos del estudio del modelo rígido en túnel de viento, para la dirección más desfavorable. En este estudio se obtuvo una distribución de presiones en los cruces superiores de las diagonales, crestas, y en los puntos medios de las diagonales, valles.

Para la dirección considerada los efectos de viento fueron succiones en casi todos los puntos, definidas por un coeficiente de presión cp, que permite conocer la presión del viento (p, en kg/cm²), en cada punto para una velocidad dada (V en m/seg) como p=0.0615 c $_{\rm N}^{\rm V2}$.

Esta presión actúa en dirección normal a la superficie de la cubier ta. En cada uno de los 25 nudos en que se aplicaron las cargas, se encontró un coeficiente de presión equivalente que produjera el mismo volumen original de presiones, suponiendo que éstas variasen linealmente del valor de los valles al valor en la cresta. Este coeficiente, c'p se obtuvo considerando el volumen de la pirámide así forma da.

$$c'_{p} = \left[c_{v} + \frac{1}{3} (c_{c} - c_{v})\right]$$

en la que $^{\rm C}_{\rm V}$ y $^{\rm C}_{\rm C}$ son los coeficientes de presión en los valles y en las crestas, respectivamente (Fig. 18).

La fuerza de viento, resultante en cada nudo, se encontró considerando su área tributaria y la velocidad de diseño (120 km /hr).

Se determinó la concentración de carga vertical en cada nudo y se - compuso con la fuerza de viento, obteniéndose una carga resultante con dirección va riable en cada nudo; estas fuerzas se transformaron en cargas verticales por medio - de poleas (Fig. 19).

En la Tabla 1 se consignan los valores de los coeficientes de presión en los valles, en las crestas y equivalentes (c_v, c_c, c_p) la fuerza de viento y su ángulo con la vertical (Fv, <), la concentración de carga vertical (Fw) y la fuerza resultante con su ángulo con la vertical (Fr, >).

Como se sospechaba que para las cargas obtenidas el nivel de es-fuerzos sería muy bajo, en los tres ensayes realizados se tomó una carga del doble-de la consignada en la Tabla 1, para obtener lecturas más confiables en las celdas.

En la determinación experimental de los esfuerzos en las barras se presentaron algunos problemas debidos principalmente a que, en algunas barras, la magnitud de los esfuerzos fué baja y que algunas de las celdas no funcionaron correctamente. Sin embargo el orden de los esfuerzos está definido con suficiente confiabilidad.

4. INTERPRETACION DE RESULTADOS EN EL ARCO AISLADO

4.1 Resultados

En la Fig. 20 se muestran las gráficas carga-deflexión para algu-nos puntos de la cubierta. La carga indicada es la efectiva, obtenida al aplicar a la carga total nominal el factor de reducción por la friccion en las poleas; con línea punteada se indica la curva de descarga.

En la Fig. 21 se presentan las deflexiones registradas en la prueba de desplazamiento horizontal.

La Fig. 22 representa las elásticas del arco para la carga máxima de 100 kg y para un desplazamiento horizontal de 1.9 cm de uno de sus extremos.

Las gráficas carga-deformación unitaria para algunas celdas, se -- muestran en la Fig. 23 tanto para las diagonales como para los tirantes; en la Fig. 24 se encuentran las gráficas carga-deformación unitaria para la prueba de desplaza miento horizontal.

En la Fig. 25 se relaciona la carga vertical por nudo con la reac-ción horizontal medida en el apoyo izquierdo.

En la Tabla 2 aparecen los esfuerzos y las fuerzas resultantes medidas en varias barras en la prueba de carga vertical; también se indican algunos valores teóricos; los esfuerzos y las fuerzas se consideran positivos si son de compresión.

En esta tabla, $\sqrt[r]{n}$ representa el esfuerzo normal promedio en la sección, calculado como

$$\sqrt{\int_{n}} = \frac{\sqrt{1+\sqrt{2}}}{2} = \frac{\epsilon_{1}+\epsilon_{2}}{2} \quad E$$

en donde ϵ_1 y ϵ_2 son las deformaciones unitarias medidas en las caras superior e inferior de la sección. Multiplicando \sqrt{n} por el área de la barra, se obtiene la fuerza normal N. La proyección de ésta sobre un eje vertical y un horizontal, nos da respectivamente los valores de V y H; y la suma de todas las V y todas las H de cada sección nos dan las resultantes de fuerza vertical Σ V y horizontal Σ H en esa sección.

En las dos últimas columnas se encuentran los valores teóricos de-\(\sum \) \(\sum \) V. La Tabla 3 presenta los mismos resultados para un desplazamiento horizontal de 1.9 cm en el apoyo izquierdo, sin carga vertical. Para este caso la -reacción vertical teórica es cero y la horizontal es de 50 kg. La penúltima columna de esta tabla contiene los valores del momento experimental en la sección, que es igual a la diferencia algebráica entre las fuerzas normales en los dos tirantes por su distancia al centro de la sección. En la última columna se encuentra el valor de la reacción horizontal necesaria para producir el momento registrado experimentalmente; en la Fig. 26 se define la nomenclatura usada.

En la Tabla 4 se comparan los esfuerzos de las pruebas de carga — vertical del arco intacto y el caso en que se cortaron tres tirantes.

Haciendo uso de los resultados del análisis dimensional del capítulo 2, se relacionaron los resultados del modelo con el comportamiento correspondien te del prototipo.

4.2 Discusión de resultados

Las deflexiones registradas en la prueba de carga vertical (Fig. 20 y 22), presentan dos anomalías evidentes.

a) El incremento de deflexión en la primera carga es mayor - que en las siguientes. Esto es debido a reacomodo de los apoyos, especialmente del izquierdo, que tiene varias holguras.

b) La elástica del arco es notablemente asimétrica, siendo - las deflexiones mayores del lado del apoyo izquierdo. Esto se explica por el giro - que puede haber en ese apoyo debido a las holguras entre las soleras y los pernos.

En la Fig. 20 se corrigió el origen de las gráficas por el reacomodo inicial por medio de líneas rectas que se ajustan satisfactoriamente a todos los dotros puntos.

En la prueba de desplazamiento horizontal se controló la deforma- - ción del apoyo debido a sus holguras y las relaciones carga-deflexión resultaron más lineales.

Para comprobar la exactitud de los esfuerzos indicados en la Tabla 2, se compararon las resultantes de fuerzas horizontal y vertical, con las teóricas - calculadas para un arco biarticulado de momento de inercia constante. Esta compara ción resultó ser bastante satisfactoria. Algunas discrepancias son debidas a que varias de las celdas que intervienen en la determinación de las resultantes no dieron - lecturas confiables y el esfuerzo correspondiente fué supuesto a partir del de otras - celdas en posición semejante.

En las tablas los asteriscos indican el número de celdas defectuo--sas que entran en el cálculo.

De la Tabla 2 se observa también que los esfuerzos en las diagona les y los tirantes son del mismo orden; que los esfuerzos máximos no exceden a $35\overline{0}$ kg/cm² a excepción de un tirante en el que se presenta un esfuerzo de casi 500 -- kg/cm².

Los momentos en las secciones son muy bajos, menores que los teóricos presentados en la Fig. 26.

El hecho de que tanto la fuerza horizontal como los momentos experimentales se apeguen a los calculados para un arco biarticulado, indica que las secciones extremas de cruce de las diagonales se comportan efectivamente como articulaciones, y además esa sección es capaz de tener la rotación necesaria para la articulación, sin sufrir daños evidentes.

La reacción medida experimentalmente (Fig. 25), es menor que la -calculada y que la fuerza horizontal medida en varias secciones debido a fricciones pequeñas en el apoyo que redujeron la fuerza en las cápsulas. En la Tabla 3 se ob - serva que los esfuerzos en las diagonales son bajos comparados con los registrados para los tirantes; además los primeros son poco confiables debido al orden tan bajo - de esfuerzos.

Para poder discutir la distribución de esfuerzos encontrada es necesario un breve análisis teórico de ellos.

Puede demostrarse que la contribución de las diagonales a la rigi-dez a flexión de la sección es despreciable y que el momento de inercia de la sección es proporcionado por el área de los tirantes, $A_{\rm t}$, únicamente.

$$I = \frac{A_t h^2}{2} = \frac{0.38 \times 31.6^2}{2} = 190 \text{ cm}^4$$

La rigidez lineal horizontal del arco, $K_{\mbox{$L$}}$, resulta por el principio - de los trabajos virtuales.

$$K_L = \frac{1}{8AA}$$
 ; $S_{AA} = \int \frac{m^2 ds}{EI}$

Donde m es el apoyo en cada sección producida por una fuerza unita ria en el apoyo. Esta integral calculada numéricamente resulta ser igual a

EI8_{AA}= 14.6 × 10⁶ cm³;
$$8_{AA} = \frac{14.6 \times 10^6}{2 \times 10^6 \times 190} = 3.85 \times 10^{-2}$$
 cm/kg

$$K_1 = 26 \text{ kg/cm}$$

En este cálculo se ha supuesto un momento de inercia constante en todo el arco, lo cual sobreestima ligeramente la rigidez debido a los dos triángulos - extremos sin tirantes que tienen menor momento de inercia.

Otro fenómeno que reduce el valor de la rigidez calculada se debe a que el eje de los tirantes no es perfectamente recto a causa de su gran flexibilidad.— En el arco ensayado se midieron diferencias hasta de 3 mm en la posición del eje de los tirantes. La influencia de estas imperfecciones en la rigidez de la pieza provie— ne de la deformación que se presenta en la barra por momento flexionante, adicional a la deformación por fuerza normal.

En la misma Tabla 3 es evidente la discrepancia existente entre los valores teóricos y experimentales de las componentes horizontal y vertical de la fuer za en las secciones. En el cálculo de estas componentes intervienen los valores de los esfuerzos en las diagonales que como antes se indicó, son poco confiables.

La reacción horizontal en el apoyo se puede calcular indirectamente a partir de los esfuerzos en los tirantes. El momento en cada sección es resistido — únicamente por los tirantes y es igual a

$$M = (N_s - N_i) \frac{h}{2}$$

Por otra parte, el momento es igual a la reacción horizontal por la distancia vertical del eje de apoyo al centroide de la sección.

$$R_H = \frac{M}{y}$$

Los valores de la reacción obtenidos en esta forma, son muy uniformes y un poco menores que el valor teórico para el desplazamiento de 1.9 cm.

$$R_{H} = 1.9 \times 26 = 50 \text{ kg}$$

También los momentos encontrados en la tabla concuerdan satisfactoriamente con el diagrama de momentos teórico (Fig. 26).

La rigidez horizontal del arco encontrada experimentalmente es menor que la calculada; esto se justifica con los dos fenómenos mencionados anteriormente.

El esfuerzo máximo registrado fué una compresión de 1200 kg/cm² en una cara de un tirante superior. Es muy significativo que en la otra cara se regis trara un esfuerzo alto de tensión, ya que indica que el tirante estaba sometido a flexiones importantes, mientras su esfuerzo axial promedio era menor de 400 kg/cm². Esto se verifica de manera menos marcada en otros tirantes tanto de compresión como de tensión y parece confirmar el efecto de la desviación de los tirantes. El esfuer zo normal promedio máximo registrado no superó 700 kg/cm².

Para la carga vertical el efecto de las imperfecciones de los tirantes no debe ser importante, ya que el trabajo es esencialmente por fuerza normal. Sin - embargo se qui so averiguar si la falta de algunos tirantes producía cambios significa tivos en los esfuerzos de algunas barras. Esta es la razón por la que se hicieron - pruebas de carga vertical cortando sucesivamente tirantes cerca del centro del claro.

En la Tabla 4 se aprecia que los esfuerzos se redistribuyeron entre las barras restantes en las secciones afectadas (7) y en las adyacentes (5, 9) y que las secciones alejadas no se vieron afectadas.

El nivel de esfuerzos no aumenta sensiblemente en ninguna barra y la rigidez del arco a carga vertical casi no se altera, ya que las deflexiones medi—das en las dos pruebas fueron prácticamente iguales.

5. INTERPRETACION DE RESULTADOS EN EL MODELO COMPLETO

5.1 Resultados

En la Fig. 27 se muestran los esfuerzos y las deflexiones registra dos en una de las pruebas típicas de carga vertical. Se consignan únicamente los resultados que fueron consistentes en los cuatro últimos ensayes realizados. Los datos omitidos corresponden a las celdas que registraron esfuerzos de baja magnitud, y a las que resultaron defectuosas.

Los valores han sido transformados para la escala del prototipo --- usando los factores obtenidos en el inciso 2.2. Para las deflexiones se consideró - el factor de escala más desfavorable, 30.

En la Tabla 5 se presentan para fines de comparación, algunos delos esfuerzos obtenidos en el modelo, en tres distintas pruebas, para la carga máxima. Para la nomenclatura de las barras véase la Fig. 15.

En la Tabla 6 aparecen los esfuerzos medidos en el modelo en una misma prueba para distintos niveles de carga.

En la Tabla 7 se comparan las deflexiones registradas en dos pruebas diferentes correspondientes a la carga máxima.

En la Fig. 28 se muestran las relaciones carga-deflexión de cuatro puntos de la estructura en una misma prueba y en la Fig. 29 las curvas carga-deflexión en el punto central para dos pruebas diferentes.

En la Tabla 8 aparecen las lecturas en las celdas, registradas en - las barras en tres distintas pruebas para una diferencia de temperatura entre la zona caliente y la zona a temperatura ambiente de 23°C. Estos valores no han sido trans formados a esfuerzos por considerar que no corresponden a deformaciones reales de - las barras, como se discutirá en el siguiente inciso.

En la Tabla 9 se presentan las deflexiones en tres de las pruebas - de temperatura en que ésta se mantenía por espacio de una hora y luego se bajaba -- hasta igualar la temperatura ambiente, repitiendo el ciclo tres veces.

En la Fig. 30 se muestra un registro típico de temperatura. La Fig. 31 presenta la distribución de deflexiones, transformadas a la escala del prototipo, para una de las pruebas de temperatura.

En la Tabla 10 se encuentran los valores de los esfuerzos corres—pondientes a dos pruebas de asentamientos, en las que se proporcionó a los apoyos, la configuración de asentamientos descrita en el capítulo 3; en su caso las deformaciones se dieron hacia abajo y en el otro hacia arriba. En la Fig. 32 los esfuerzos se han transformado al prototipo para un hundimiento máximo de 10 cm en el arco central; se muestran también las deflexiones en los distintos puntos.

La Tabla 11 muestra los esfuerzos en tres pruebas idénticas de car ga de viento y la Fig. 33 muestra los esfuerzos en las distintas barras y las deflexiones transformadas a la escala del prototipo.

5.2 Discusión de resultados

Los resultados de los distintos ensayes de carga vertical, presenta dos en el inciso anterior, revelan algunas anomalías evidentes.

En la Tabla 5 se observa que los esfuerzos no son exactamente igua les en las tres pruebas presentadas y en algunos casos resultan muy diferentes. La Tabla 6 permite apreciar que los esfuerzos correspondientes a una prueba no fueron, en muchos casos, proporcionales al nivel de carga.

En la Fig. 27 se aprecia que en algunas barras, en las que por simetría geométrica debían haberse registrado las mismas lecturas, hubo ciertas discrepancias.

Las causas de estas diferencias son de dos tipos:

- a) Irregularidades en la estructura, esencialmente imperfecciones de algunas juntas soldadas, ligeras asimetrías en la geometría de la cubierta y pequeños movimientos de los apoyos, nominalmente fijos.
 - b) Irregularidades en el comportamiento de las celdas por la

influencia de efectos secundarios en las lecturas; el principal de estos efectos fué - el de la temperatura que se comprobó que afectaba sensiblemente las lecturas. Aunque se tomaron las precauciones mencionadas en el capítulo 4, no fué posible eliminar totalmente este efecto.

A pesar de estas irregularidades, los esfuerzos en las barras queda ron definidos con suficiente aproximación y confiabilidad. Puede comprobarse en las tablas que los efectos secundarios son pequeños para un nivel alto de esfuerzos, lo que indica que los efectos secundarios afectaron las lecturas de las celdas en una — cantidad que solo alteró esfuerzos bajos.

La distribución de esfuerzos, que es de esperarse en el prototipo, - para la carga vertical de diseño de 150 kg/cm², se presenta en la Fig. 27.

Los esfuerzos son casi en su totalidad de compresión, bastante uniformes en todos los miembros de la estructura en rangos de 200 a 500 kg/cm 2 , con algunos máximos hasta de 690 kg/cm 2 en los tirantes; en las diagonales los esfuerzos son ligeramente menores, como máximos de 500 kg/cm 2 .

Como ya se había puesto en evidencia en la prueba del arco aislado, no existen momentos flexionantes de importancia en la estructura, ya que los esfuerzos en los tirantes superior e inferior, fueron siempre muy parecidos; esto indica que la carga vertical se transmite a los apoyos casi exclusivamente por compresión en — las barras.

La Tabla 7 muestra una buena concordancia entre las deflexiones — medidas en las dos pruebas presentadas; en la Fig. 27 se notan ligeras asimetrías — en los valores de las deflexiones, que son debidas principalmente a las irregularida des de la estructura.

Los valores de las deflexiones no sobrepasaron en ningún caso 5.4 cm para la escala del prototipo.

Las deformaciones unitarias registradas en tres pruebas de tempera tura, Tabla 8, presentar una concordancia muy aceptable; sin embargo los valores - registrados son en su mayoría tensiones, en muchos casos más allá de la fluencia. - En una estructura de este tipo, sometida a un aumento de temperatura, esta distribución de esfuerzos no es aceptable.

Se hizo un cálculo aproximado de una mitad del arco central, considerándolo empotrado en el centro del claro y articulado en el apoyo; un incremento — de 20° C produce en esta estructura esfuerzos máximos de 75 kg/cm².

En la Fig. 34 se muestra la elástica de un arco central sometido a

un incremento de temperatura de 20°C, calculada sin tener en cuenta las restricciones de los arcos en dirección normal; también se presenta la elástica medida para el mismo arco en una de las pruebas de temperatura. Los esfuerzos máximos correspondientes a la deformación teórica son de 70 kg/cm². Las elásticas teórica y experimental son muy semejantes, lo que indica que los esfuerzos también deben serlo.

De lo anterior se deduce que las lecturas de las celdas no correspon den a deformaciones reales en las barras, sino que son debidas a efectos de tempera tura sobre la celda.

El hecho de que las deformaciones unitarias hayan sido consisten-tes en las distintas pruebas, indica que el defecto no se encontraba en la forma de prueba sino en un efecto no compensado de la temperatura sobre el sistema de medición.

La configuración de asentamientos descrita en el inciso 3.2 trató - de reproducir la condición más desfavorable de asentamientos diferenciales de la cimentación. En ésta el asentamiento diferencial máximo en el apoyo del arco central corresponde aproximadamente a 40 cm en el prototipo, variando linealmente a cero - hacia los arcos extremos; el valor máximo esperado del hundimiento diferencial es de 10 cm pero se exageró con el fin de que los esfuerzos fueran fácilmente registrables. Los resultados tanto de deflexiones como de esfuerzos presentan algunas diferencias, que son debidas a la imposibilidad de poder reproducir exactamente la misma configuración de asentamiento.

Los esfuerzos que se muestran en la Fig. 32 son en general de - - compresión, pero en los tirantes de las secciones cerca de los apoyos desplazados - se presentan esfuerzos de signo contrario en las dos caras que indican la presencia de flexiones importantes.

Los esfuerzos correspondientes a un hundimiento máximo de 10 cm en el prototipo son en general del orden de 300 kg/cm² en los tirantes y de 150 — kg/cm² en las diagonales cerca de los apoyos; en los arcos alejados de los apoyos desplazados, los esfuerzos son ligeramente menores.

Los resultados de la superposición del efecto de viento y carga vertical mínima presentados en la Fig. 33 muestran que los esfuerzos son muy pequeños en casi todas las barras; en general mayores en los tirantes que en las diagonales. La concordancia entre los resultados de las diferentes pruebas idénticas es - aceptable.

Las deflexiones medidas fueron también pequeñas, con una distribución irregular debida a la misma distribución irregular de magnitudes y direcciones - de las cargas aplicadas.

6. CONCLUSIONES

6.1 Pruebas del arco aislado

Los ensayes del arco aislado permitieron establecer algunas conclusiones de interés para el prototipo.

El comportamiento es similar al de un arco biarticulado, siendo la - intersección extrema de las diagonales la que se comporta como articulación sin que sufra por la rotación ningún daño evidente.

Por efecto de carga vertical se presentan compresiones en todos los miembros, y momentos flexionantes muy bajos. Los esfuerzos transformados al prototipo, son de 500 kg/cm² en algunas barras y en general del orden de 250 kg/cm². La deflexión para la carga de diseño es de 5 cm en el prototipo.

Para desplazamientos horizontales la rigidez del arco es pequeña y las flexiones que se producen son tomadas casi exclusivamente por los tirantes; los esfuerzos que se introducen en éstos, por cada centimetro de movimiento horizontal de un apoyo, son del orden de 25 kg/cm².

La desviación del eje de los tirantes, disminuye la rigidez a flexión y produce esfuerzos adicionales en los tirantes que pueden ser de consideración.

6.2 Pruebas del modelo completo

Las distribuciones de esfuerzos encontradas en el modelo estructural revelaron que la seguridad de la estructura es satisfactoria y puede preverse un - comportamiento adecuado en las condiciones de trabajo: los esfuerzos por carga vertical no exceden 700 kg/cm², los debidos a asentamientos diferenciales de 10 cm entre los apoyos y el centro de uno de los lados llegan sólo a 450 kg/cm², que sumados a los primeros producen totales que se mantienen dentro de límites tolerables.

Las presiones de viento y los cambios de temperatura producirán ni veles de esfuerzos muy bajos. Por lo que respecta a los cambios de temperatura, la afirmación se basa más en consideraciones teóricas que en mediciones experimenta-les ya que las pruebas, en este caso, no llevaron a resultados fidedignos de los esfuerzos.

BIBLIOGRAFIA

- 1. Sotelo, G. y Springall, R., "Palacio de los Deportes. Estudio del efecto del viento sobre la estructura", Informe No. 134, Instituto de Ingeniería, Feb. 1967.
- 2. Meli, R., Olivares, A. y Esteva, L., "Palacio de los Deportes. Ensaye demodelos estructurales de la cubierta", Informe No. 139, Instituto de Ingeniería, Dic. 1967.

Tabla 1 Prueba de efecto estático de viento y carga vertical en la cubierta.

Obtención de las fuerzas resultantes

PUNTO	Cc	CV	C'p	۴ _V	α	F _W	FR	θ
1	0.60	- 0.55	- 0.10	-18	42° 38'	211	226	3° 06'
2	1.75	- 0.25	0.42	73	35° 35'	205	152	16° 15'
3	2.20	0.20	0.87	136	33° 04'	184	102	46° 38'
4	2.60	0.45	1.17	204	35° 35'	205	125	71° 45'
5	1.75	0.50	0.92	165	42° 38'	211	143	51° 15'
6	1.75	- 0.25	0.42	73	35° 35°	205	152	16° 15'
7	2.20	0.15	0.84	145	22° 45'	204	90	38° 34'
В	2.80	0.55	1.30	244	16° 32	220	- 71	101° 191
9	2.40	0.70	1.27	221	210 091	204	86	89° 48'
10	1.35	0.55	0.82	143	35° 35	205	122	43° 10'
11	2.20	0.20	0.87	136	33° 04°	184	102	46° 38'
12	2.80	0.55	1.30	244	16° 32	220	- 71	101° 19'
13	2.55	0.70	1.32	268	00	239	- 29	1800
14	1.30	0.55	0.80	150	16° 32	550	87	29° 15'
15	0.75	0.35	0.48	76	33° 04	184	127	19° 01'
16	2.60	0.45	1.17	204	35° 35	205	125	71º 46'
17	2.40	0.70	1.27	221	210 09	204	86	89° 48'
18	1.30	0.55	0,80	150	16° 32	220	87	290 151
19	0.60	0.30	0.40	70	22° 45	204	142	10° 59'
20	0.35	0.30	0.32	55	35° 35	205	163	11° 19'
21	1.75	0.50	0.92	165	42° 38°	211	143	51° 15'
22	1.35	0.55	0.82	143	35° 35	205	122	43° 10'
23	0.75	0.35	0.48	76	35° 35	184	127	19° 01'
24	0.35	0.30	0.32	55	35° 35	205	163	110 191
25	0.24	0.40	0.35	63	42° 38	211	170	14° 31'

Tabla 2 Prueba de cargo vertical en un arco aislado

Sección	Barra	σ _l kg/cm ²	σ ₂ kg/cm ²	σ _N	N kg	ka I	V Ka	ΣH	ΣV	H Te óric o ko	V Teórico kg
	11-15			300**	273**	270**	- 39				
	12-14	226	400	323	295	257	161				
5	11-14	i512	74	343	131	12છે	28	725**	166		150
	12-15	180	196	188	72	70	15				
	17-15	123	216	172	157	143	- 65				
	16-14	242	210	229	210	201	59	:			
7	17-14	780	186	483	185	185	13	714**	14** 20		50
	15-15			483	185						
	15-15			400	100	195**	13			660	
	11- 5		250	250*	223*	172*	150*				
	12- 년	244	254	249	227	227	130-				
9	12- 4	136	230	233	89	1		564*	223*		250
	11- 3	16	444			მ 3	31				
	11= 5	10	444	230	러러	92	31				
	5 3	294	244	269	246	420	900			1	×
	_			269	246	132	207				
11	6-2	353	340	349	320	306	92	619	405		450
	5- 2	106	314	210	30	64	47				
	ال - 6	160	346	253	97	77	59			<u> </u>	

BIBLIOTECA GENTRAL,
U. R. & M.

Tabla 3 Prueba de desplazamiento horizontal (1.9 cm) en un apoyo del arco alstado

Sección	Barra	σ ₁ kg/cm	σ ₂ Eg/cm ²	σ _N	N kg	H kg	V kg	ΣH	ΣV kg	Ņ kg → m	R = M kg
5	11–15 12–14 11–14 12–15	+ 2 1284 - 652	- 76 - 32 - 510 - 634	- 76* - 15 - 397 - 643				- 33	- 37	62	39
7	17–15 18–14 17–14 18–15	+ 4 +1005 - 618	- 28 - 46 + 6 - 732	- 10 - 21 506 - 675	- 9 - 19 193 - 256	- 8 - 19 191 - 255	- 4 + 5 14 - 19	- 90	- 3	72	40
9	11- 9 12- 8 11- 8 12- 9	- 35 + 336 - 356	- 96 - 103 + 570 - 612	- 43# - 72 453 - 484	- 44* - 65 172 - 194	- 33* - 65 161 - 172	– 2d* 0 60 – 65	- 109	- 33	56	41
11	5-3 5-2 5-2 5-3	66 - 6 100 - 186	- 32 - 110 140 - 252	17 - 53 120 - 219	16 - 53 45 - 83	9 - 51 35 - 66	14 - 40 - 27 50	- 72	- 49	19 '	36

Tabla 4 Prueba de carga vertical en un arco aislado. Efecto de la eliminación de tirantes

Secc.	Bar	r.o.	Esfuerzo, kg	/ cm ²
Jacc.	oar.		1	2*
1	1	2	416	382
	1	3	528	494
	5	9	305	274
3	6	8	332	264
	5	8	102	43
	6	9	551	563
	11	15	-	-
5	12	14	323	292
	11	14	-	-
	12	15	188	320
·	17	15	172	317
7	18	14	229	283
ĺ	17	14	483	187
	18	15	-	-
	11	9	250	330
9	12	8	249	267
	11	8	233	168
	12	9	230	251
	5	3	269	253
11	6	2	349	349
''	5	2	210	228
	6	3	253	329

^{*} La prueba 1 corresponde al arco intacto, en la prueba 2 se eliminaron los tirantes 14-17, 14-11 y 18-15

Tabla 5 Prueba de carga vertical en la cubierta. Esfuerzos en el modelo en tres pruebas iguales

				czos er	
Secc.	Barra	Celda	kg/cm², para la prueba		
			1	2	3
	TS	1	-240	-210	-220
	13	2	-210	-150	-190
	DS	3	160 150	-	70 10
2 - 8,C	DI	2 1 2 1	-	-70	-150
	υı	2	-	-140	_
	TI		30	60 40	10 60
	TS	2	-470	-450	-450
	15	2	-160	-140	-140
	05	1	-	-390	-350
F-1,2	[2 1	_	-220	- -140
	DI	2	-	-370	-300
	l TI		-310	-270	-300
	ļ	2	-300 -140	-230 -110	-240 -110
	TS	2	-150	-110	-110
İ	DS	1	-	-10	20
2-G,H		2	-	20 -160	30 -110
	DI		-	190 190	-180
	ΤI	2		-	120
		2	-20	0	10
	15	2	-260 -250	-280 -130	-240 -150
	DS	1	-90	-360	-330
F-3,4	1 00	2	-50	-330	-310
	DI	2	40	-70 -170	-20 -190
	1	1	-310	-230	-200
	TI	2	-200	-210	-250

Secc.	Barra	Celda	Esfuerzos en kg/cm², para la prueba			
			1	2	3	
	TS	1 2	-330 -140	-290 -170	-280 -510	
4-D,E	DS	1 2	70 80	-60	-130 -40	
4-0,6	DI	1 2	-200 -190	-300 -290	-240 -290	
1	TI	1 2	90 90	-120 -50	-100 -60	
	TS	1 2	-300 -220	-230 -200	-180 -130	
	DS	1 2	-240 -380	-290 -310	-230 -300	
4-H, I	DI	1 2	-100 0	-140 -50	-300 -180	
	ΤI	1 2	-250 -170	-200 -150	-210 -210	
	TS	1 2	-290 -230	-160 -140	-230 -180	
	os	1	-260 -170	-320 -280	-350 -310	
F-5,6	DI	2 1 2	60 0	40 90	-90 -130	
	ΤI	2 1 2	-290 -40	-270 -10	-240 40	
- u	os	2 1 2	-260 -350	-310 -320	-330 -410	
ß–K	DI	1 2	-350 -480	-180 -510	-450 -500	

Secc.	Barra	Celda	Esfuerzos en kg/cm ² ,para la prueba			
			1	2	3	
	TS	1 2	-400 60	-480 -20	-480 -20	
6-I,J	DS	1 2	-430 -480	-300 -290	-300 -330	
0-1,0	DI	1	- 170 - 140	130 0	-20 -40	
}	ΤI	2 1 2	-30 -50	-40 -60	100 90	
	TS	1 2	-350 130	-280 70	-310 60	
	DS	1 2	120 130	20	0 -50	
6-G,H	DI	2 1 2	-380 -420	-240 -210	-290 -300	
	TI	2 1 2	-40 10	-10 -10	80 50	
	TS	2 1 2	-380 -40	-440 -280	-450	
	DS	1 2	-370 -290	~190 ~260	-390 -320	
8-J,K	DI	1 2	-90 -240	-70 -200	-130 -320	
	ΤI	1	-250 -250	-280 -270	-320 -310	
	75	2 1 2	-250	-300	-320	
	DS	1 2	-170 -190	-90 -140	180 150	
10-J,K	DI	1 2	-220 -110	-130 20	-120	
	TI	1 2	30 120	10 -120	-110 -150	

Tabla 6 Prueba de carga vertical en la cubierta

Secc.	Barra		Esfuerzos,en kg/cm²,para varios niveles					
		200	400	500	0			
	TS	- 70 - 70	-220 -190	-110 -100	- 10 - 20			
	DS	60 40	90 30	10	- 50 - 40			
2-8,C	DI	- 20	-130	- 80	0			
	TI	50 50	. 10 60	- 10 20	- 20 - 20			
	TS	180 40	-450 -140	-230 - 80	- 10 0			
~ 4 0	DS	-110	-330	- 16O	- 20			
F-1,2	DI	- 10 -130	120 280	- 90 - 180	- 50 - 50			
	Τİ	-110 - 70	-300 -240	-140 -100	30 40			
	TS	- 20 - 30	-110 -110	- 50 - 50	10 0			
2 - G,H	DS	50 40	40 50	10	90 - 40			
z - u,⊓	DI.	10 20	- 90 - 160	- 10 - 90	- 20 - 50			
	TI	90 10	120	120 30	150 20			
	TS	- 90 - 80	-240 -150	-110 - 60	10 10			
F-3,4	DS	-110 -130	-310 -290	180 160	- 60 - 60			
	DI	30 - 60	- 170	10 - 80	0 - 20			
	TI	- 60 -120	-200 -250	- 90 -130	20			

Secc.	Barra		rzos,e s nive	n kg/cr les	n ² para
		200	400	200	1 0
	TS	-110	-280	-120	30
					!
	ຄຣ	- 20	-110	- 70	- 60
4-D,E		- 10 - 40	- 20 -220	- 30	- 40
	OI I	-130	-270	-120 -160	- 30 - 30
		- 20	- 100	- 40	30
	11	- 20	- 60	- 40	10
	TS	1 10	-290	-130	0
		- 90	~180	- 90	10
	DS	- 100 - 140	-210	-120	- 20
4-H,I	1	- 70	280 160	-160 -110	- 40 - 50
	DI	- 40	-110	- 80	- 40
	11	- 100	-210	-110	- 10
	11	- 80	-210	-140	- 70
	15	- 90	-230	-110	50
	\	- 90 -150	-180 -330	- 90 -160	10
	DS	-120	-250 -250	- 130	- 20
F-5,6		- 50	- 70	- 30	- 30
	וט	- 20	-110	- 50	- 40
	TI	-100	-240	100	30
		30	40	40	40
	DS	-130 -190	-310 -390	-140 -220	- 20
6-K		-290	-450	~240	-110
	DI	-250	-500	-500	- 30
	}				}
				i	
	. 1			1	l

Secc.	Barra	Esfue vario	rzos,e s nive	n kg/cr	,para
		200	400	200	
	TS	-550 -550	-480 - 20	-250 - 30	- 60 0
6- I, J	DS	-160 -150	-300 -330	-130 - 80	- 20 - 10
	01	0 - 50	- 20 - 80	40	- 20 - 60
	Τſ	- 50 - 50	-100 -190	- 60 - 50	- 30 - 30
	TS	10 0	-290 60	-180 20	- 30 - 20
љ-G, Н	DS	- 20 - 70	0 - 50	10 40	- 30 - 20
1:5-0;11	DI	-160 -160	-290 -300	140 130	- 40 - 20
	ΤI	- 50 - 40	- 80 - 50	- 50 - 10	- 30 - 10
	TS	-250 	-450 	-240 	- 60
8-J.K	os	-250 -170	-390 -320	-210 -150	- 70 0
0-0,10	DI	- 70 -180	-130 -320	- 40 150	- 20 - 50
	ΤÏ	~180 ~190	-320 -310	-170 -170	- 20 - 30
	TS	-170 	-320	- 160	- 40
10-J,K	DS	1 10 90	~180 ~150	- 70 - 40	10 10
	DI	- 80	-120 	~ 20 —	20
	ΤΙ	- 30 110	-110 -150	- 90	+ 60 0
	ΤΙ		Į.	3	

Tabla 7 Prueba de carga vertical en la cubierta. Deflexiones en el modelo en dos pruebas

PUNTO	DEFLEXIO	N, en mm
	Prueba 1	Prueba 2
1	0.3	0.2
2	0.6	0.6
3	0.8	0.7
4	0.5	0.5
5	0.2	0.3
6	0.8	0.7
7	1.4	1.1
8	1.5	1.7
9	1.2	1.2
10	0.8	0.7
11	0.8	0.6
12	1.6	1.6
13	1.8	1.9
14	1.5	1.4
15		
16	1.0	0.8
17	1.5	1.4
1 8	1.7	1.4
1 9	1.2	1.3
20	0.8	0.7
21	0.7	0.8
22	0.9	0.7
23	0.7 0.7	
24	0.9	0.7
25	0.6	0.5

Tabla 8 Prueba de temperatura en la cubierta. Deformaciones unitarias en el modelo en tres pruebas

			Deformaciones uni-			
Secc.	Barra	Celda	tarias,para la prueba			
			1	2	3	
	TS	1 2	450 300	425 285	440 300	
	DS	1	_	400	580	
2-B,C	0.5	2 1	620	630	565	
·	DI	1 2	-	1945	1580 2175	
	TI	2	280	245	285	
	11	2	105	60	65	
	TS	1	355	335	330	
		2	80	75 350	50 280	
F-1,2	DS		-	1820	1950	
1,2	ÐΙ	2	490	465	425	
		2	525	495	280	
27.5	, TI	5	125 160	105	115 120	
	TS	1	325	300	300	
radio Ale	Page 1	2	150	135	140	
	OS		550 515	510 500	450 445	
2-G,H	DI	2	595	585	490	
	DI	2	570	555	470	
	TI	1	-	65	335	
		2	190 265	150 155	170 145	
	TS	2	175	165	170	
	DS	1	490	450	405	
F-3,4		2	375	380	325	
	DI		410 400	400 370	350	
		2	400 -5	-35	315 -35	
	TI	2	15		-15	

Secc.	8arra	Celda		acione ,para	
			1	2	3
	TS	1	210 415	165 285	195 270
}	os	1	445	420 400	375 355
4-D,E	DI	1	350 445	360 410	305 365
	τι	2 1 2 1 2 1 2	120 75	55 35	80 35
	TS	1 2	260 270	220 215	225 215
[DS	2 1 2	280	240 250	205
4-H,I	ŊΙ	1	285	250 250 245	210
ļ	ŢĮ	2 1 2 1 2	120 135	75 100	85 120
	TS		590 5	385 -825	360 -820
ļ	DS	1	225 290	210	160 245
F - 5,6	DI	1 2 1	-	270 275	250 255 265
	ΤI	1	-50 -25	-70	-75 -90
	ບຣ		325	310	270 295
6-K	υı	1 2	-	5 75	15 55
6 - -K	ບຣ	1 2 1 2	-75	-70 -100 310 325 5	The second second second

Secc.	Barra	Celda	Deform tarias prueba	, para	
6 - I J	TS DS DI TI	1 2 1 2 1 2 1 2	1 -40 1210 100 75 95 100 105	2 -25 1445 95 85 110 110 100	3 -55 360 90 80 90 85 95
6-6,н	TS DS DI	1 2 1 2 1 2	- - - - 80 90 135	190 40 70 65 55 70 100	210 25 50 85 140 55
8-J,K	TS DS DI	2 1 2 1 2 1 2 1 2	100 - -25 55 -20 5 20 30	85 125 690 25 7 25 20 25 55	80 110 320 -10 80 -15 30 20
10-J,K	TS DS DI TI	1 2 1 2 1 2	110 150 -30 -240 -	125 375 -25 -25 -25 -35 -35 -40	115 720 -20 -25 -35 -40 65 -30

Tabla 9 Prueba de temperatura en la cubierta.
Deflexiones en el modelo en tres pruebas

PUNTO	DEFLEXION, en	mm, PARA LA PRU	EBA
	1	2	3
1	0.3	0.3	0.2
2	0.5	0.4	0.1
3	0.5	0.7	0.7
4	1.1	0.9	1.0
5	0.7	0.7	0.6
6	0	0.3	0.2
7.	0.3	0.2	0.2
8	0.8	0.9	1.0
9	1.6	1.5	1.8
10	0.9	0.8	1.2
11	- 0.1	0.4	o
12	0.1	0.2	o
13	0.9	1.0	1.0
14	2.0	1.9	2.1
15			
16	0.1	0.3	0.1
17	0.3	- 0.1	0.1
1 8	0.8	1.0	1.1
19	0.7	1.2	1.6
20	1.1	1.1	1.0
21	0.1	0.5	0.2
22	0.1	0.5	0.2
23	0.6	0.7	0.4
24	1.1	1.0	0.9
25	0.7	0.8	0.7

Tabla 10 Prueba de desplazamiento vertical de la cubierta. Esfuerzos en el modelo en dos pruebas

Secc.	Barra	Celda	Esfuerzos en kg/cm para la prueba			
			Hacia abajo	Hacia arriba		
	TS	1 2	-130 -110	100 50		
2-B,C	os	1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1	-150 -160	320 320		
2 0,0	DI.	1 2	-140 -110	100		
ļ	TI	1 2	-170 -180	330 270		
	TS	2	350	70		
F-1,2	os	2	350	-160 		
- ', '	DI.	1 2	330 350			
	ΤÏ	1 2	460 410	-270 -240		
	T5		-230 -260	360 340		
2-G,н	DS .	1 2	-160 -150	400 370		
2-0,11	DI	1 2	-110 - 80	360 280		
	ΤI	1 2	- 40 - 30	- 90 0		
F-3,4	TS	2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2	· 180	- 20 - 10		
	DS	2	190 320			
	DI	2	310 290			
	TI	1 2	430 460	210 300		

Secc.	Barra	Celda	Esfuerzos en kg/cm para la prueba			
			Hacia	Hacia		
		,	abajo	arriba		
'	TS	1	-500 -160	510		
	DS	1 2	-310 -190	440 270		
4-D,E	OI	1 2	-130 - 40			
	ΤI	2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1	- 30 - 30	60 70		
	TS	1 2	-130 80	280 190		
4-H,I	05	1 2	-200 -405	350 490		
4-0,1	DI	1 2	-120 10	260 210		
•	75	1 2	-200 -200	450 210		
	TS	2 1 2	350 260	-160 -110		
	ວຣ	1 2	400 360	-110 		
F-5,6	DI	1 2	370 450			
	.TI	2 1 2 1 2 1 2 1	6 1U 60	-420 140		
6-K	OS	1 2 1	- 60 -120	180 310		
	or	1 2	-270 -300	210 350		

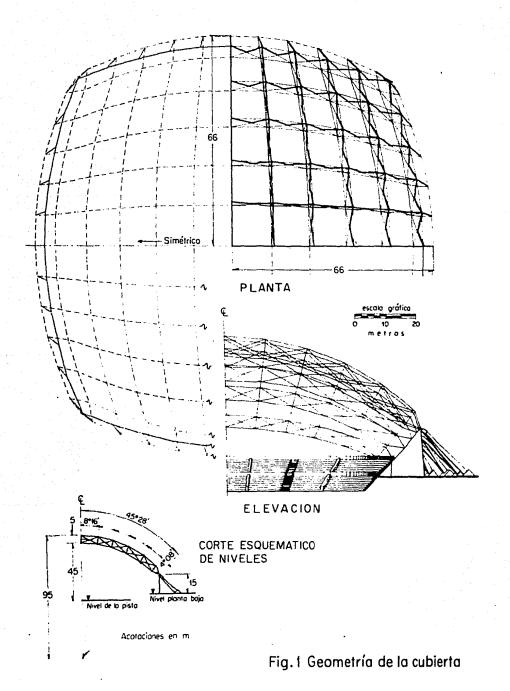
Cnes	Barra	Celda	Esfuerzos en kg/cm² para la prueba			
Secc.	barra	CETOS				
			Hacia	Hacia arriba		
			abajo 140	-170 -170		
	TS	1	200	-170 -160		
		1	-16D	210		
	05	2	-290	130		
6-I,J	DI	2 1 2 1 2 1 2 1	-170	500		
	01	2	-190	230		
	TI	1	-380 -470	330 390		
			-410	480		
	TS		10	0		
	OS	2	-230	240		
6-G,H	US	2	-200	190		
0-0,11	DI	2 1 2	-200			
		1	-120 - 10	-170		
	TI	;	- 10	-120		
	TS	2	140	-120		
	15	2	30	(
	DS	1	-140			
8-J,K		2	-140 -160			
	IC	2	-250	200		
	ΤI	1	-370	280		
	11	2 1 2 1 2 1 2 1	-360	270		
	TS		-110	-210		
10-J,K		2	-350	290		
	DS	2	-350 -430	310		
	DI	2 1 2 1	-520	310		
	ΩŢ	2	-400	300		
	TI	1	-400	460		
	_	2	-770	570		

Tabla II Prueba de efecto de viento y carga vertical en la cubierta. Esfuerzos en el modelo en tres pruebas

Secc.	Barra	Celda	ESfuerzos en kg/cm² para la prueba		
			1	2	3
}		1	20	-570	-48Q
	TS	S	-300	-440	-340
[DS	[1			
2-B,C	US	2	3000	210	120
2-0,0	DI		10	- 40	-110
1		2	60	- 10	-100
ł	ΤI		630	540	460
 		2	560	460	430
	TS		60	- 20	50
1		2	60 10	70 - 30	60 -120
	DS	ż	10	- 33	- 120
F-1,2	[1	-110	-130	-250
	DI	2	O	- 20	-110
]		1	-100	-160	-130
	ΤI	2	- 60	-110	- 90
	TS		330	250	5.20
]	'	2	260	250	580
	DS	1	80	20	- 10
2-G,H		2	140	60	U
ļ '	DI.		- 20	20	- 10
		2	- 80 -220	40 - 80	~ 10 ~190
ł	TI		-130	-180	-140
	 	2	100	60	70
	TS		80	30	70
F-3,4	200	2	0	- 10	- 60
	DS	2	-100	- 50	-110
	DI	1	-160	- 60	-170
	51	2	-120	- 10	- 50
1	TI	1	- 80	- 80	- 60
ļ	1	2	- 70	- 70	- 80
			1		

Secc.	Barra	CCelda	Esfuer para l	zos en a prue	kg/cm² ba
			1	2	3
9 -	TS	1 2	-200 - 40	-250 -110	-200 - 60
4.5.5	DS	1 2	~120 70	160 90	- 30 30
4-D,F	DI	1 2	-170 -210	- 20 0	-150 -150
	ΊΙ	1 2	360 170	320 120	330 160
	ĭs	1 2 1	400 280	270 190	370 270
4-H,I	DS	1 2 1	100	- 60	- 70
4-M, I	DI	1 2 1	- 70 20	~ 200 ~500	-240 -130
	ΤI	1 2	-270 -150	-370 -170	-240 -140
	TS	1 2 1	30 40	70 10	70 80
F-5,6	DS	1 2 1	50 0	- 10 - 50	-110 - 90
r-5 ₁ 0	DI	1 2 1	30 40	- 40 - 10	-120 -110
	ΤI	1 2 1	- 50 - 20	- 70 - 30	- 40 10
6-K	DS	1 2 1	- 60 - 40	-170 -240	-230 -260
U-K	DI	1 2	30 30	90 190	- 90 -190

Secc.	Barra	Celda		zos en a pruel	
			1	_ 2	3
	TS	1 2	-130 -280	-310 430	-280 -270
	DS	1 2	-180 	- 80	- 90
6-I,J	DI	1 2	- 10 - 30	70 40	340 20
	ΤŢ	1	210 220	120 150	110 160
	TS	1 2	- 70 90	-170 90	-150 -90
	DS	2	- 10 10	80 60	100 130
6-G,H	DI	1 2	-140 -140	- 40 - 70	20
	ΊI	2	230 180	120 120	130 110
	TS	1 2	-270 - 20	-390 -160	-370 -130
או פ	DS	1 2	-		
8-J,K	DI	2121	-180 - 90	-120 - 60	-160 - 70
	ΤI		60 70	0 - 10	- 30 - 20
	TS	2 1 2	-160 300	-260 100	-250 130
10-J,K	DS	2	-190 	-120 	-140
	DI	1.	-190 - 50	- 90 0	-130 - 10
	ΤI	2 1 2	40 90	- 10 20	0 - 10



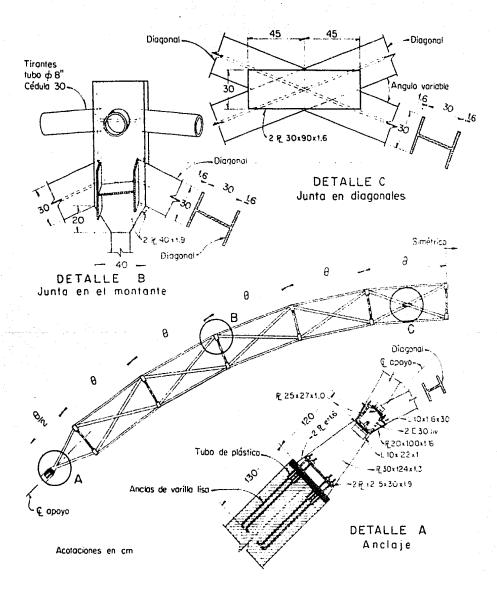
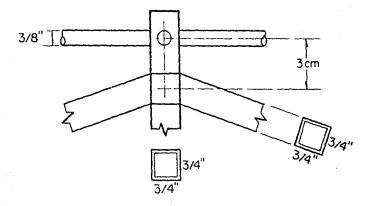
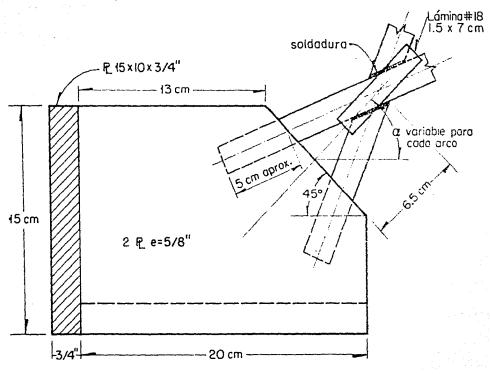


Fig. 2 Secciones, juntas y anclajes de los arcos en el prototipo



a) Junta en el montante



b) Junta en el apoyo

Fig.3 Detalles de juntas en el modelo

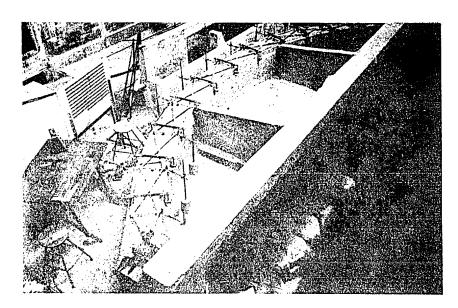


Fig.4 Disposición del ensaye del arco

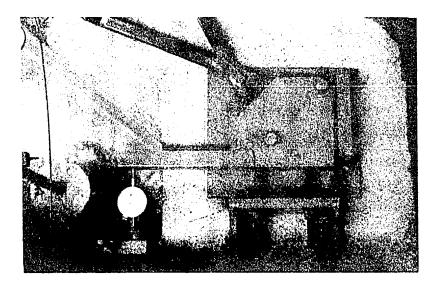


Fig.5 Detalle del apoyo derecho del arco

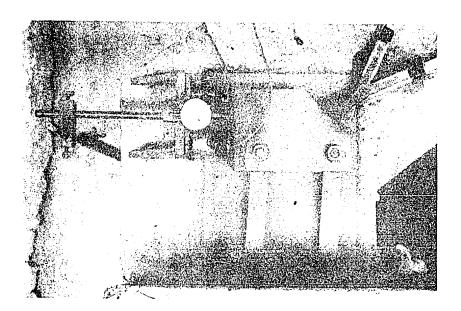


Fig. 6 Detalle del apoyo izquierdo del arco

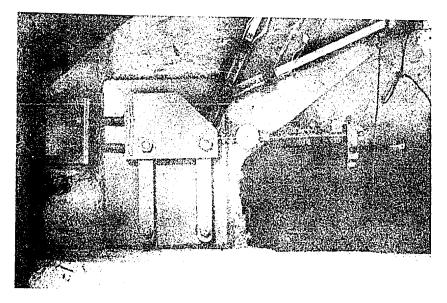


Fig. 7 Dispositivo para desplazamiento horizontal del arco

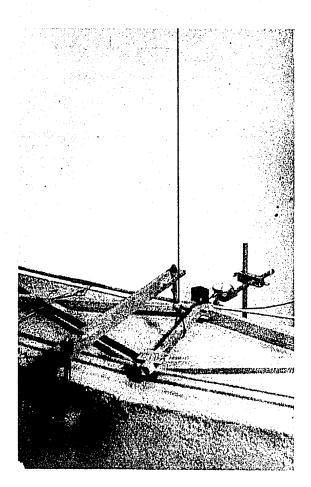


Fig.8 Protección contra pandeo lateral

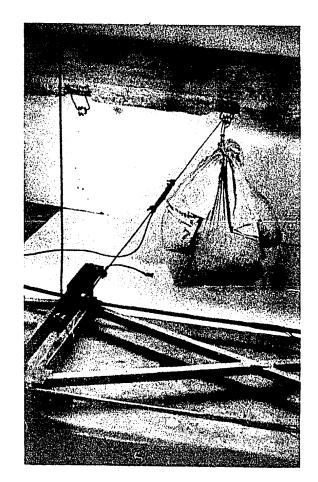


Fig.9 Dispositivo de carga y dinamómetro

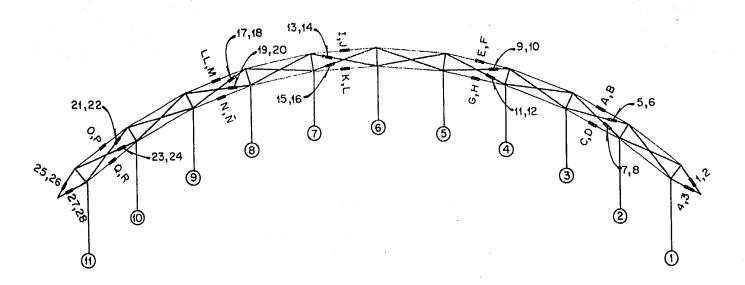


Fig.10 Localización de celdas y puntos de medición de desplazamientos

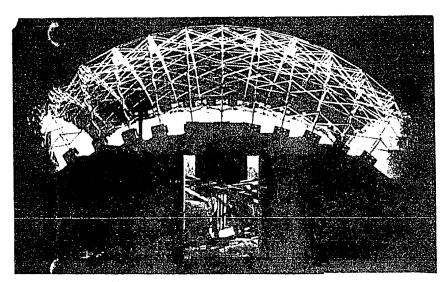


Fig.11 Modelo de la cubierta

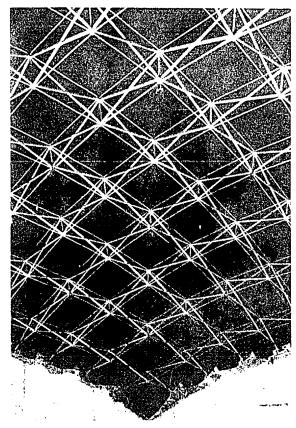


Fig.12 Detalle del modelo

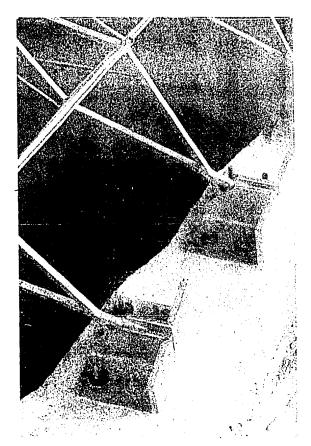


Fig.13 Apoyo fijo

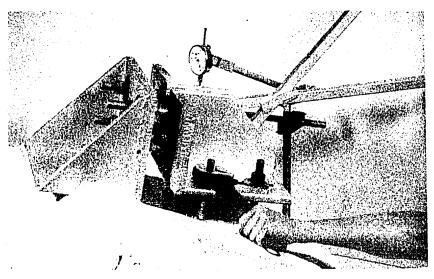


Fig. 14 Apoyo con desplazamientos controlables

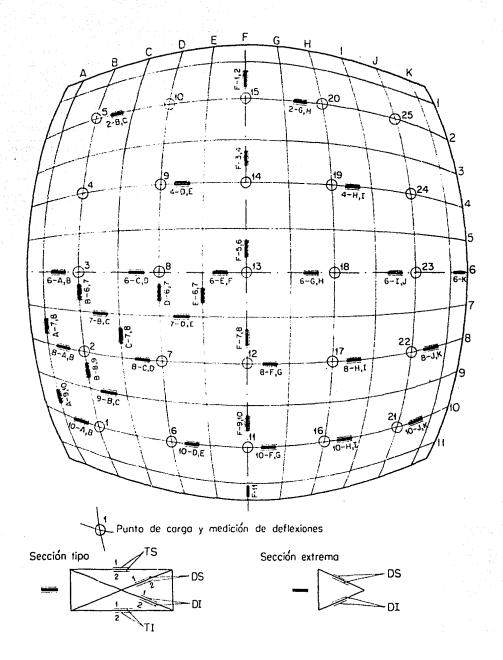


Fig. 15 Distribución de puntos de carga y medición

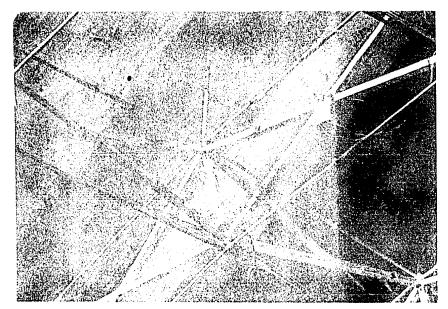


Fig.16 Celdas de resistencia eléctrica

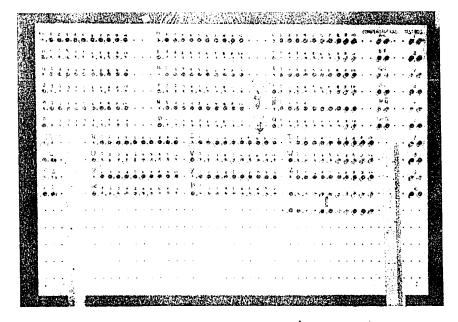
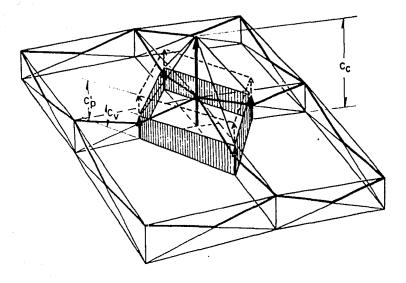


Fig.17 Tablero para conexión de celdas



coeficiente de presión equivalente $C_p^* = \left[C_V + \frac{1}{3} \left(C_C - C_V \right) \right]$

Fig. 18 Coeficiente de presión para efecto de viento

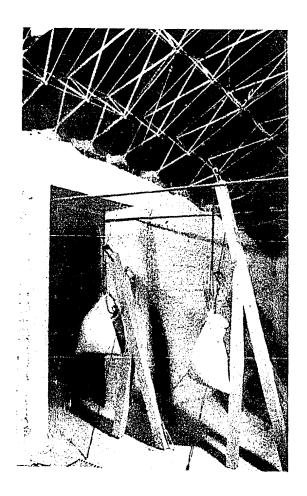


Fig. 19 Dispositivo de carga para prueba de viento

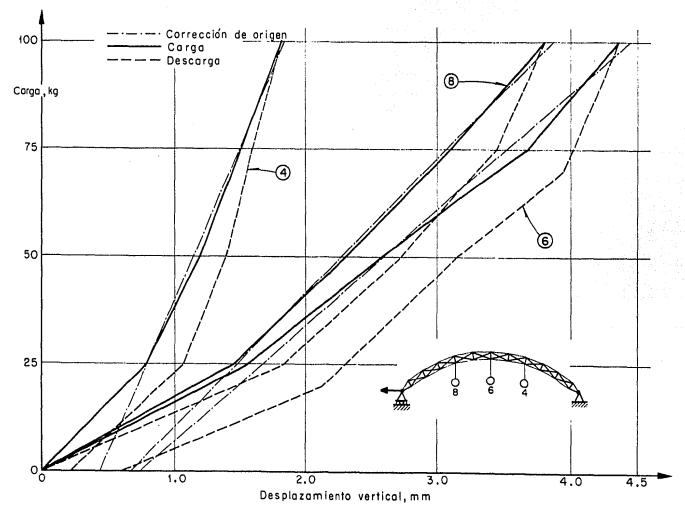


Fig. 20 Deflexiones bajo carga vertical

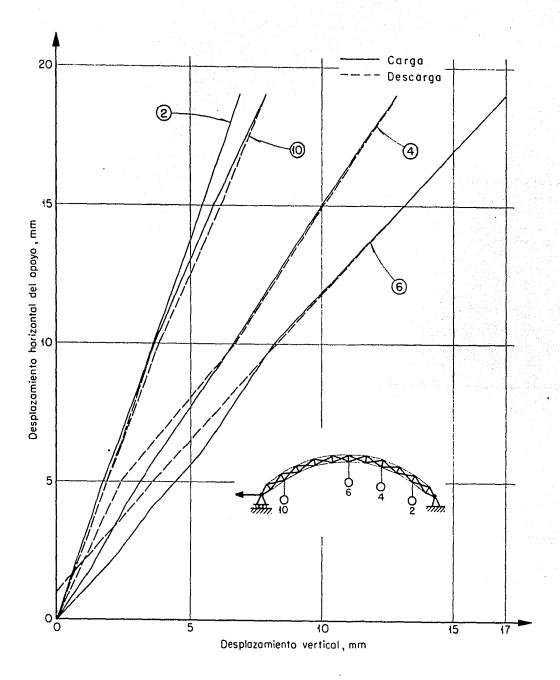
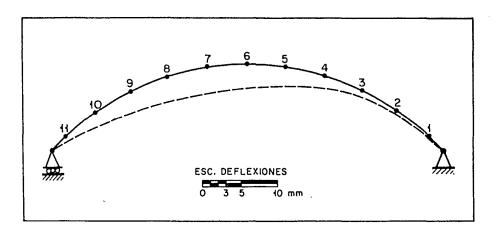
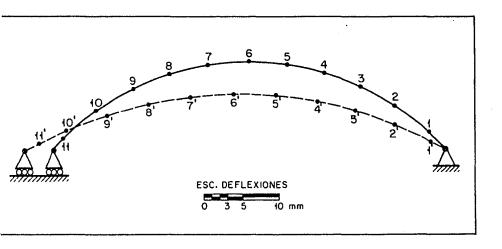


Fig.21 Deflexiones por movimiento horizontal de un apoyo del arco



a) Prueba de carga vertical



b) Movimiento del apoyo

Fig.22 Elástica del arco en las pruebas

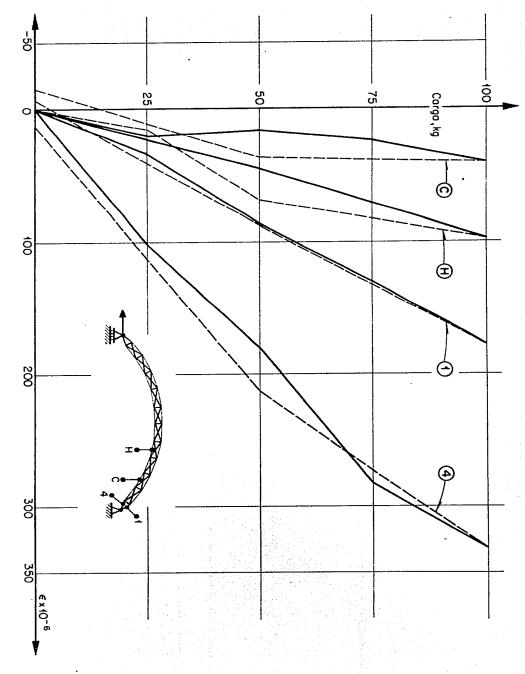


Fig.23 Deformaciones unitarias en las barras. Prueba de carga vertical

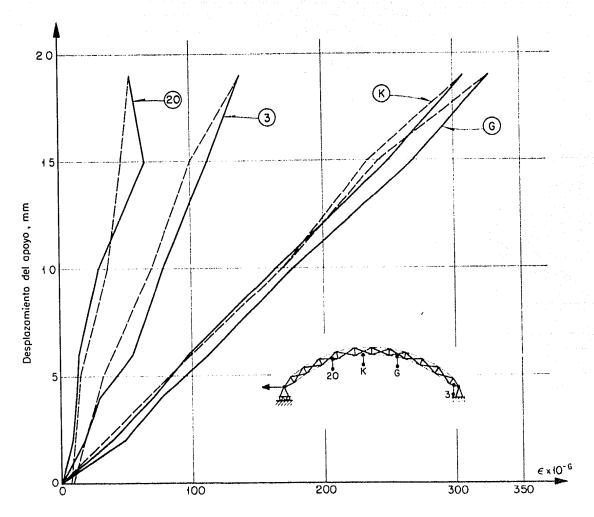


Fig.24 Deformaciones en las celdas. Prueba de desplazamiento horizontal

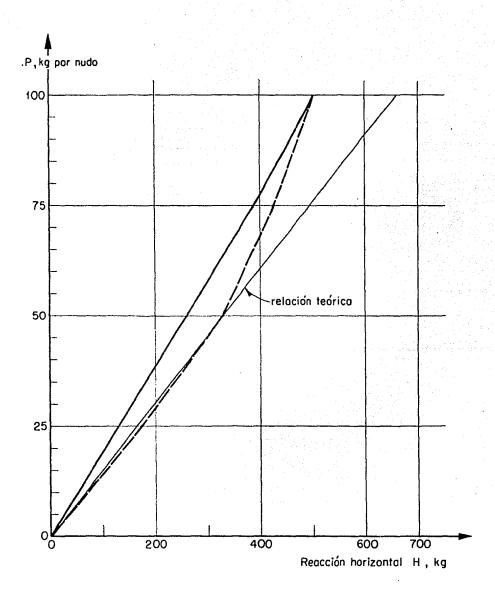
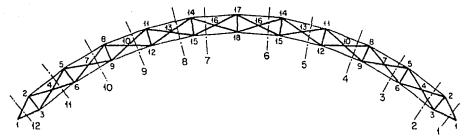
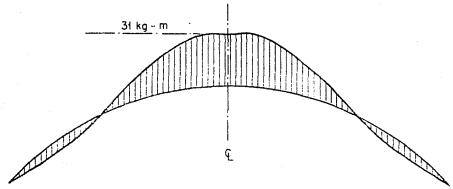


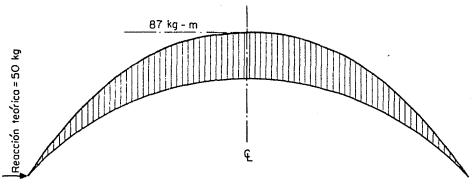
Fig. 25 Reacción horizontal. Prueba de carga vertical



a) Localización de puntos y secciones de medición de esfuerzos



b) Diagrama de momentos para una carga vertical de 100 kg por nudo



c) Diagrama de momentos para un desplazamiento horizontal de 1.9 cm

Fig.26 Esfuerzos y momentos en las pruebas

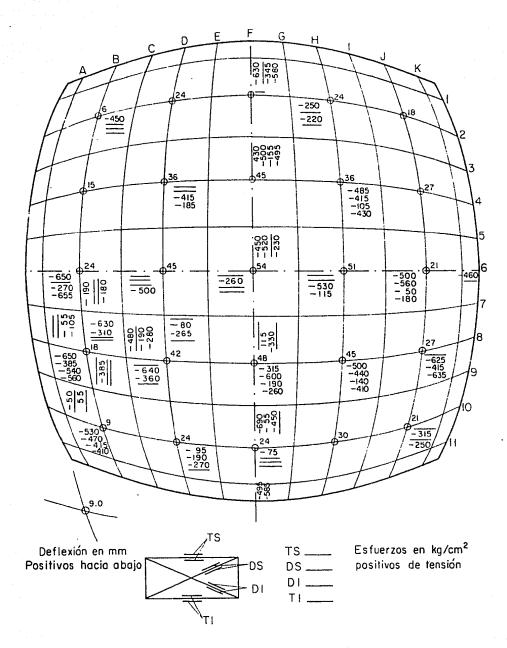
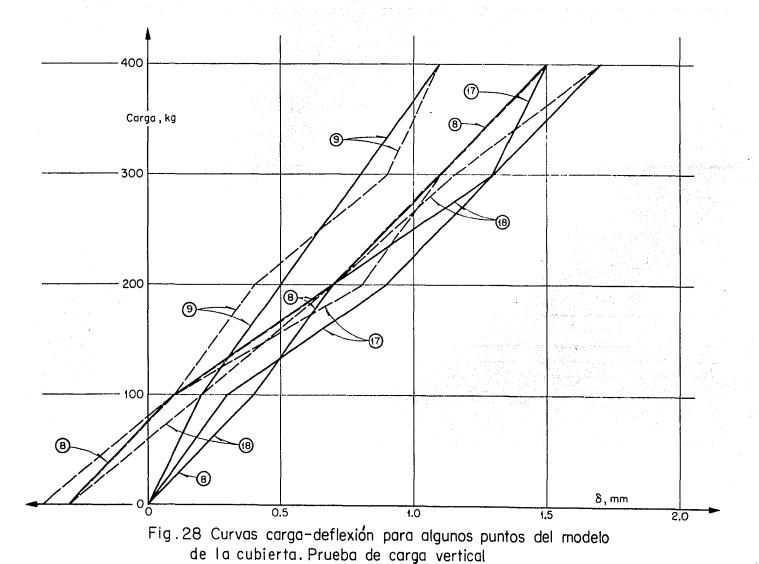


Fig. 27 Esfuerzos y deflexiones en el prototipo. Prueba de carga vertical



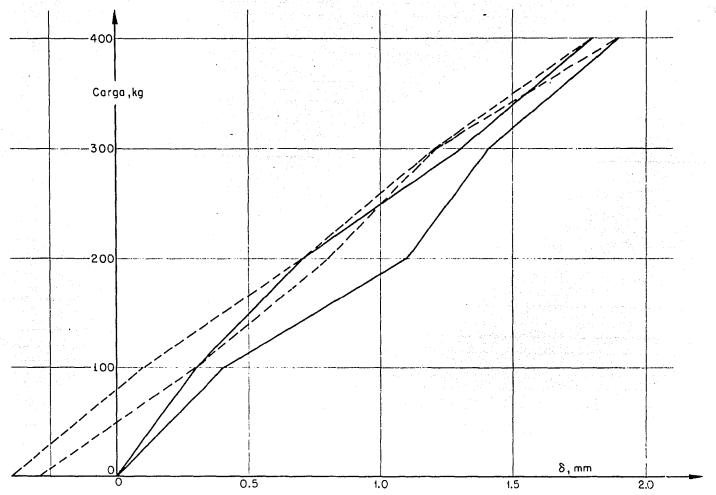
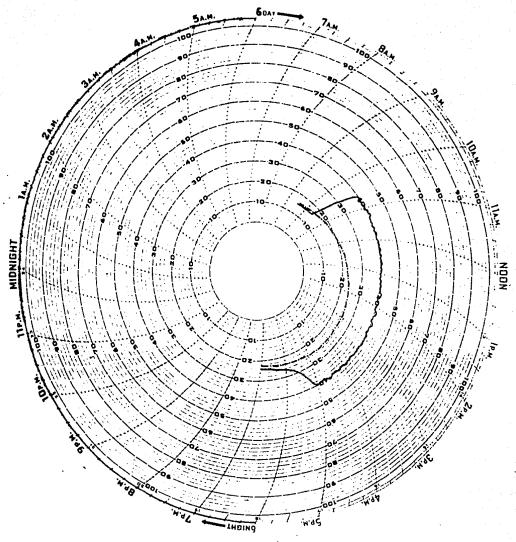


Fig. 29 Curvas carga-deflexión en el punto central del modelo de la cubierta para dos pruebas. Prueba de carga vertical



Temperatura registrada en la parte cubierta de la estructura

·-·--- Temperatura registrada en la parte descubierta de la estructura

Fig. 30 Registro de temperatura en una de las pruebas

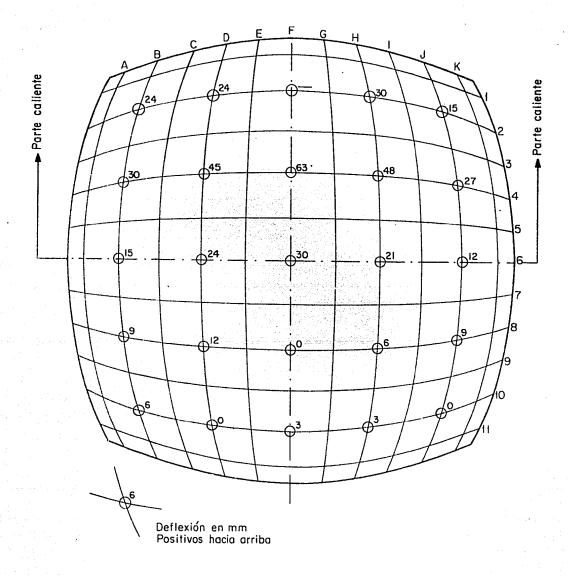


Fig. 31 Deflexiones en el prototipo Prueba de temperatura

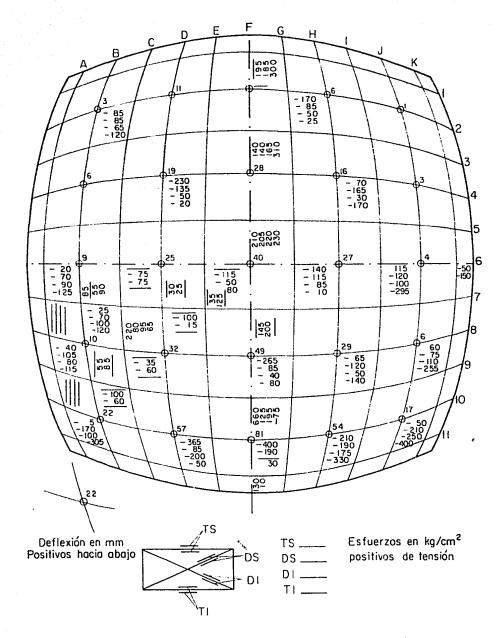


Fig.32 Esfuerzos y deflexiones en el prototipo. Prueba de hundimientos diferenciales

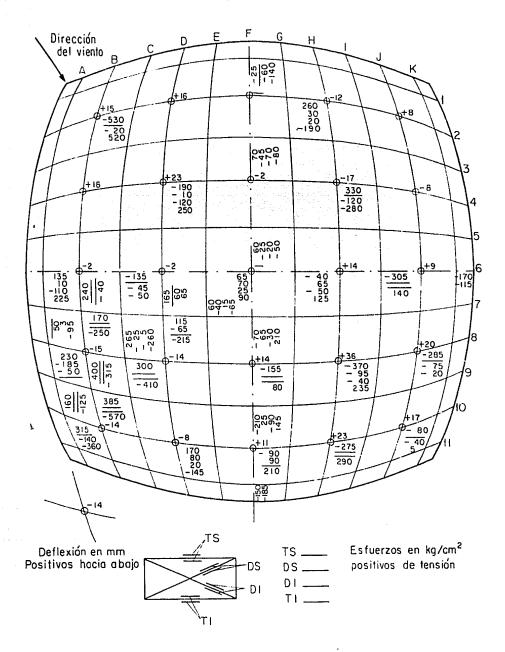
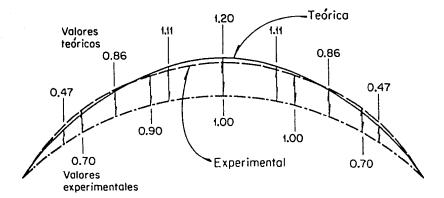
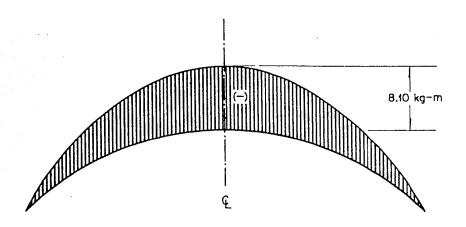


Fig. 33 Esfuerzos y deflexiones en el prototipo.

Prueba de efecto de viento y carga vertical



a) Elástica teórica y experimental para el arco central



b) Diagrama de momentos flexionantes, teórico, para el arco central

Fig. 34 Resultados teóricos y experimentales. Prueba de temperatura