

OBSERVACION DE ALGUNAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

Por MANUEL ROCHA, FERRY BORGES y JOSE MARECOS
del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, Lisboa.

Se describen en este interesante artículo las técnicas aplicadas y los resultados obtenidos por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil en la observación de estructuras de hormigón armado, especialmente en puentes. En primer lugar se exponen brevemente las ventajas de la observación de las estructuras. Sigue una descripción de los aparatos utilizados en la observación. Se dedica especial atención a las técnicas de medida de deformaciones y tensiones. Los resultados que se presentan se refieren a un puente de arco, tres puentes de vigas continuas, uno de hormigón pretensado, una cúpula y un gran monumento, lo que da idea del conjunto de la importante labor realizada.

I. Introducción.

Una de las características de las actividades del Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil es la importancia que se concede a la observación sistemática del comportamiento de las estructuras. Se han llevado a cabo investigaciones en puentes, presas de tierra y de hormigón, aprovechamientos hidráulicos, edificios, etc.

Se ha dedicado especial atención a la observación, por haberse llegado a la conclusión de que proporciona la información básica y revela los problemas que requieren investigación. De esta forma, evitando el estudio de los problemas "inventados", queda salvaguardada la economía de la investigación y garantizado su éxito.

En lo referente a la resistencia de las estructuras, fueron desarrolladas las teorías matemáticas de la resistencia de materiales y de la elasticidad mucho antes que pudieran ser comprobadas experimentalmente. Sólo ha sido posible decir, en términos generales, si una estructura, proyectada según una teoría particular, se comporta o no satisfactoriamente.

Los coeficientes de seguridad adoptados fueron los basados en una experiencia adquirida hasta una fecha determinada. Así, los métodos de cálculo tienen a menudo sólo el valor que corresponde a métodos empíricos. No representan condiciones reales, pero constituyen reglas que la experiencia ha sancionado como satisfactorias en circunstancias análogas. Sin embargo, habría que tender a que los métodos de cálculo, aunque no correspondieran a la realidad, tuvieran la garantía de ser teorías científicas válidas, por lo menos para las condiciones para las que se desarrollaron.

Es indudable que durante el siglo pasado no ha adquirido la observación de estructuras el desarrollo que hubiera sido de desear. En la actualidad es rela-

tivamente escaso el conocimiento que se tiene del comportamiento real de la mayoría de los tipos de estructuras.

Esta situación es debida, en primer lugar, a la forma en que están organizados los diversos elementos relacionados con la construcción, como son los proyectistas, contratistas, propietarios y autoridades, que se ocupan de la seguridad de las obras. Los proyectistas están interesados en comparar sus cálculos con los comportamientos de las estructuras, pero, por regla general, no poseen la necesaria especialización y los medios financieros para llevar a cabo la observación. A los contratistas y a los propietarios sólo les interesa que la estructura sirva el fin para el que fué construida, independientemente de si los clásicos concuerdan o no con el comportamiento de la estructura. Las autoridades que velan por la seguridad de las obras, se conforman corrientemente con una cuidadosa observación visual durante el primer período de la vida de la estructura, y, a lo sumo, en casos de mayor responsabilidad, con el llamado "ensayo bajo carga". Consiste éste en someter la estructura a cargas, que en la medida de lo posible reproduzcan las condiciones más desfavorables previstas en el proyecto, y en observar si se produce la rotura o deformaciones indeseables. Para ello, por regla general, basta con medir los corrimientos.

Otro motivo importante de la deficiencia en el conocimiento del comportamiento de las estructuras son las dificultades con que se tropieza en el desarrollo de técnicas satisfactorias para medir los valores que precisa el ingeniero. Actualmente, debido a la notable evolución alcanzada recientemente en la técnica de las medidas, es posible observar estructuras en condiciones satisfactorias, aunque se reconozca que aún existen ciertas deficiencias. Hay que mencionar la dificultad de determinar tensiones. Estas tienen una

importancia fundamental, ya que el proyecto de estructuras, desde el punto de vista de la resistencia, está basado en la consideración de las mismas.

Finalmente, otra causa del conocimiento imperfecto sobre el comportamiento de las estructuras es debido a lo costosas que corrientemente resultan las observaciones de una estructura, si se consideran solamente los beneficios para la misma estructura. Sin embargo, si se mira la observación como una fuente de conocimientos para el desarrollo ulterior, cambia por completo la cuestión.

Las consideraciones hechas muestran que para llevar a cabo la observación de las estructuras hay que disponer de organizaciones de investigación equipadas especialmente. La observación sistemática tiene por objeto desarrollar los conocimientos y exige un alto grado de especialización para alcanzar resultados precisos y sacar de ellos el máximo provecho.

Otra finalidad importante que se persigue al observar una estructura es evaluar su seguridad, pero, como ya se ha mencionado, si esto fuera el único objetivo considerado, no se necesitaría llevar tan lejos la observación como cuando se desea comprobar su comportamiento.

La observación de una estructura consiste, corrientemente, de las siguientes partes:

- 1.^a Preparación del plan de observación.
- 2.^a Elección de los aparatos de medida y su calibrado.
- 3.^a Colocación de los aparatos en la estructura.
- 4.^a Estudio de las propiedades del material de interés para la elaboración de los resultados de las medidas.
- 5.^a Observación durante la construcción.
- 6.^a Observación durante el ensayo bajo carga.
- 7.^a Observaciones periódicas de la estructura en servicio.
- 8.^a Interpretación de los resultados de las obser-



Fig. 1.ª — Aparato de medida de deformaciones, que quedará embebido en el hormigón.

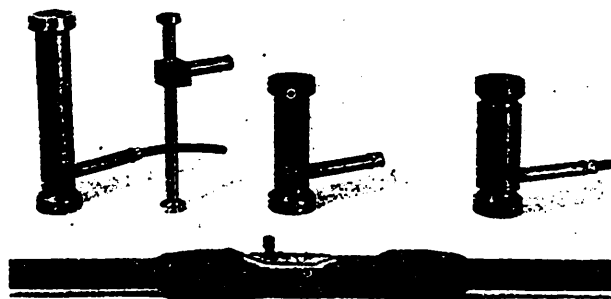


Fig. 2.ª — Diferentes tipos de aparatos de medida de tensiones y deformaciones.

vaciones, juicio de la estructura observada y conclusiones para futuras obras.

Seguidamente se discuten brevemente las técnicas para la observación de estructuras de hormigón armado, empleadas por el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil, presentándose algunos resultados característicos.

II. Aparatos y técnicas de medida usados.

En la observación de estructuras de hormigón armado es de sumo interés medir los corrimientos, las deformaciones, las tensiones y temperaturas. Hay que detectar la formación de grietas y, si es posible, medir su anchura.

Las técnicas empleadas para medir los corrimientos, deformaciones y tensiones varían según se desee realizar medidas diferidas (durante meses), breves (durante horas) o dinámicas (el periodo de observación es corrientemente inferior al minuto).

Generalmente se adoptan métodos ópticos para las medidas diferidas de los corrimientos.

Se han realizado mediciones de corrimientos verticales con niveles de alta precisión (Wild N III), que dan medidas con un error de unos 0,5 mm. Este error aumentó cuando los movimientos, debidos al gradiente térmico, fueron de importancia durante el periodo de medición.

La medida de los corrimientos en direcciones distintas de la vertical se lleva a cabo midiendo los ángulos con ayuda de teodolitos situados sobre bloques. En el caso de los arranques de un puente de arco, los errores al medir los corrimientos son del orden de 0,5 mm.

Los métodos ópticos por nivelación o alineación se usan también en algunas mediciones breves, en las que es difícil obtener puntos fijos de referencia.

En un estudio de un puente, de gran luz, se uti-

lizó un sistema de niveles líquidos para medir los corrimientos. Los resultados coincidieron con los obtenidos ópticamente.

Para mediciones estáticas breves se han usado aparatos de medida con cuadrante (graduado en 0,1 ó 0,01 mm.) o registradores mecánicos de tambor (Richard), conectados por medio de hilo invar a puntos, que pueden considerarse como fijos. Para mediciones dinámicas se han empleado también registradores Richard, o bien, en algunos casos, dispositivos piezoeléctricos conectados a oscilógrafos registradores.

Para medir corrimientos horizontales en estructuras altas se han utilizado péndulos. El sistema para medir las posiciones del hilo es óptico, pudiéndose realizar la medida de los corrimientos en dos posiciones ortogonales, con un error de 0,2 mm. aproximadamente. Con el fin de tener una idea de los errores de observación, y para facilitar el cambio de los instrumentos de medida, se toma como referencia una señal fijada a la estructura a cada nivel.

Se han utilizado clinómetros (Huggenberger) para medir los giros, siendo el error de diez segundos. Los instrumentos pueden colocarse en dos posiciones invertidas sobre las bases, de forma que puede mejorarse la exactitud de las medidas y cambiar los instrumentos si fuera preciso.

Siempre que ha sido posible se han medido los giros y los corrimientos de forma que se obtuviera confirmación de los resultados.

Para medir los movimientos de las juntas se intercalan placas de acero en el hormigón, midiéndose su distancia (unos 25 cm.) con exactitud mediante aparatos similares al *strain gauge* Whithemore. Con los modelos más sensibles es posible medir con un error de 0,01 mm.

Estos instrumentos pueden adaptarse para medir deformaciones, en cuyo caso el error es $5,10^{-5}$. Así, su aplicación está sólo justificada en el caso de grandes deformaciones.

Medir las deformaciones y tensiones es de sumo interés para conocer el comportamiento real de las estructuras, y de ahí que se le haya dedicado especial atención.

La experiencia ha demostrado que, para llevar a cabo mediciones diferidas de las deformaciones hay que situar los aparatos de medida en el interior del hormigón (fig. 1.^a). Las medidas realizadas en la superficie, mientras que en el Laboratorio resultan satisfactorias, rara vez son de una exactitud razonable en el campo, aun en ensayos breves. Esto es debido, principalmente, al efecto de las variaciones de temperatura y a las finas grietas que existen en la superficie.

Las deformaciones estáticas en el hormigón se miden con auxilio de aparatos de medida de gran deformabilidad. Tienen un hilo acústico para medir las deformaciones.

En la figura 2.^a se indican algunos tipos de aparatos de medida de deformaciones. La exactitud al-



Fig. 3. Ensayo a compresión de una probeta prismática.

canzada con estos instrumentos llega a $2,10^{-6}$ aproximadamente.

Como las deformaciones no son debidas sólo a las tensiones, es necesario conocer los diferentes parámetros que producen los cambios de deformación, con el fin de calcular las tensiones.

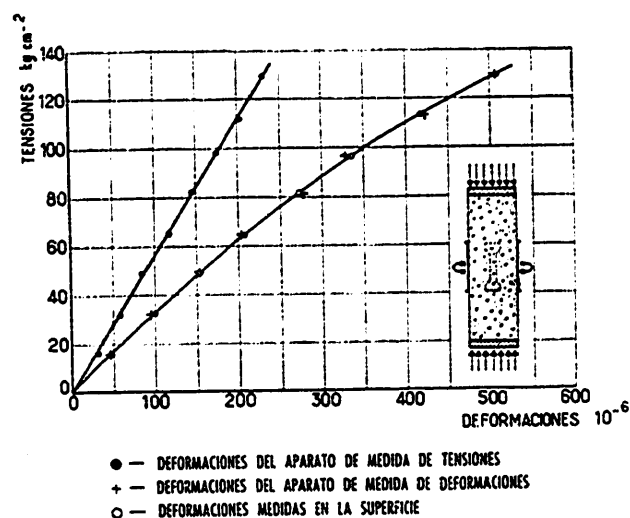


Fig. 4. Resultados de un ensayo tipo a compresión.

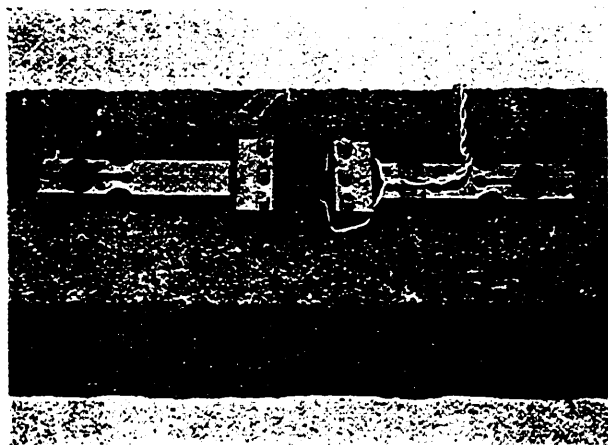


Fig. 5.ª — Strain gauge para ensayos dinámicos.

Un medio sencillo de compensar estos cambios consiste en colocar cerca de cada aparato de medida de deformaciones un instrumento de control en las mismas condiciones que el primero, pero libre de la acción de las tensiones. Esto es, generalmente, impracticable, y sólo se coloca un instrumento de control cerca de cada grupo de aparatos de medida de deformaciones.



Fig. 6.ª — Estación móvil.

Este instrumento de control se introduce en una caja con doble pared delgada, siendo la interior de cobre. De esta forma no está influenciada por las tensiones, posibilitando la medida de las deformaciones debidas a cualquier otra causa, como variaciones de humedad y temperatura.

Usando sólo un instrumento de control para cada grupo de aparatos de medida de deformaciones, no

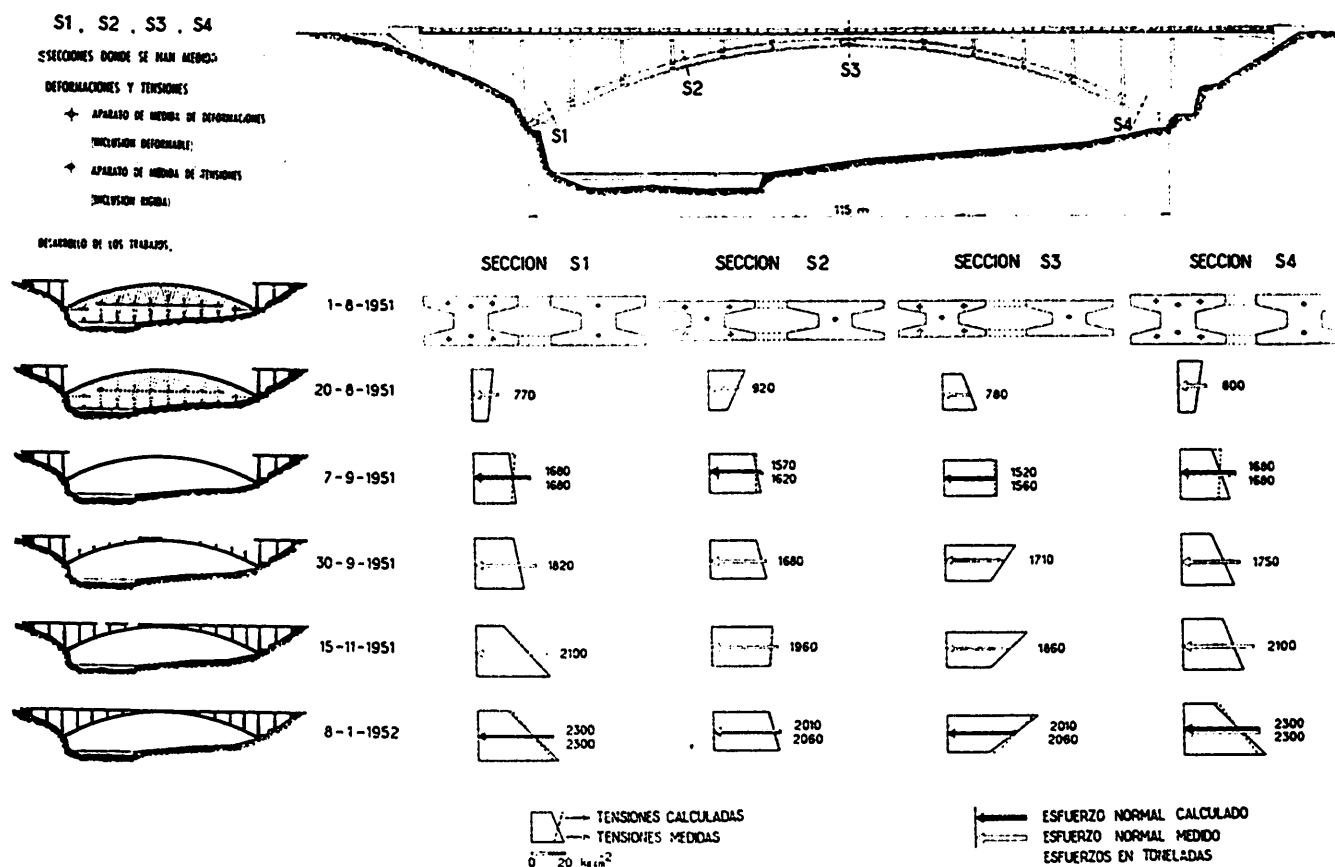
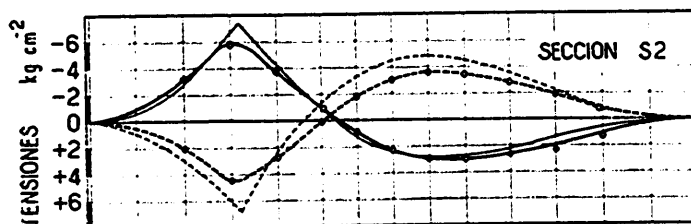
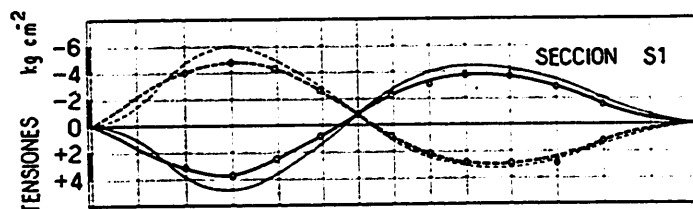
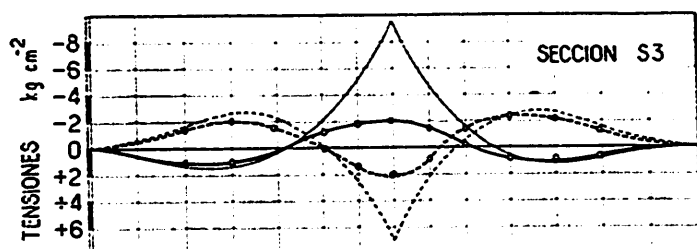
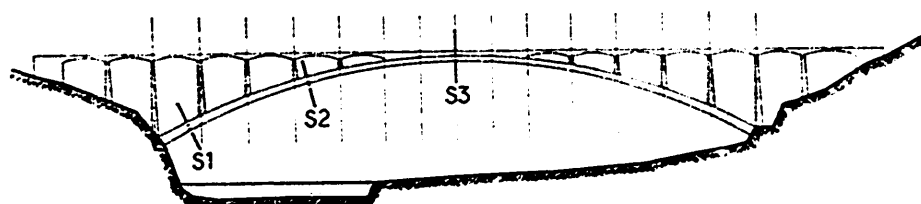


Fig. 7.ª — Estado de tensiones durante la construcción (puente sobre el río Sousa).

pueden admitirse variaciones debidas a gradientes térmicos, pero hay que hacer notar que para los tipos de hormigón empleados, el aparato de medida no es muy sensible a las variaciones de temperatura, es decir, su coeficiente de expansión térmica es, aproximadamente, igual al del hormigón. Por lo tanto, no siem-

mantenerse constantes estas tensiones durante largos periodos. Así resulta factible ensayar el hormigón de una estructura como si se hubiera introducido en su interior una máquina de ensayo. La ventaja de poder realizar los ensayos en las mediciones mencionadas es evidente, ya que las propiedades del hor-



TENSIONES MEDIDAS —○—
 TENSIONES CALCULADAS —
 APLICACION DE UNA CARGA CONCENTRADA DE 64 t

Fig. 8.ª — Líneas de influencia de tensiones.

pre es necesario medir temperaturas y deformaciones simultáneamente.

Para las observaciones que se están haciendo ahora se ha mejorado el sistema de los instrumentos de control de deformaciones, de manera que son capaces de transmitir las tensiones axiales conocidas al hormigón circundante. Cuando así se desee, pueden

migón varían considerablemente según las condiciones bajo las cuales se ha realizado su curado.

Teniendo en cuenta que, más bien que las deformaciones, son las tensiones las que tienen interés fundamental, se han buscado métodos que permitan medir éstas directamente.

Basándose en un método sugerido por Coutinho,

se ha hecho uso de inclusiones cilíndricas de elevada rigidez, unas cuatro veces superior a la del hormigón. Así, las deformaciones que sufren estas células rígidas dependen prácticamente sólo de las tensiones en el hormigón circundante, y por lo tanto no están influenciadas por las pequeñas variaciones de su módulo de elasticidad. La figura 2.^a muestra un aparato de medida de deformaciones, diferenciándose únicamente en el considerable espesor de sus paredes.

Otro método empleado para medir tensiones consiste en colocar dos instrumentos en la estructura, estando sometido uno de ellos al estado de deformación del cuerpo y estando situado el otro en el interior de la caja para transmitir las tensiones al primero. Si el último instrumento está sujeto a tensiones, tal que en cualquier instante las lecturas de los dos instrumentos son idénticas, pueden medirse las



Fig. 9.^a — Prueba del puente sobre el río Sousa.

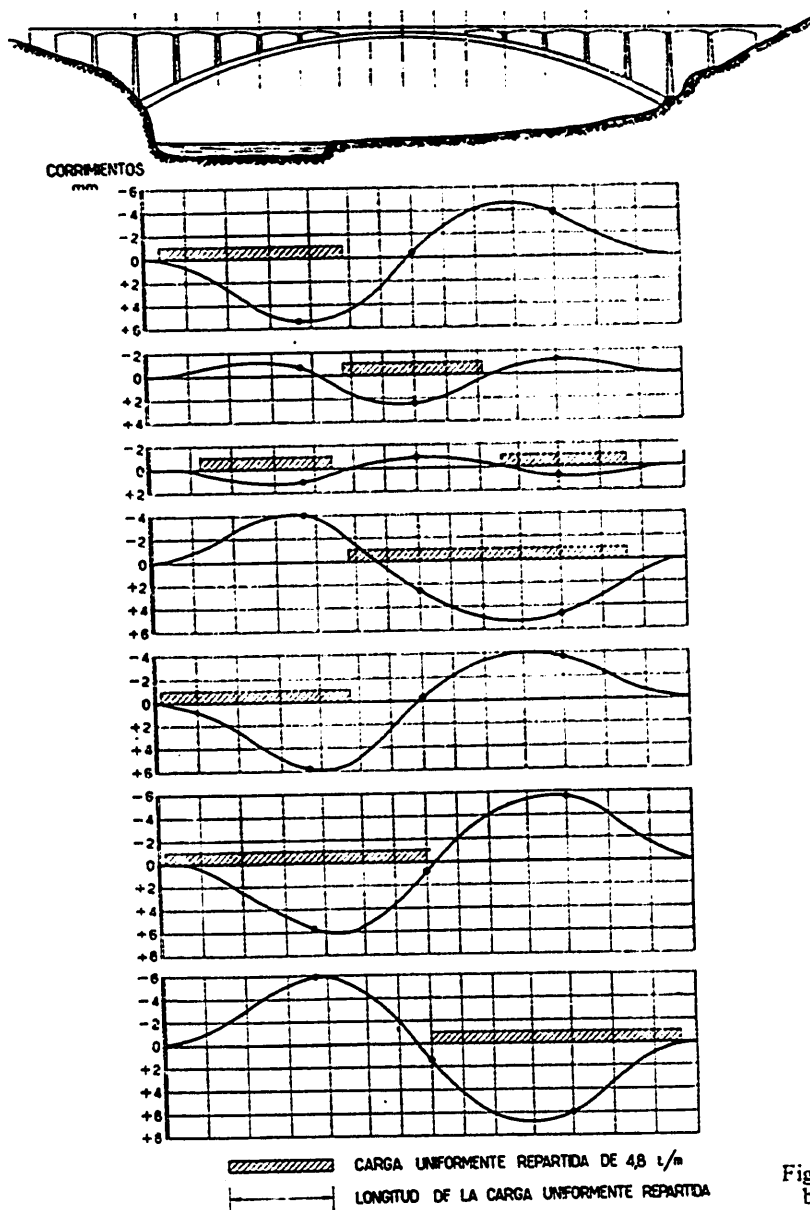


Fig. 10. — Corrimientos debidos a la sobrecarga.

tensiones con gran exactitud, obteniéndose al mismo tiempo información sobre el comportamiento reológico del hormigón.

Para calibrar los aparatos de medida de tensiones y deformaciones se han hecho en el laboratorio ensayos de compresión con probetas prismáticas, en cuyo interior había alojados instrumentos (fig. 3.^a). El gráfico de la figura 4.^a presenta los resultados obtenidos en estos ensayos. Para los aparatos de medida de tensiones, son las deformaciones medidas por el instrumento efectivamente proporcionales a la tensión aplicada, mientras que en los aparatos de medida de deformaciones esta proporcionalidad se verifica con relación a las deformaciones.

Con objeto de medir las tensiones en las armaduras, se estudiaron instrumentos especiales con la misma sección transversal que las barras y con un diámetro algo mayor. Tienen en su interior *strain gauges* acústicos (fig. 2.^a) y permiten medir con errores de unos 5 Kg./cm.².

La medida de deformaciones dinámicas en estructuras de hormigón armado se realiza normalmente en la superficie por medio de *strain gauges* especiales (figura 5.^a), que están unidos a varillas metálicas previamente colocadas dentro del hormigón. El *strain gauge* consiste en dos piezas metálicas extensibles y una parte central prismática, de un material de bajo módulo de elasticidad, en la que se colocan dos *strain gauges* de resistencia eléctrica. Estos indican así la

deformación en el hormigón considerablemente amplificada.

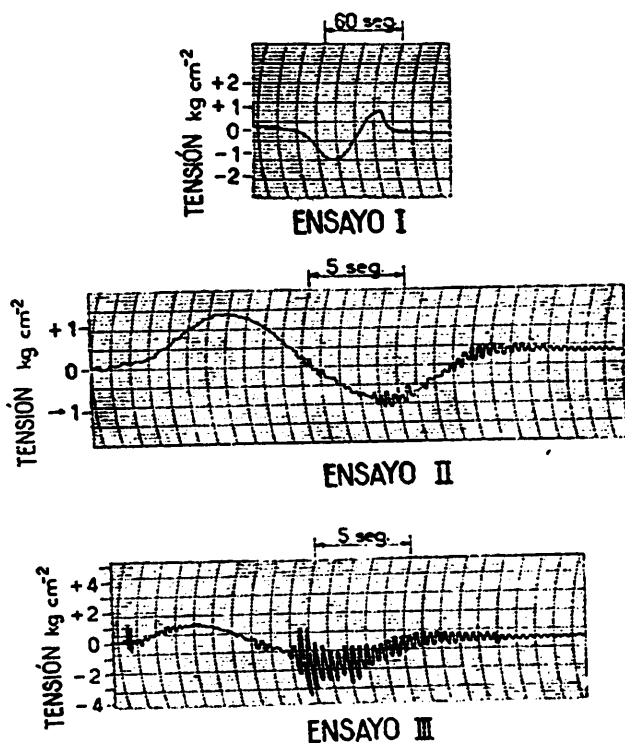
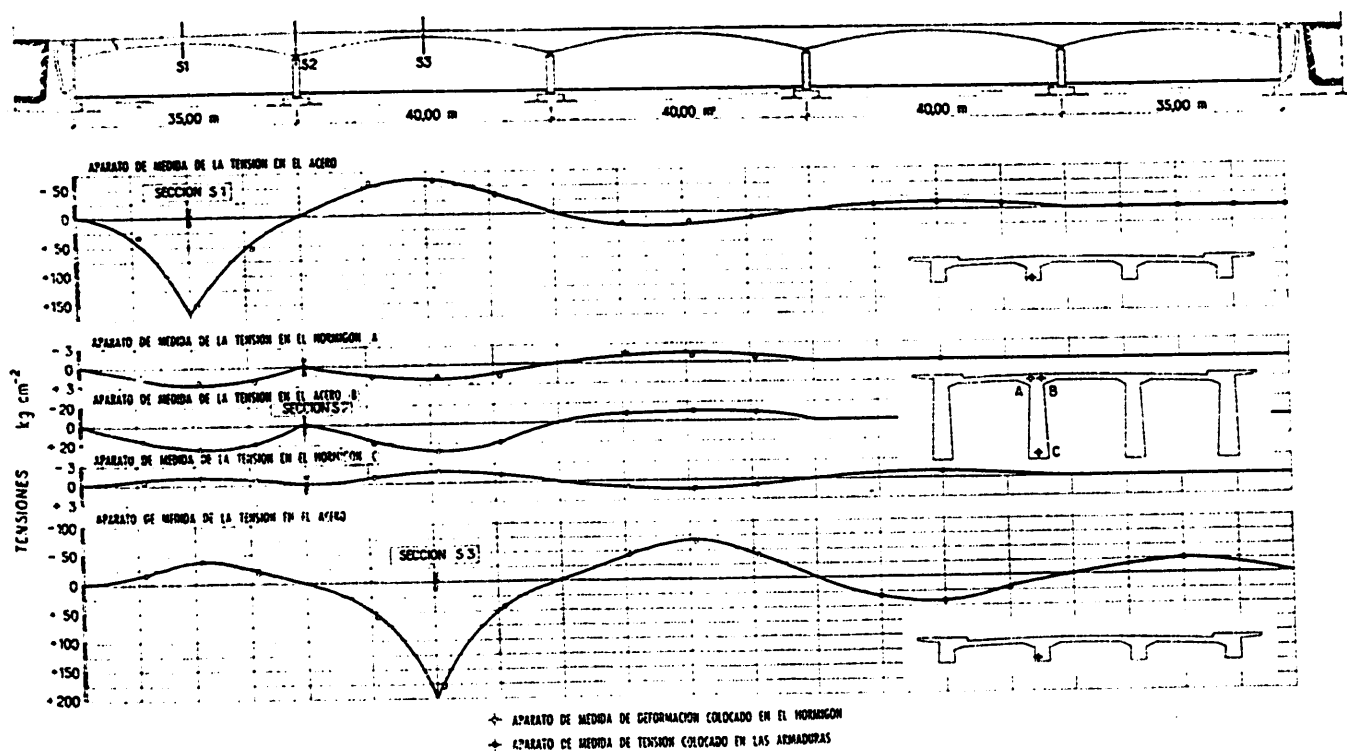


Fig. 11. — Prueba dinámica del puente sobre el río Sousa.



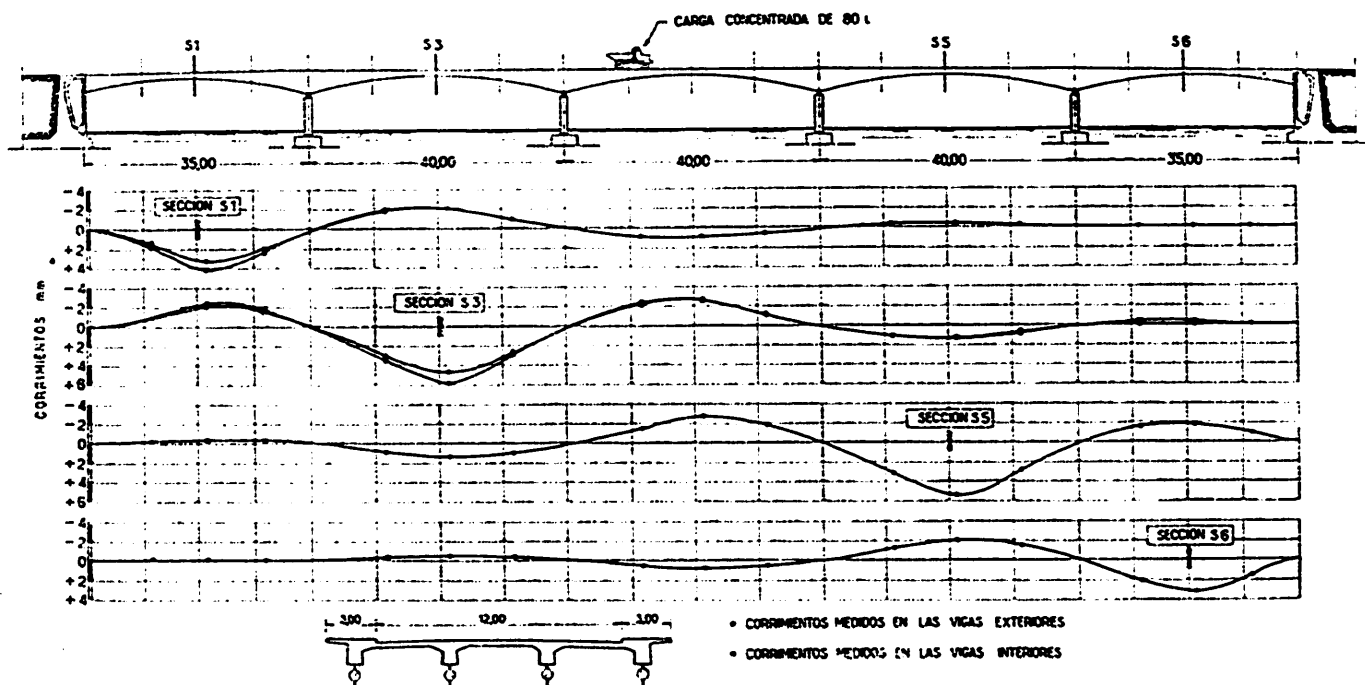


Fig. 13. — Líneas de influencia de corrimientos (puente de Santa Clara).

El registro se hace con aparatos dinámicos Brush. Las tensiones dinámicas pueden calcularse con un error de 0,2 Kg./cm.² aproximadamente.

Para medir la temperatura se emplean pares termo-eléctricos de cobre-constantán, haciéndose las lecturas a distancia mediante potenciómetros (Leeds y Northrup). Al principio se colocaban los pares de forma simétrica cerca de las células de medida de deformaciones (fig. 1.^a).

Actualmente se ha llegado al convencimiento de que las células no están muy influenciadas por las variaciones de temperaturas, y los pares se sitúan en posiciones más apropiadas para obtener el estado de temperaturas de la estructura. Las observaciones están pensadas para estudiar las variaciones de temperatura y los gradientes térmicos.

Como en la mayoría de los casos se emplean métodos eléctricos, se realizan las medidas corrientemente en una estación de control. La figura 6.^a indica una estación móvil con su tractor, que se emplea donde no se disponga de estación fija propia.

III. Resultados de algunas observaciones.

Durante los últimos años, el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil ha tenido la oportunidad de observar varias estructuras de hormigón armado.

En este artículo se resumen los resultados de la observación de un puente de arco, tres puentes de viga continua, uno de hormigón pretensado, una cúpula y un gran monumento.

El puente de arco sobre el río Sousa, cerca de Oporto, tiene un tramo central de 115 m. de luz y consiste en dos arcos paralelos empotrados con sección en H. Es un puente carretero con una calzada de 8 m. de anchura y dos paseos de 1,5 m. cada uno (figura 7.^a).

Se hicieron observaciones durante la construcción y una vez terminada la obra.

Durante la construcción de los arcos se montaron en su interior aparatos de medida de deformaciones y tensiones, así como pares termoelectrónicos para medir la temperatura.

Estos aparatos hicieron posible determinar el estado tensional del arco durante las distintas fases de



Fig. 14. — Prueba de los viaductos del puente de Vila Franca.

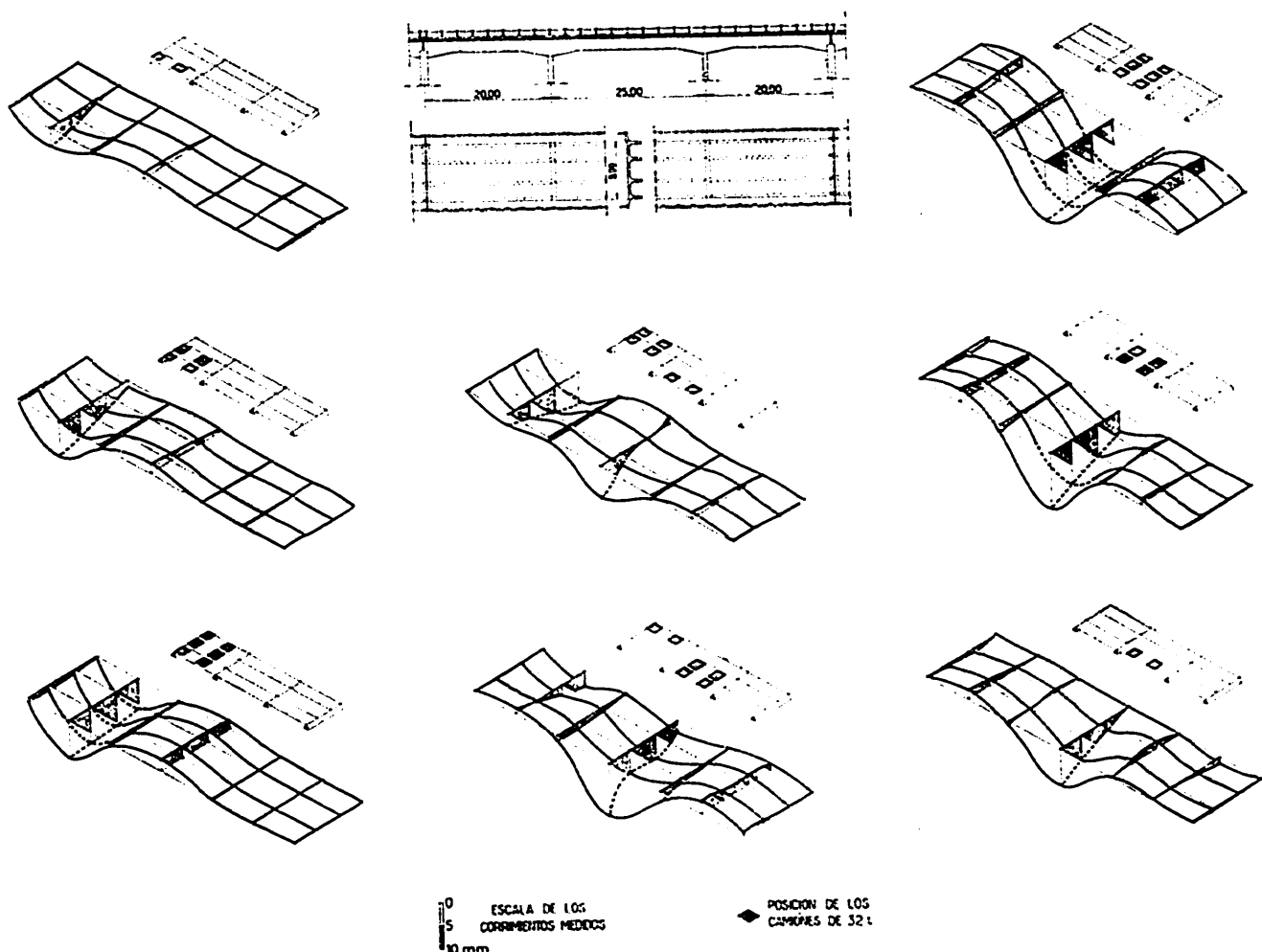


Fig. 15.—Flechas de las vigas continuas de hormigón (puente de Vila Franca).

construcción. La figura 7.^a ilustra los resultados de las mediciones realizadas.

Una comparación entre las fuerzas medidas en el arco y las del proyecto indica, como era de esperar,

una gran coincidencia entre los correspondientes valores.

El conocimiento del estado de tensiones en el arco en todo momento facilitó grandemente el descimbrado. Al ir retirando las cuñas de la cimbra se iban midiendo las tensiones que se producían, y el orden que se siguió en el descimbramiento fué el que produjo el estado tensional más favorable en el arco. Incluso fué posible suspender en un estado determinado el descimbramiento y acometer la inyección de las rótulas. De esta forma se pudo someter a compresión el hormigón inyectado, lo que no hubiera sido factible caso de haber descimbrado en una sola operación y haber inyectado a continuación.

Durante la construcción se midió la flecha del arco. Después de descimbrar fué ésta de 3 cm. y aumentó a 8 cm. al terminar el puente.

Las medidas cotidianas de las flechas acusaron la influencia de los gradientes de temperatura sobre el comportamiento de la estructura. Para variaciones diarias de temperatura de unos 10° C., se observaron corrimientos verticales del arco de 5 mm. aproximadamente. Las medidas de las deformaciones y tem-

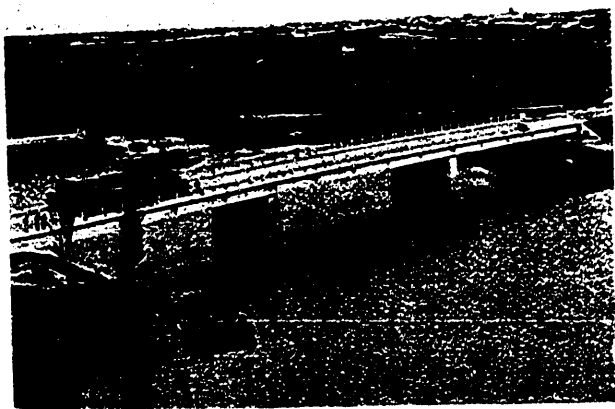


Fig. 16.—Prueba bajo carga del puente de Vala Nora.

peraturas en el arco indicaron que se produjeron gradientes de temperatura entre la parte interior y la exterior, correspondientes a tensiones de unos 10 kilogramos/cm.². Al aumentar la temperatura exterior,

ciarse las líneas de influencia de las tensiones obtenidas. También se indican las teóricas para su comparación. La traza general de las líneas de influencia es idéntica, exceptuando la sección en clave, en la que

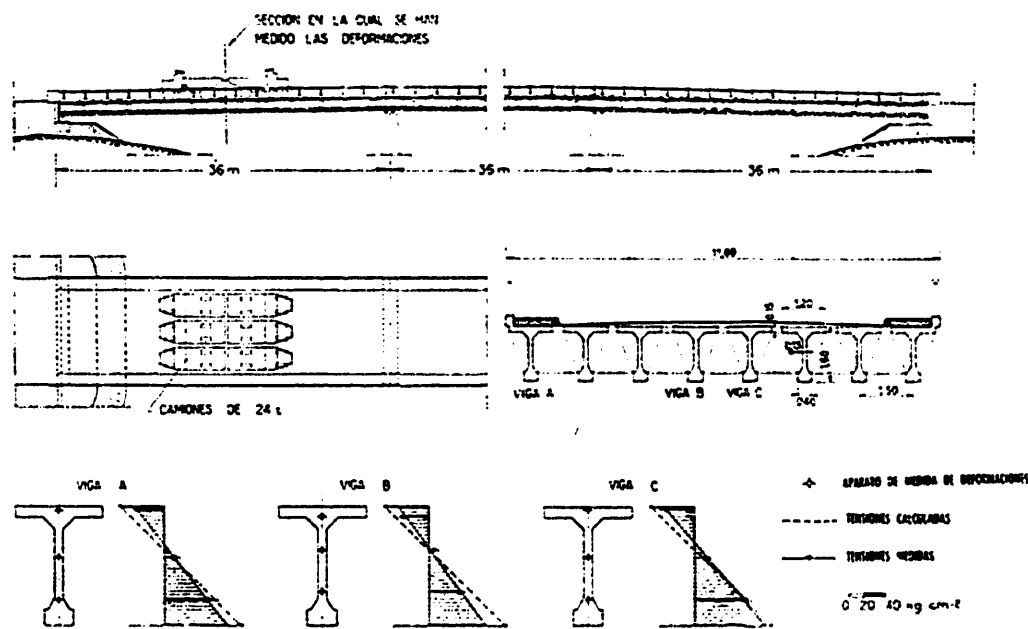


Fig. 17. — Tensiones medidas en el puente de Vala Nora.

se producian tracciones en la parte interior y compresiones en la exterior.

Para determinar experimentalmente las líneas de influencia, se hicieron pasar por el puente dos camiones, uno al lado del otro, con un peso total de 32 toneladas cada uno. Se midieron las tensiones y deformaciones, registrándose los corrimientos mediante instrumentos Richard. En la figura 8.^a pueden apre-



Fig. 18. — Palacio de los Deportes de Oporto.

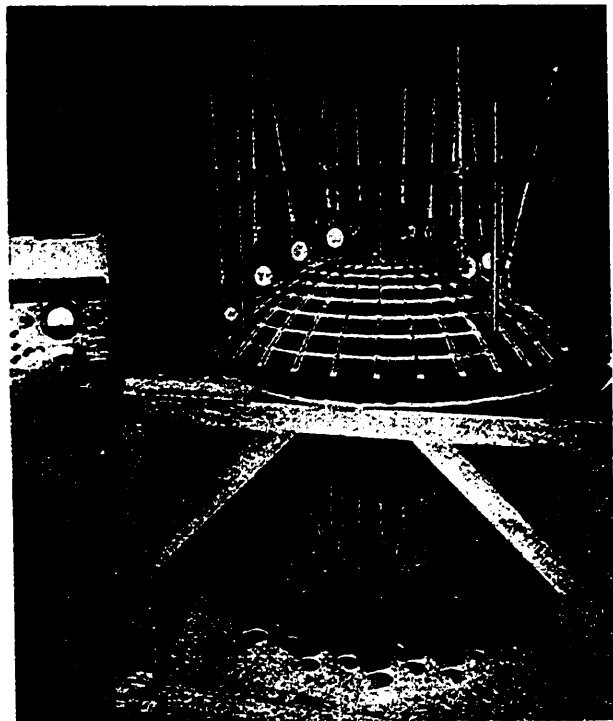


Fig. 19. — Ensayo en modelo reducido de la cúpula del Palacio de los Deportes de Oporto.

la presencia del tablero, unido al arco, produce una considerable reducción en las tensiones.

Para la prueba bajo carga del puente se empleó

Además de las cargas estáticas, a las que se ha hecho referencia, se aplicaron también cargas dinámicas. En estas pruebas, los camiones atravesaban el

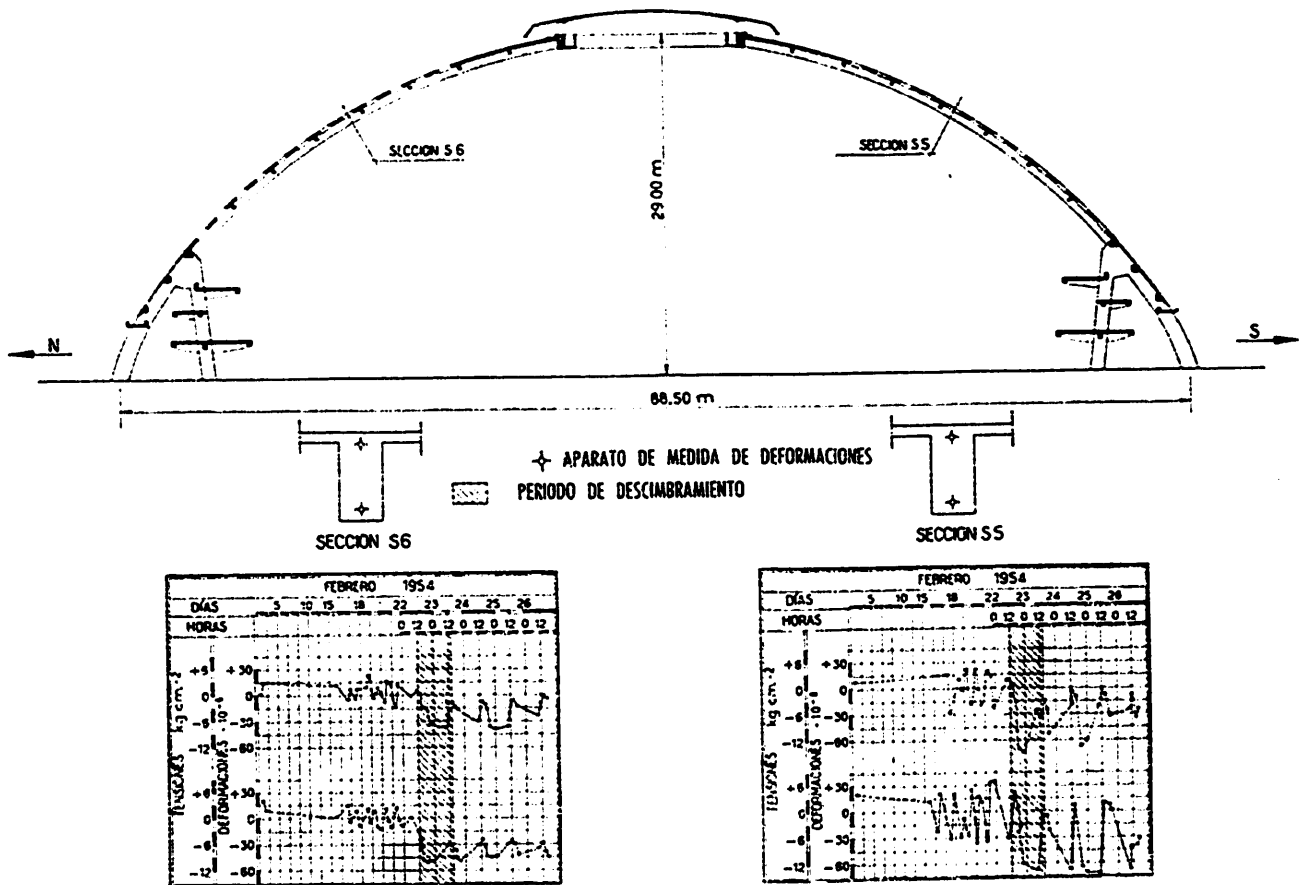


Fig. 20. — Variación de deformaciones en los meridianos (Palacio de los Deportes de Oporto).

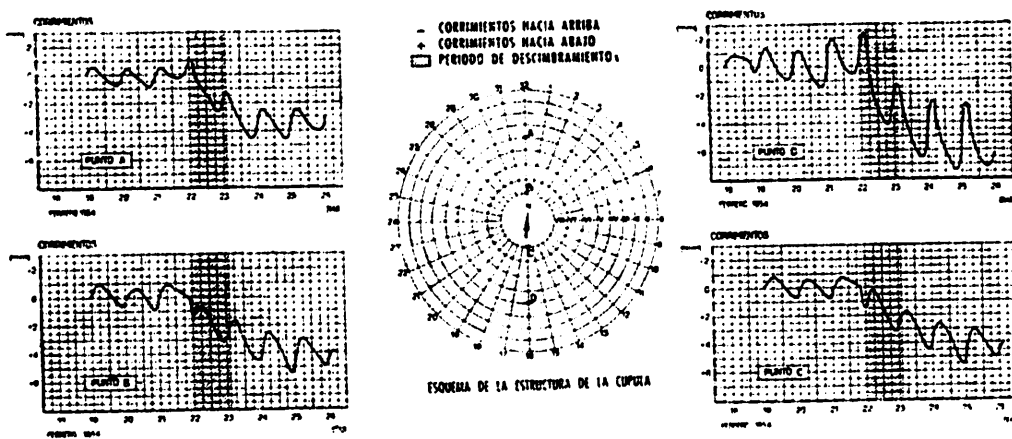


Fig. 21. — Variación de flechas en la cúpula (Palacio de los Deportes de Oporto).

un tren de cargas formado por camiones, con un peso total de 270 Tn. (fig. 9.^a). La figura 10 indica las diferentes posiciones ocupadas por el tren de carga y las correspondientes deformaciones.

puente a diferentes velocidades. En algunos casos se instalaron trampolines para obtener el correspondiente aumento del coeficiente dinámico. La figura 11 muestra los gráficos de las deformaciones alcanzadas

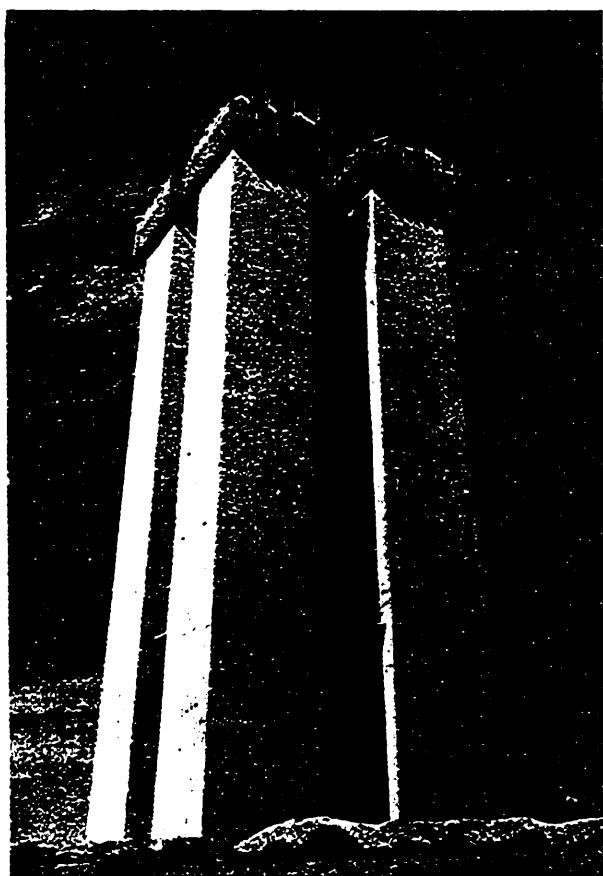


Fig. 22. — Monumento en construcción.

en las diferentes secciones durante la prueba dinámica.

El puente de Santa Clara, en Coimbra, es de viga continua con cinco tramos, siendo la longitud total de 190 metros.

En las figuras 12 y 13 se indican algunos resultados obtenidos en la prueba bajo carga de esta obra.

La figura 12 se refiere a la determinación experimental de las líneas de influencia de tensiones.

Los gráficos correspondientes a las secciones S1 y S3 indican las tensiones medidas en las armaduras. Como se desprende del análisis de los gráficos, al pasar por el puente un tren de cargas de 80 Tn. (prácticamente concentrada), la tensión máxima medida en las armaduras fué de unos 175 Kg./cm.².

Los gráficos relativos a la sección S2 dan las deformaciones en el hormigón y en el acero en puntos próximos al borde superior de las vigas. Como era de esperar, se encontró un campo uniforme de tensiones. La célula situada en el borde inferior de la viga registró tensiones de escaso valor.

La figura 13 muestra las líneas de influencia de corrimientos, determinadas experimentalmente en di-

ferentes secciones con la misma carga empleada en la obtención de las líneas de influencia de tensiones.

El hecho de ser las secciones transversales de las vigas muy variables, queda reflejado en la forma de estas líneas de influencia con acusadas variaciones de curvatura en las partes menos rígidas. En el puente de Vila Franca se hicieron pruebas en los tramos de acero y en los de hormigón armado. Este puente tiene una longitud total de 1 224 m. y consta de cinco arcos metálicos, con una luz de 103 m., y de viaductos de hormigón.

La mayor parte de estos viaductos constan de vigas continuas de tres tramos. La figura 14 muestra un aspecto de las pruebas del viaducto. Como algunos de estos tramos son idénticos, fué posible determinar la variabilidad de su deformabilidad al estar sometidos a cargas iguales. De estructuras idénticas se obtuvo un coeficiente de variación de flechas comprendido entre 8 y 13 %, para diferentes condiciones de carga.

La figura 15 representa la deformación de las vigas continuas de hormigón, al estar sometidas a cargas simétricas y asimétricas.

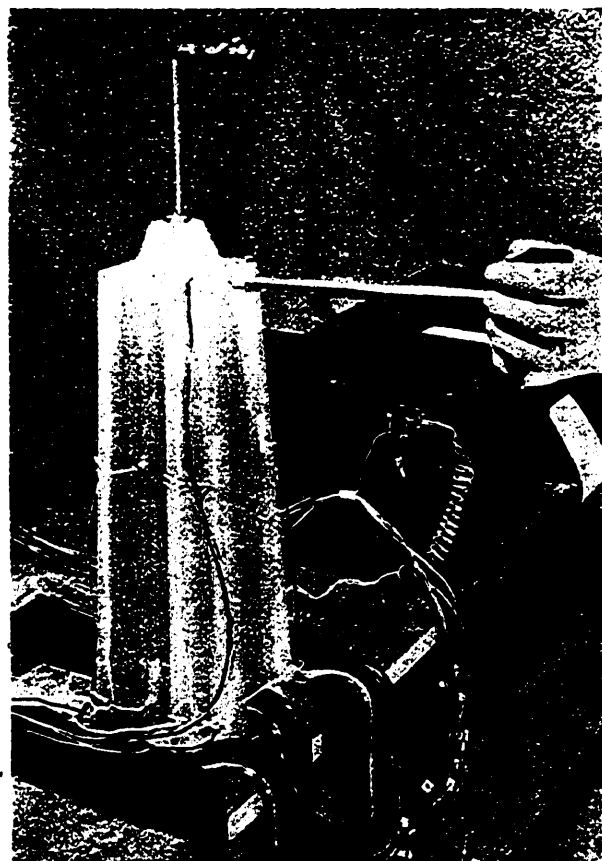


Fig. 23. — Medida de la temperatura en la estructura del monumento.

El puente de Vala Nova es de hormigón pretensado. Tiene tres tramos y cada uno de ellos consta de ocho vigas en T de hormigón pretensado, con una longitud de 36 m. Se instalaron aparatos de medida de deformaciones en varias vigas, posibilitando la medición de las tensiones durante la operación del

tramo (fig. 16). Las deformaciones medidas fueron menores que las calculadas, estando desplazado el plano neutro ligeramente hacia arriba (fig. 17), lo que se explica por actuar el material, colocado sobre el borde superior de las vigas, conjuntamente con éstas.

El estudio de la cúpula del Palacio de Deportes

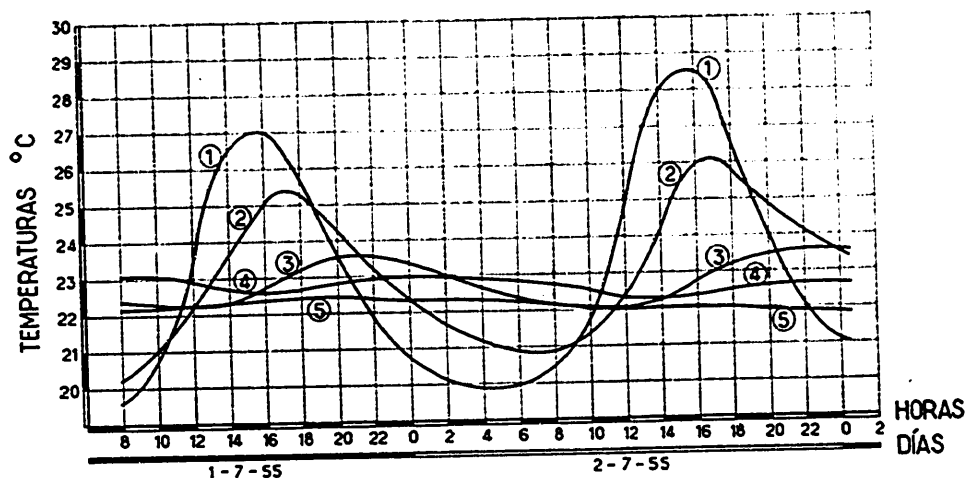
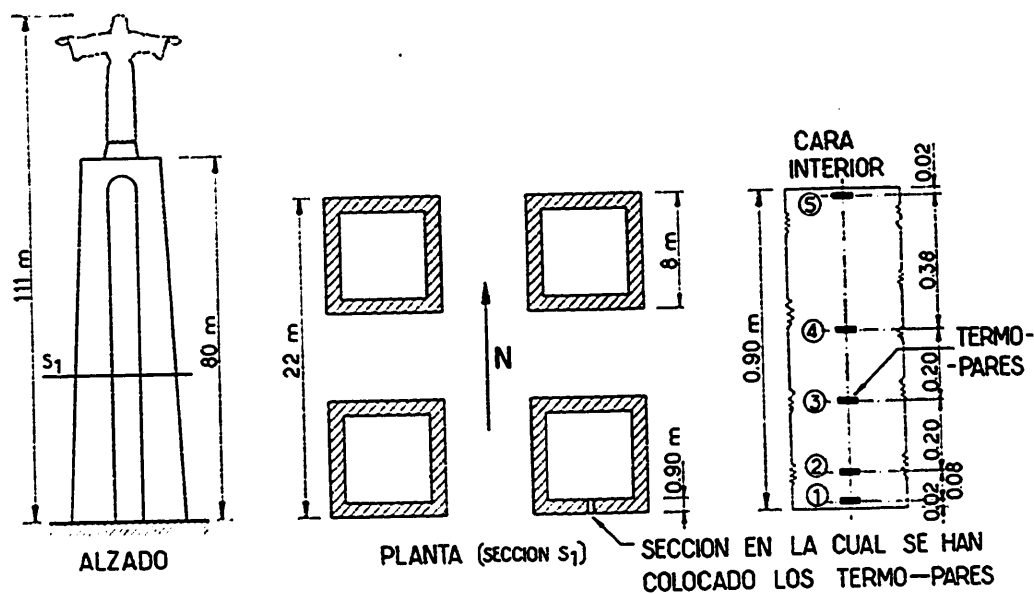


Figura 24.

pretensado y su desarrollo con el tiempo. En una de las vigas se midieron las tensiones durante un ensayo, en el que se aplicaron las cargas por medio de gatos.

La prueba bajo carga del puente se llevó a cabo colocando seis camiones de 24 Tn. en el centro del

de Oporto (fig. 18), consistió no sólo en observaciones hechas en la obra, sino también en ensayos en modelo reducido (fig. 19). En estos últimos se estudiaron los efectos del peso propio, de las sobrecargas concentradas y de los asentamientos de la cimentación.

La observación de la estructura fué de especial

interés durante su descimbramiento, instalándose aparatos para medir los corrimientos horizontales y verticales y las tensiones en algunos paralelos y meridianos.

En la figura 20 puede apreciarse cómo varían las deformaciones en dos meridianos opuestos al descimbrar.

La figura 21 muestra la variación de flechas en cuatro puntos de los mismos meridianos durante el descimbramiento.

Obsérvese la gran influencia de las variaciones diarias de temperatura, que prácticamente encubren el efecto del descimbramiento. Por otra parte, se encontró que al comenzar a descimbrar estaba ya cargada parcialmente la estructura, ya que las tensiones y los corrimientos que se midieron correspondían únicamente a la aplicación de una carga equivalente a la mitad del peso real de la estructura.

En un gran monumento en construcción cerca de Lisboa (fig. 22), que alcanzará una altura total de 111 metros, se tuvo la oportunidad de estudiar deta-

lladamente el efecto de las variaciones de temperatura. Esta estructura se estudió previamente con ensayos en modelo reducido en el Laboratorio, para comprobar el efecto del viento y de los terremotos (figura 23).

La figura 24 da los resultados de las mediciones de los cambios de temperatura durante un plazo de treinta y tres horas.

Referencias.

- Rocha, M.: Serafim, J. L.; Silveira, A. F., y Rodrigues, O. V.: "The observation of the behaviour of Portuguese concrete dams". Communication C 33, V Congress on Large Dams, Paris, 1955.
- Coutinho, A. S.: "Théorie de la détermination expérimentale des contraintes par une méthode n'exigeant par la connaissance précise du module d'élasticité. Mémoires de l'Association Internationale des Ponts et Charpentes, vol. VII. Zürich, 1949.