Año XCIII. - Núm. 2766 • **Revista de Obras Públicas** • 1 de Octubre de 1945.

POSIBILIDADES Y VENTAJAS DE LA MEDIDA CLINOMETRICA EN LA AUSCULTACION DE ESTRUCTURAS

Por **CARLOS BENITO**, Ingeniero de Caminos.

Expone el autor de este interesante trabajo las dificultades e inconvenientes principales que se encuentran en la práctica para la medida en obra de las deformaciones y cargas de trabajo, y presenta los métodos más convenientes a emplear en cada caso, terminando con la exposición de un ensayo realizado en el Laboratorio Central para la medida de tensiones cortantes.

Al ir progresando la técnica de la construcción de estructuras, tanto en la parte de proyecto como en el conocimiento de los materiales, se tiende a crear formas más esbeltas, y en las cuales dichos materiales se aprovechan mejor, reduciendo al mismo tiempo los coeficientes de seguridad.

Como consecuencia, el proyectista trata de compenetrarse con su obra y auscultarla durante y después de la ejecución para, de la medida de las deformaciones, poder juzgar si son admisibles las tensiones máximas que tienen lugar y la concordancia que existe entre las hipótesis adoptadas y los resultados de la auscultación.

Los movimientos que suelen observarse en las estructuras son de tres clases: 1.° Entre dos puntos de la misma, pudiéndose medir estos alargamientos elásticos con elongámetros. 2.° Entre puntos de la estructura y referencias fijas del terreno, en cuyo caso se usan los flexímetros; y 3.° La medida de las deformaciones angulares, que se obtiene por medio de clinómetros.

Estudiando los métodos y aparatos empleados por nuestra técnica, en la actualidad se observa una marcada predilección hacia los flexímetros y elongámetros, usándose los clinómetros en contados casos; es por esto por lo que nos hemos decidido a recordar las grandes ventajas del empleo de los clinómetros sobre los demás aparatos mencionados, sin pretender abogar por su uso exclusivo, pues creemos que en esta clase de medidas deben adoptarse varios sistemas que se complementen y comprueben entre sí.

Normalmente el trabajo de las estructuras se deduce de la medida de las flechas o recorridos verticales perpendiculares a la directriz.

Hecha esta medida en el centro de una viga, puede dar la carga de trabajo cuando la sección sea uniforme y las condiciones de sustentación conocidas. Podemos citar como ejemplo el de una viga metálica de alma llena apoyada y sometida a una carga uniforme. Esta medida, única en vigas de hormigón armado con sección variable y empotramiento elástico en sus extremos, no nos da idea aproximada del comportamiento del material, y mucho menos en cuanto se refiere a los giros o momentos de empotramiento.

Vemos ya la necesidad de utilizar un número suficiente de flexímetros a lo largo de la pieza para poder dibujar la elástica. La instalación de estos aparatos exige unirlos a un punto de referencia fijo, que, generalmente, está alejado. Esta unión se logra con piezas rígidas o con hilos; tanto en un caso como en otro, sus deformaciones son causa de error en las lecturas. Si se hacen metálicas dichas piezas, debe tenerse en cuenta la dilatación térmica de las mismas, y si son de madera, sufren movimientos difícilmente apreciables por efecto de las variaciones de humedad.

El empleo de hilos metálicos para referir el movimiento del flexímetro a la base suele dar errores mayores, no sólo por las dilataciones térmicas, prácticamente imposibles de determinar bien en este caso, sino por las diferencias de alargamiento propias del hilo bajo la tensión a que se le somete y por su tendencia frecuente a flectar, ya que antes de tensarlo ha estado enrollado en un tambor, y los aceros que se usan son templados, para evitar alargamientos plásticos.

Esto respecto a la unión del flexímetro con el punto fijo; pero mayor dificultad es todavía el encontrar el punto a que hacer referencia. Así, en el caso de un puente, el terreno, excepto cuando sea roca, experimenta deformaciones importantes por efecto de la variación del ambiente, a las que hay que sumar las que se producen al descimbrar.

En el caso de puentes sobre ríos es prácticamente imposible situar el punto fijo. En algunas ocasiones se ha buscado la referencia en el fondo, por medio de contrapesos, como indica la figura 1.ª, sistema poco exacto cuando la corriente de agua tiene alguna intensidad, además de exigir una gran longitud de hilo, con todos los inconvenientes antes expuestos. Otras veces, el querer utilizar el terreno de las laderas como punto fijo ha obligado a la construcción de grandes estructuras rígidas, que también están sometidas a deformaciones, aparte de que su coste resulta prohibitivo.

Para paliar todos estos inconvenientes se han ideado los fleximetros autorreferentes. Uno de estos sistemas consiste en relacionar los movimientos de

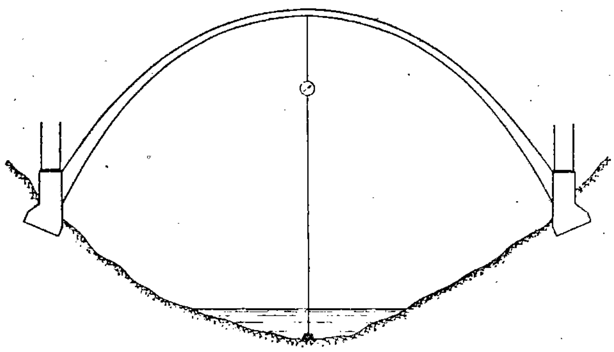

Figura 1.ª

la estructura con un hilo tenso, sujeto en los apoyos de la viga o elemento en cuestión; y aunque el perfeccionamiento de estos aparatos sea grande, en vigas de más de 20 metros de luz, es difícil tener sensibilidades superiores al milímetro o al medio milímetro.

Estos mismos aparatos autorreferentes, tan útiles en vigas rectas, tienen una aplicación difícil en arcos o elementos análogos.

Salvadas todas las dificultades antes expuestas, y con varios flexímetros, se puede llegar a dibujar la elástica con alguna aproximación. Teniendo en cuenta que el momento flector M vale:

$$M = \frac{EI}{\rho};$$

siendo ρ el radio de curvatura, y que éste es la inversa de la derivada segunda de la elástica, ya vemos que para llegar a conocer los momentos flectores, para de ellos deducir las tensiones, es necesario derivar gráficamente dos veces la curva representativa de la elástica, y como su curvatura es muy pequeña, el valor de M, resultado de estas operaciones, no puede ser siempre todo lo aproximado que convendría.

Por último, el flexímetro no determina los giros en los arranques de las barras empotradas elásticamente, dato de mucho interés en los casos de pórticos múltiples, pues conociéndolos se determinan fácilmente los momentos de empotramiento.

Quizá para el trabajo de flexión sean más indicados los elongámetros, pues con ellos se mide directamente la deformación longitudinal de la fibra en que se opera. Por tanto, con dos de ellos colocados sensiblemente en las superficies superior e inferior se obtendrán los alargamientos en las fibras más cargadas. Llamando a a la deformación obtenida del aparato, y b a la longitud de la base del mismo, a/b sería la deformación unitaria que, dividida por el módulo de elasticidad del material, nos daría la tensión de trabajo buscada.

Según esto, y con elongámetros convenientemente dispuestos, se debían poder determinar con toda exactitud las tensiones máximas en la sección que interesara; la realidad no es tan halagüeña, y si la sección a comprobar no se elige convenientemente, pueden presentarse factores que alteren la precisión del resultado. Nos referimos al caso concreto del hormigón armado, en el cual las fisuras producidas por retracción y las pequeñas grietas, imperceptibles a simple vista, que se originan al trabajar la estructura, dan lugar a variaciones considerables en las lecturas hechas en dos secciones muy próximas. Así, si el elongámetro se coloca abarcando a una grieta, las deformaciones que se leen son excesivas y mayores que si se coloca entre dos grietas consecutivas, en un espacio intermedio no agrietado.

Para tener completa seguridad en las medidas y evitar los errores posibles que acabamos de señalar, sería necesario colocar un elongámetro continuo a lo largo de toda la pieza, como se hizo en el viaducto del Esla, donde llegaron a emplearse elongámetros, de 6 metros de longitud cada uno, colocados en serie. En esta obra se pusieron de manifiesto varias particularidades del método, entre las que destacamos el elevado coste de la instalación, que podría resultar prohibitivo en construcciones de menor importancia, y la imposibilidad material de obtener con precisión las flechas del arco mediante los elongámetros. La causa es la misma que achacábamos a los flexímetros para calcular las tensiones; allí, para pasar de flechas a tensiones, había que hacer dos derivaciones gráficas, y en este caso, para recorrer el camino inverso, tendremos una doble integración, en la que se perderá la precisión necesaria.

Como las grandes dimensiones de aquella obra no permitían el establecimiento de flexímetros autorreferentes, se hizo la medida de recorridos por un método de triangulación con aparato de técnica geodésica, y aun así, la sensibilidad de medida no pasaba del centímetro, la cual, para obras de tamaño intermedio, es totalmente inadmisible.

Con todo lo que acabamos de exponer no queremos afirmar la inutilidad o desventaja del uso de flexímetros o elongámetros; nos guía solamente el propósito de resaltar las causas posibles de error y los inconvenientes que se presentan en muchos casos, aun cuando en otros estos aparatos sean sumamente prácticos y eficaces, y en todos ellos constituyan siempre una comprobación y proporcionen datos complementarios de gran utilidad.

Por ello, hemos creído interesante recordar las posibilidades y ventajas del uso del clinómetro en la auscultación de estructuras, sin pararnos en sus fundamentos, que son de sobra conocidos.

El clinómetro, que da la medida del ángulo que forma una alineación cualquiera con la vertical, se fabrica en la actualidad con sensibilidades del orden de la cienmilésima de radiante, y aunque es más costoso que el fleximetro y de manejo quizá un poco más delicado, su utilidad y la seguridad de su medida le hace insustituíble en muchos casos.

La característica que le destaca sobre los otros aparatos reseñados es que, sin perder precisión, tiene una gran facilidad de montaje, el cual puede hacerse en cualquier punto de la estructura, por variado que sea el tipo de ésta, pues no requiere más que una placa pequeña firmemente sujeta a la pieza que se va a observar; y en el caso de estructuras metálicas, ni eso, puesto que el mismo aparato está provisto de una base en forma de pinza susceptible de atornillarse a cualquier elemento.

En los ensayos de corta duración la base puede sujetarse con yeso, si bien, en general, es conveniente hacerlo con patillas de anclaje sobre pequeños taladros hechos en la fábrica con una barrena especial.

Para aquellos casos en los cuales el aparato deba quedar fijo en la obra durante algún tiempo, se fabrican corazas que los protegen, tanto de la humedad interna como de los agentes exteriores.

Con estas facilidades se comprende que su campo de aplicación ha de ser muy amplio; sólo indicaremos algunos casos en que su uso es recomendable.

Colocado en los arranques de una barra perteneciente a una estructura continua o porticada, mide directamente el giro en los nudos, de donde puede deducirse con facilidad el grado de empotramiento en arranques, como se indica a continuación (figura 2.ª).

Llamando φ_A y φ_B los giros medidos, y aplicando el teorema de Castigliano, se obtienen:

$$\varphi_A = \frac{l}{6EI}(6\,\mathfrak{M}_B + 2\,M_A + M_B);$$

$$\varphi_B = \frac{l}{6EI}(6\,\mathfrak{M}_A + M_A + 2\,M_B);$$

en donde $\mathfrak{M}_A$ y $\mathfrak{M}_B$ son los momentos estáticos del área del diagrama de momentos flectores isostáticos,

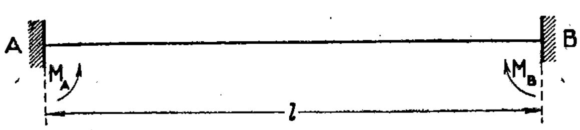

Figura 2.ª

con relación a los puntos A y B, respectivamente, cuando la luz es igual a la unidad, y M_A y M_B, los momentos de empotramiento elástico que buscábamos, y cuya determinación es inmediata, teniendo en cuenta que $\mathfrak{M}_A$ y $\mathfrak{M}_B$ se pueden calcular siempre analíticamente.

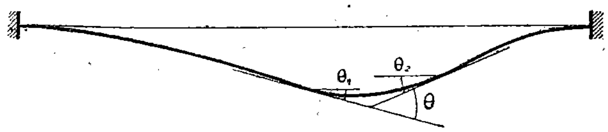

Figura 3.ª

Ya vimos que la determinación completa del trabajo de una pieza requería la colocación de varios fleximetros o elongámetros; también aquí se necesitan varios clinómetros. Supongamos que se instalan 6 u 8 a lo largo de la viga o arco a estudiar, y que con estas lecturas se traza el diagrama de pendientes; integrando una sola vez este diagrama, se obtienen las flechas o la elástica en toda la pieza. Considerando que las flechas se refieren a la directriz primitiva, al trazar la elástica partiendo de un apoyo se tiene una comprobación al llegar al otro extremo, pues en él la flecha tiene que ser cero. Esta comprobación es muy importante para evitar errores en la aplicación de los datos obtenidos.

Si lo que interesa, como es más corriente, es la ley de variación del momento flector, se puede llegar a conocerla derivando una vez la curva de pendientes que antes dibujamos y así calcular la derivada segunda de las ordenadas de la elástica, cuyo valor es:

$$\frac{d^2 y}{d x^2} = \frac{M}{EI}.$$

Como vimos, esta operación, hecha con fleximetros, requería derivar dos veces, quedando muy reducidas las probabilidades de error al usar los clinómetros.

También es muy sencillo conocer el momento flector de una sección cualquiera por medio de dos clinómetros. Para ello se colocan simétricos con respecto a dicha sección y separados a una distancia del orden del canto. Suponiendo que entre los aparatos el momento flector es constante, hipótesis muy aproximada cuando la separación es la indicada, la suma de las lecturas $\theta_1 + \theta_2$ (fig. 3.ª) nos dará el ángulo θ, y aplicando un teorema de Mohr:

$$M = \frac{EI}{l}\,\theta;$$

quedando determinado el momento flector.

Este mismo valor de θ es el que mide el giro relativo entre las dos secciones en que están colocados los clinómetros; por tanto, si le multiplicamos por el canto, nos dará la suma del acortamiento de una de las cabezas y del alargamiento de la otra. Completando la medida con un elongámetro colocado

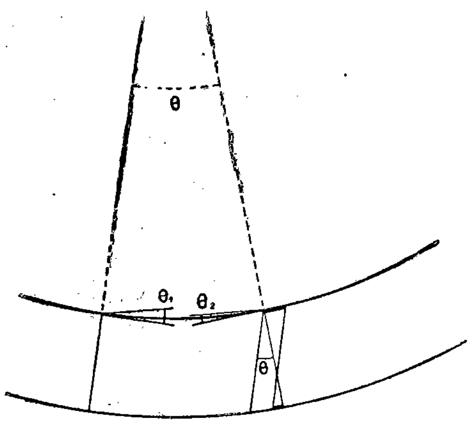

Figura 4.ª

entre dichas secciones en una fibra extrema (superior o inferior), conoceremos las tensiones de trabajo.

Queda con esto apuntada la utilidad de la medida clinométrica en un régimen de trabajo a flexión.

En ciertos tipos de estructuras, algunas piezas trabajan a torsión, siendo este campo propicio para el uso de un clinómetro, pues colocado en un plano perpendicular al de la directriz de la pieza, mide los giros necesarios para que el trabajo por torsión quede conocido, propiedad de que carecen los fleximetros y elongámetros.

La determinación de las tensiones cortantes se puede conseguir colocando dos elongámetros, según las direcciones de las tensiones máximas en la fibra neutra (generalmente a 45°), y así como en estructuras metálicas se ha llegado con este procedimiento a resultados positivos, la poca homogeneidad del hormigón en distancias pequeñas ha impedido obtener dichas tensiones con la aproximación debida; por esto nos atrevemos a indicar un método con el que creemos posible la determinación del esfuerzo cortante con dos clinómetros.

Una sección plana, $A\,B$ (fig. 5.ª, *a*), se deformará, aceptando la hipótesis de Navier, conservándose plana (fig. 5.ª, *b*). Está probado, tanto por la teoría de la Elasticidad como por los resultados obtenidos en los laboratorios, que esta hipótesis no es exacta, sino muy aproximada, siendo la deformada de la sección $A\,B$ la curva $A'\,B'$ de la figura 5.ª, *c*.

Colocando los clinómetros, $m\,m'$ y $n\,n'$, perpendiculares en la sección primitiva, su lectura en la deformada nos dará la medida de los ángulos α y β; el valor $\alpha + \beta - 90°$ será la deformación angular γ del ángulo recto primitivo, y aplicando la teoría de la Elasticidad:

$$\tau = G \times \gamma,$$

τ será el valor de la tensión cortante que, multiplicada por la sección, nos dará el esfuerzo cortante en ella.

Este método que acabamos de indicar ha sido comprobado por nosotros durante los ensayos realizados con este fin en el Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción, y que relatamos a continuación:

Se fabricó una viga de hormigón, de 3 m. de longitud y 0,20 × 0,30 m.² de sección, armada con dos

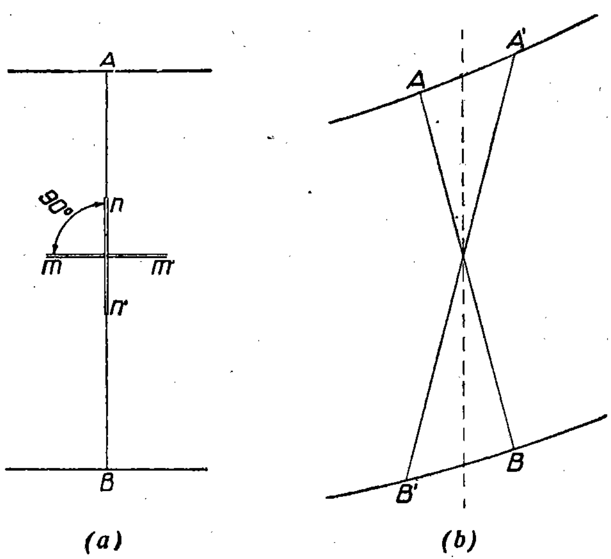

Figura 5.ª

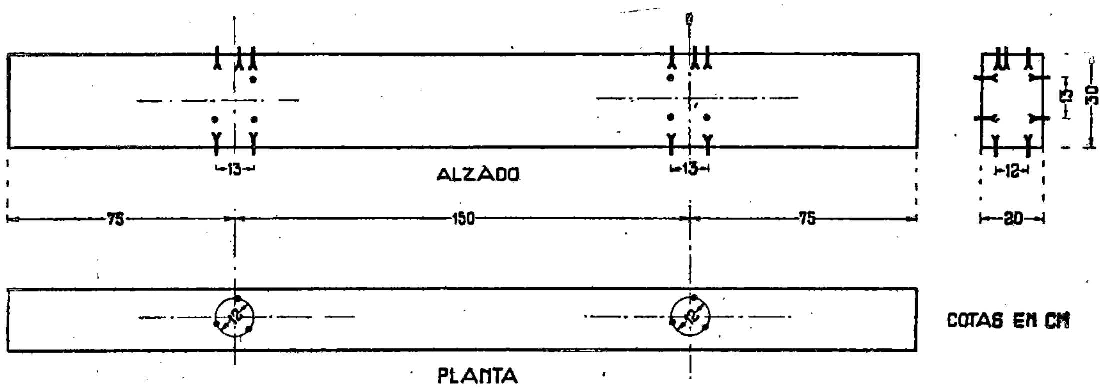

Figura 6.ª

redondos de 25 mm. de diámetro en la zona de tracción, y 2 de 13 mm. de diámetro, en la de compresión, con dos horquillas de 8 mm. de diámetro cada 10 cm. Obtenemos así una pieza prismática de hormigón armado, que ensayamos a flexión simple, con una distancia entre apoyos de 2,40 m. y una carga en el centro de la luz. Aplicando las teorías clásicas

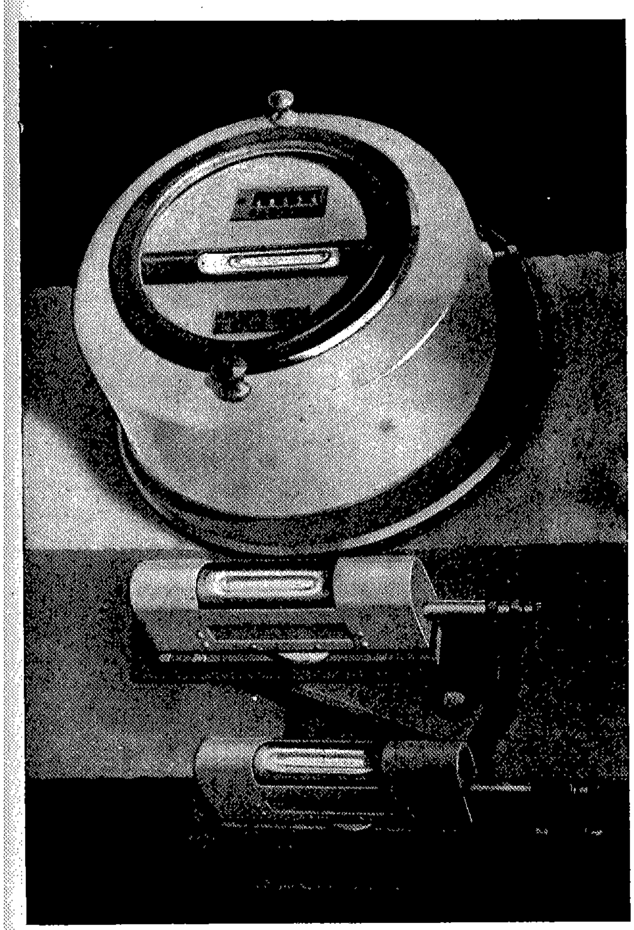

Figura 7.ª

a esta pieza, debe funcionar como material elástico hasta los 3 000 Kg. de carga en el centro.

Las cargas de rotura a compresión, del hormigón empleado, en probeta cilíndrica, a siete y veintiocho días, fueron de 137 Kg./cm.² y 192 Kg./cm.².

Durante el hormigonado de la viga se colocaron los anclajes para la fijación de los clinómetros. El número y situación de estos tochos de anclaje están indicados en la figura 6.ª.

En cada grupo de 3 anclajes de la superficie de compresión de la viga quedaba fijada una base cir-

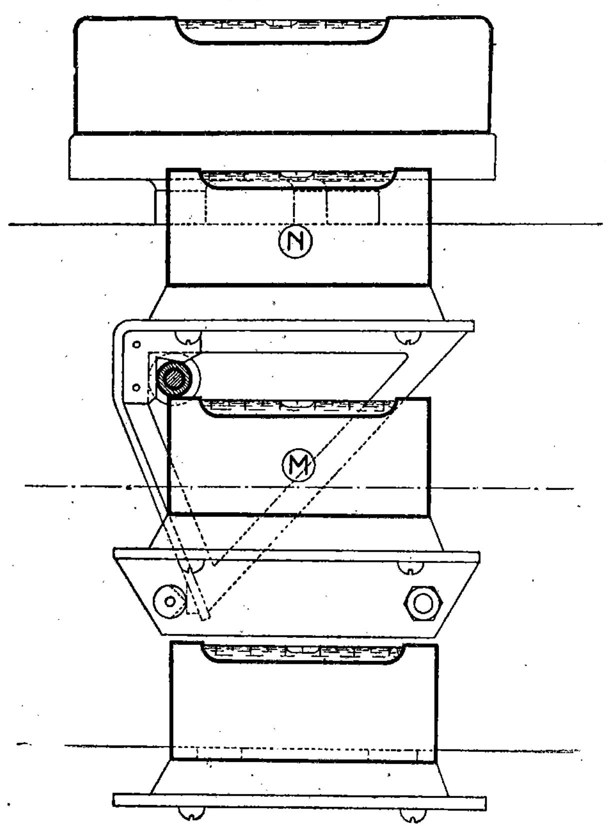

Figura 8.ª

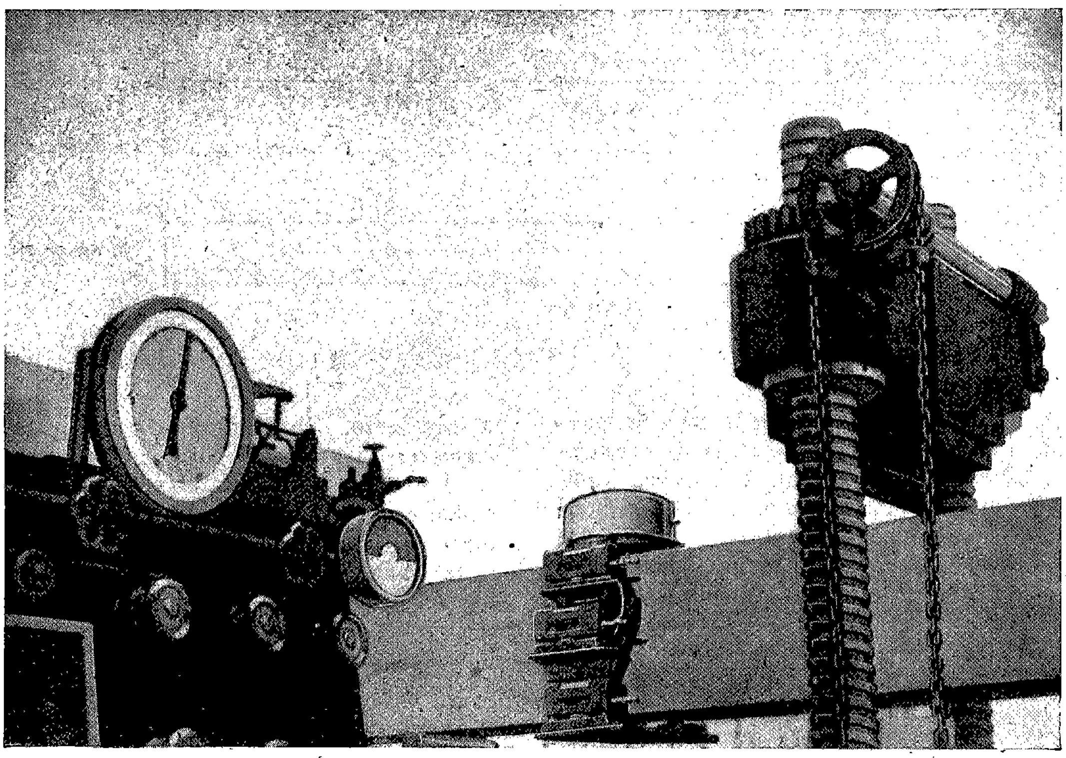

Figura 9.ª

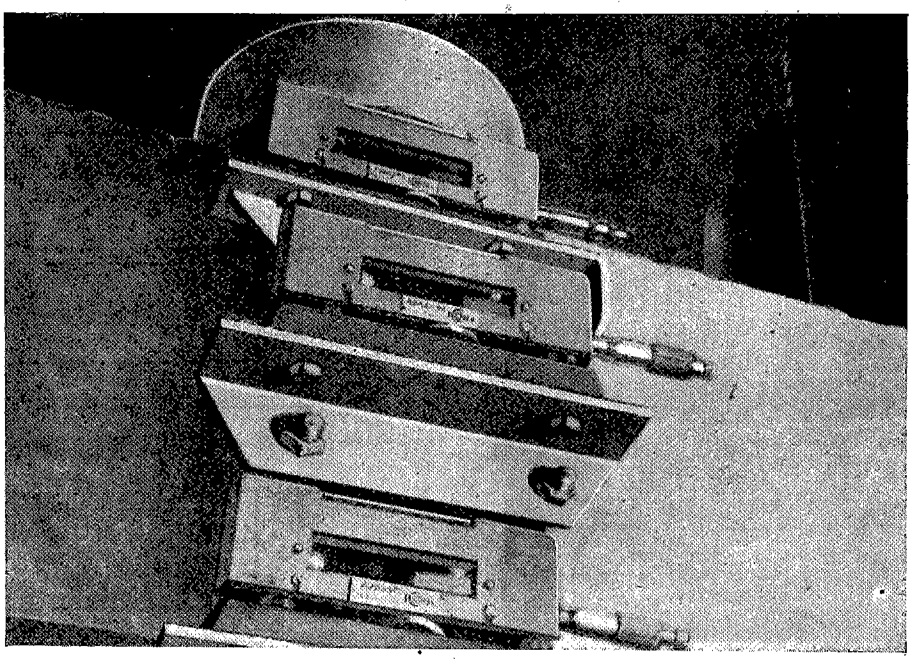

Figura 10.

cular para el montaje durante el ensayo de un clinómetro tipo "Clinos", que es el de forma cilíndrica de la figura 7.ª, y en cada pareja de los restantes tochos se atornillaron los soportes para las bases de los clinómetros pequeños, iguales a los alargados de la figura antes mencionada.

Las zonas reforzadas de la figura 8.ª representan los clinómetros después de montados, siendo los marcados con las letras *M* y *N* los que corresponden a los *m* y *n* de la figura 5.ª. En las fotografías de las figuras 9.ª y 10 se ven los clinómetros montados durante el ensayo.

Además, se dispuso un fleximetro en el centro de la luz.

Después de transcurridos cuarenta días, contados a partir de la fecha de hormigonado, se sometió la pieza a ensayos de flexión con cargas concentradas en el centro de la luz y repartidas en todo su ancho.

Repetidos varios ensayos con cargas crecientes y decrecientes, dentro del período elástico del material, se pudo comprobar la uniformidad de las lecturas en los clinómetros y el fleximetro, haciéndose un último ensayo aumentando las cargas hasta producir la rotura de la viga. Las lecturas efectuadas en él son las indicadas en el cuadro número 1.

CUADRO NÚMERO 1.

Lectura — Número	Carga central en kilogramos	Lectura en los clinómetros en radiantes				Flechas en milímetros
		I	II	III	IV	
0	0	0,48562	0,01257	0,01247	0,00726	0
1	600	0,48554	0,01251	0,01239	0,00720	0,25
2	1.200	0,48535	0,01234	0,01221	0,00699	0,50
3	1.800	0,48516	0,01216	0,01199	0,00678	0,85
4	2.400	0,48497	0,01198	0,01179	0,00661	1,00
5	3.000	0,48479	0,01182	0,01160	0,00642	1,25
6	3.600	0,48461	0,01165	0,01142	0,00623	1,45
7	4.200	0,48440	0,01146	0,01121	0,00601	1,65
8	4 800	0,48411	0,01118	0,01089	0,00572	2,00
9	5.400	0,48387	0,01094	0,01060	0,00550	2,25
10	6.000	0,48350	0,01060	0,01030	0,00511	2,60
11	6.600	0,48321	0,01030	0,01000	0,00483	2,95
12	7.200	0,48291	0,01003	0,00971	0,00452	3,20
13	7.800	0,48254	0,00972	0,00938	0,00415	3,55
14	8.400	0,48221	0,00944	0,00903	0,00378	4,10
15	9.000	0,48183	0,00907	0,00863	0,00346	4,25

En este cuadro hemos llamado clinómetro I al que está en la superficie superior de la viga; II, al que mide las variaciones angulares del lado vertical del ángulo recto que estamos observando; III, al relativo con el lado horizontal de dicho ángulo, y IV, al situado en la superficie inferior de la viga.

Cuando la carga central valía 4 200 Kg., empezaron a aparecer grietas en las superficies laterales e inferior de la viga. La dirección de dichas fisuras indicaban que la rotura se producía por falta de adherencia entre el hormigón y las armaduras de tracción. Como se deduce del estudio de las flechas, el hormigón sigue comportándose casi elásticamente hasta los 6 000 Kg., aunque para esta carga las grietas ya eran considerables, produciéndose la rotura a los 9 500 Kg.

Si restamos de todas las lecturas hechas las correspondientes a la carga cero, habremos eliminado la influencia del peso propio de la viga, y sólo tendremos en cuenta las cargas que figuran en el cuadro número 2.

CUADRO NÚMERO 2.

Lectura número	Carga central en kilogramos	Disminución angular en cienmilésimas de radiante				Lectura media de I, III y IV	Diferencia entre la lectura II y la media	Flechas en milímetros
		I	II	III	IV			
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	600	8	6	8	6	7,3	1,3	0,25
2	1.200	27	23	26	27	26,7	3,7	0,50
3	1.800	46	41	48	48	47,3	6,3	0,85
4	2.400	65	59	68	65	66,0	7,0	1,00
5	3.000	83	75	87	84	84,7	9,7	1,25
6	3.600	101	92	105	103	103,0	11,0	1,45
7	4.200	122	111	126	125	124,3	13,3	1,65
8	4.800	151	139	158	154	154,3	15,3	2,00
9	5.400	175	163	187	176	179,3	16,3	2,25
10	6.000	212	197	217	215	214,7	17,7	2,60
11	6.600	241	227	247	243	243,7	16,7	2,95
12	7.200	271	254	276	274	273,7	19,7	3,20
13	7.800	308	285	309	311	309,3	24,3	3,55
14	8.400	341	313	344	348	344,3	31,3	4,10
15	9.000	379	350	384	380	381,0	31,0	4,25

Observando los valores correspondientes a cada carga en los clinómetros I, III y IV, se aprecia que son casi iguales, cosa que debía ocurrir, pues se trata de 3 fibras paralelas y horizontales que, al deformarse por flexión, deben seguir siendo paralelas. Como consecuencia, tomamos como variación angular para una fibra horizontal la media de estas tres lecturas.

Con el dispositivo montado, cuyo esquema es el de la figura 11, *a*, el ángulo $\widehat{A\,O\,B}$, que antes de cargar la viga era aproximadamente recto, se deforma por efecto de las cargas y pasa a ser el $\widehat{A'\,O'\,B'}$ de la figura 11, *b*. Al calar los niveles de los clinómetros II y III, los ángulos leídos son el α y el β, y, por tanto:

$$A'\,O'\,B' = 90^\circ - (\beta - \alpha);$$

de donde se deduce que el valor de la deformación angular que estamos buscando es:

$$\gamma = 90^\circ - A'\,O'\,B' = \beta - \alpha,$$

o sea la diferencia entre las lecturas de los clinómetros II y III.

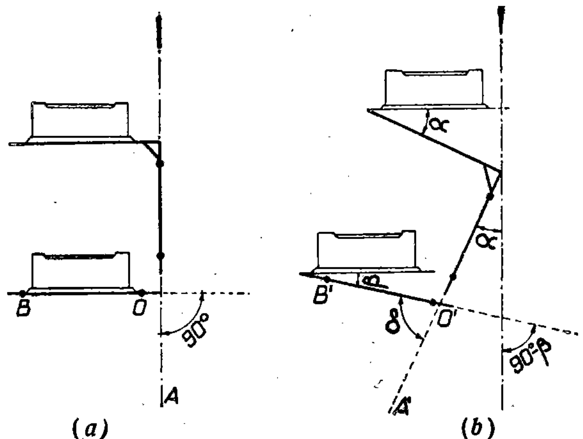

Figura 11.

Tomando como medidas en el clinómetro III la media de los I, III y IV, dichas diferencias se reseñan en el cuadro anterior.

Si se representa gráficamente la relación existente entre las diferentes cargas y los valores de γ, obtenemos la figura 12, en la cual pueden apreciarse dos partes muy diferentes: desde el origen hasta el punto P la gráfica es sensiblemente recta, y desde este punto en adelante resulta una curva arbitraria. La carga correspondiente al punto P es de 4 800 Kg. y producía en el hormigón grietas apreciables, por lo cual creemos que: "No debe usarse el método cuando el hormigón se ha agrietado". Para cargas inferiores existe proporcionalidad entre ellas y los valores de γ, resultando en nuestro caso que:

$$\gamma = \frac{31{,}2}{10^9}\,P.$$

En esta fórmula, P es la carga en kilogramos que se aplica en el centro de la viga, y γ la deformación angular en radiantes.

Partiendo de las fórmulas clásicas en el cálculo del hormigón armado, y siendo conocidas todas las

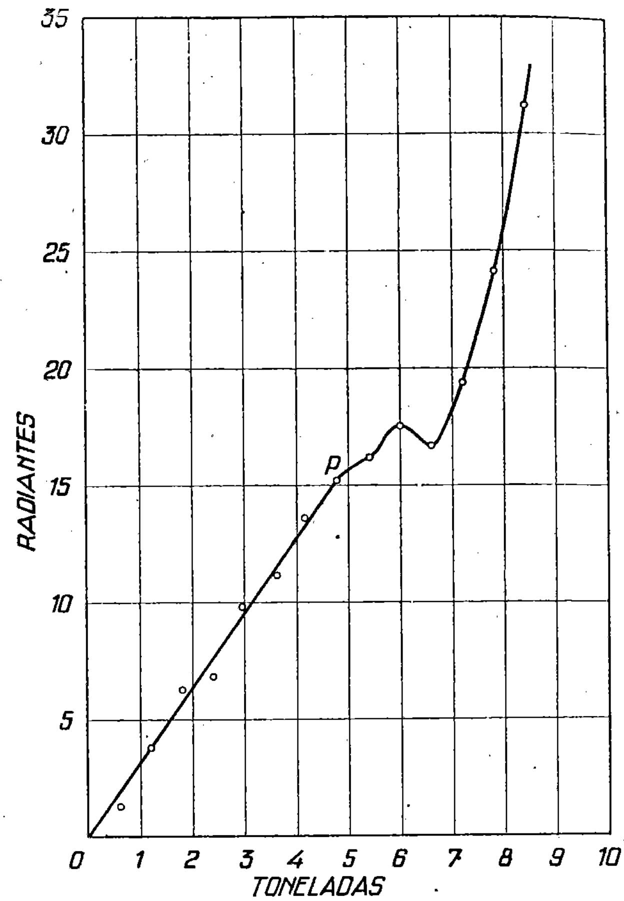

Figura 12.

dimensiones de la sección en que estamos operando, hallamos el máximo esfuerzo cortante que se produce en dicha sección cuando la carga central en la viga es de 1 000 Kg., y resulta:

$$\tau = \frac{T \times M_e}{b \times I} = \frac{500 \times 1\,586}{20 \times 35\,974} = 1{,}1025 \text{ Kg./cm.}^2.$$

El valor de γ para $P = 1\,000$ Kg. es:

$$\gamma = \frac{31{,}2}{10^6}.$$

Aplicando la fórmula:

$$\tau = G \times \gamma,$$

resulta:

$$G = \frac{1{,}1025 \times 16^6}{31{,}2} = 35\,336 \text{ Kg./cm.}^2.$$

Conocida la magnitud de G, se puede pasar con facilidad de las lecturas de los clinómetros a los valores de los esfuerzos cortantes.

El coeficiente *G* debe determinarse experimentalmente en cada caso, pues comportándose el hormigón armado como material anisótropo, creemos que no debe deducirse su valor del módulo de elasticidad por medio del coeficiente de Poisson, ya que los módulos de elasticidad de dicho material, por compresión y por tracción, son muy diferentes.

Como resumen de todo lo expuesto en este pequeño trabajo, nos atrevemos a aconsejar que en la medida de las deformaciones se usen aparatos de diferentes sistemas, para comprobar unos resultados con otros y aprovechar las ventajas de cada uno.

Corrobora esta afirmación las publicaciones hechas por laboratorios extranjeros sobre auscultación, entre las que se destacan las del Federal de Ensayo de Materiales, de Zurich, en donde se incluyen puentes en arco, en viga y pórtico, en todos los cuales se han medido las deformaciones de la obra con elongámetros, fleximetros y clinómetros, deduciéndose de estas medidas resultados concordantes y muy aproximados.

Quizá esta profusión de aparatos resultaría prohibitiva, por su coste elevado, para nuestra técnica, y, en el trance de elegir, creemos quedan aquí recogidas las posibilidades y ventajas de la medida clinométrica, que era nuestro propósito.