

CONVENIENCIA DE VIBRAR LOS HORMIGONES EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Por A. VIADER MUÑOZ y GABRIEL BARCELÓ, Ingenieros de Caminos.

Con gran claridad explican y demuestran los autores la conveniencia de una ejecución cuidadosa y esmerada de los hormigones, de modo que el material puede trabajar al máximo, mostrándose partidarios de este sistema en lugar del encaminado a proyectar con grandes coeficientes de seguridad para ponerse a cubierto de una posible ejecución descuidada.

Son muchos los ingenieros que proyectan las estructuras de hormigón armado, calculándolas con todo género de detalles y gran precisión en la obtención de los momentos flectores, esfuerzos cortantes y estado de tensiones correspondientes; pero cuando las construyen no ponen el mismo cuidado en la elaboración de los hormigones, contentándose con lo que la práctica aconseja y sin preocuparse de hacer ensayos que demuestren la bondad de los hormigones empleados y su correspondencia, en lo que a resistencia se refiere, con las exigencias que se derivan de los cálculos hechos con toda precisión y esmero. Esta costumbre, que pudiera denominarse vicio, llega a constituir escuela por los muchos que proceden de acuerdo con ella. Se basan los que así opinan, en que el constructor puede no ser persona cuidadosa ni, tal vez, de una preparación adecuada y, por tanto, es preciso proyectar estructuras fáciles y calculadas ampliamente para que resistan, aunque se ejecuten mal.

En este artículo nos proponemos ir contra dicha práctica, defendiendo esta otra: "Proyectar y calcular bien, pero construir mejor". Ello es preciso en todo momento, pero mucho más en las circunstancias actuales, en que, por unos u otros motivos, los cementos de que disponemos, en general, no dan hormigones de la resistencia a que estamos acostumbrados; por esta razón, se hace más necesaria una elaboración muy cuidadosa de ellos. De otro modo; nos vemos obligados a aumentar las dosificaciones innecesariamente, puesto que por eso no se aumenta proporcionalmente la resistencia.

Las construcciones metálicas se ejecutan con materiales que, procedentes de fábrica, vienen garantizados por ella, y la labor del constructor es, relativamente, pequeña, pues se limita a su montaje. Por el contrario, en las obras de hormigón, el constructor no recibe más producto garantizado para ejecutar la obra que el cemento, y su libertad, y, por tanto, su responsabilidad, es grande para elaborar el material que debe resistir a los esfuerzos calculados en el proyecto.

Por consiguiente, la ejecución esmerada de la obra tiene una importancia primordial para la buena segu-

ridad de la misma, entendiéndose por ejecución la elección, preparación y empleo de los diversos elementos que la integran.

Así, no es raro que obras bien calculadas tengan una vida precaria y se agrieten con frecuencia. Dicha posibilidad de agrietarse no depende solamente de la calidad del cemento empleado, material al que se le suele hacer responsable, sino de un gran número de factores que intervienen en la elaboración del mismo (granulometría de los áridos, cantidad de agua empleada, tratamiento posterior del hormigón, etc.).

En las estructuras de hormigón armado es evidente que, como en las demás, se obtiene una gran economía, con ahorro de materiales, si ello no implica un aumento prohibitivo de la mano de obra, lo que equivale a concebir y proyectar la estructura del modo más adecuado al fin que se persigue, y también, a conseguir durante la ejecución de los hormigones las mayores resistencias posibles para que los proyectos en los cuales se le obliga a altas cargas de trabajo no queden desvirtuados.

Si han de trabajar los hormigones a fuertes cargas de trabajo, serán precisas varias condiciones; pero en lo que al constructor se refiere, es necesario que la dosificación de áridos sea la más acertada y que, principalmente, la relación de agua-cemento sea la menor posible y reducida casi estrictamente a la indispensable para el fraguado, sin olvidar tampoco la docilidad.

Estas dos condiciones apuntadas, que están en manos del constructor — no hablemos de la buena calidad de los áridos, de su limpieza, tamaño, etc., ni tan poco de la calidad de los cementos que maneja —, suelen ser descuidadas, salvo en casos excepcionales, y sin embargo, debe ser todo lo contrario. En el momento actual, no debía tolerarse obra alguna de cierta importancia, sin la instalación, a pie de obra, de un pequeño laboratorio de ensayo de materiales, en los que se llegara a un conocimiento suficientemente aproximado de la resistencia de los mismos. El proyectista, al calcular sus estructuras, parte de un hormigón tipo que debe fijar, de acuerdo con la Instrucción, por su carga de rotura, a los veintiocho días; dato éste

fundamental, que interviene en todo, pues de él dependen no sólo las dimensiones de los distintos elementos estructurales, sino también las cuantías de las armaduras necesarias.

Este coeficiente importantísimo suele no ocupar el lugar preferente que le corresponde en los proyectos en los que, corrientemente, sirve solamente como término de comparación después de haber efectuado todos los cálculos, sin haber tenido en cuenta que el coeficiente de elasticidad depende de él por la relación

$$E = 864 R_{28};$$

y también el coeficiente de equivalencia

$$r = \frac{2315}{R_{28}};$$

lo que nos da resultados muy distintos, según los valores de R_{28} .

Por ejemplo, si

$R_{28} =$	160 Kg./cm. ²	220 Kg./cm. ²	300 Kg./cm. ²
$E =$	138.240 Kg./cm. ²	190.080 Kg./cm. ²	259.200 Kg./cm. ²
$r =$	15	10,5	7,7

Y si calculamos partiendo de un valor elevado de R_{28} , podemos ahorrar hormigón y armadura, con la particularidad de que la cantidad de cemento también será menor, porque su dosificación no habrá variado.

El método más económico para obtener hormigones muy resistentes es elaborarlos con muy poca agua, lo cual requiere, para colocarlos y asentarlos debidamente, someterlos a una vibración adecuada.

En apoyo de esta tesis, vamos a describir someramente lo que hemos tenido ocasión de realizar en la estructura de hormigón armado que la Sociedad Financiera y Minera, de Málaga, ha construido en su fábrica de cemento "Goliat", para albergar un nuevo horno giratorio, con todas sus instalaciones accesorias, sistema "Lepol".

La estructura, cuyo alzado y secciones representan las figuras 1.^a y 2.^a, para resistir a las grandes cargas que sobre ella actúan, se proyectó de hormigón, que, en muchas partes, está fuertemente armado, especialmente en la unión de pilares y vigas de gran longitud, en donde se entremezclan los hierros respectivos.

Las cargas de trabajo del acero y hormigón son, en general, elevadas, llegando en muchos puntos a 1200 y 60 Kg./cm.², respectivamente. Estas fuertes cargas de trabajo nos obligaron a elaborar y emplear hormigón de alta calidad, aunque no disponíamos más que de cemento corriente. Hemos conseguido hormigón con carga de rotura de 300 Kg./cm.², a los noventa días; para esto, todos los factores que influyen en su calidad se han tratado y escogido para dar su óptimo resultado. Por esta razón, y como tratábamos de conseguir un producto de alta calidad, recurrimos a la vibración, persuadidos de la eficacia de la misma.

La gran densidad de armaduras obligaba, con los procedimientos corrientes de apisonado, a emplear hormigón bastante fluido para que penetrase bien entre todos los intersticios de aquéllas y no quedaran nidos interiores.

Por este motivo se fijó el tamaño máximo del árido en 25 mm., para poder pasar por todos los huecos. La dosificación de áridos se hacía mediante la combinación de gravilla machacada, procedente de las canteras de caliza de la fábrica, zahorra de playa, arena de playa y polvo fino calizo, para aumentar la docilidad del hormigón. Estos áridos se dosificaban dibu-

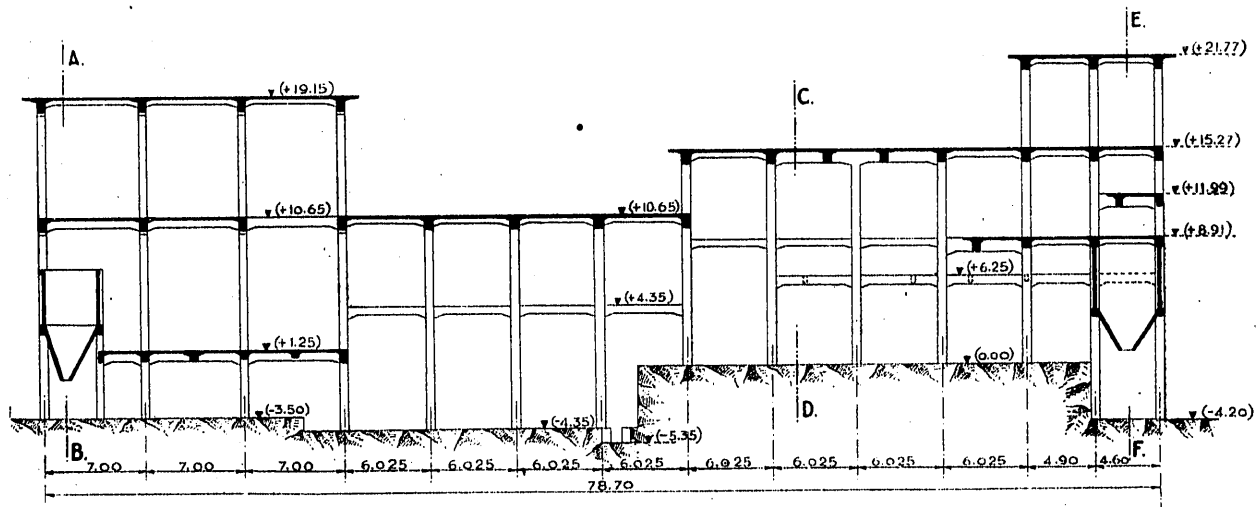


Figura 1.^a

jando el correspondiente gráfico granulométrico en hojas en donde estaban previamente indicadas las curvas de Bolomey y Fuller, y se exigía siempre que la curva correspondiente se encontrase totalmente dentro de la zona que la Instrucción alemana califica de "especialmente buena". Se procuraba, en lo posible, que la curva del árido resultante se encontrase próxima a la de Fuller, para conseguir la máxima resistencia.

Constantemente se hicieron probetas de ensayo con cubos de 7,1 cm. de arista, para poderlos romper a compresión en la prensa corriente para probar cubos de mortero, de que disponía la fábrica. Sabido es que la forma de la probeta tiene influencia decisiva en el

se íaran o contrastan con pruebas en laboratorios oficiales.

A lo largo de la ejecución de la obra se han hecho, cuando se hormigonaba, ensayos con cubos de 7,1 centímetros, y de vez en cuando se han mandado probetas cúbicas de 15 cm. a otros laboratorios. Los resultados han sido siempre concordantes.

Las primeras probetas cúbicas de 7,1 cm. ejecutadas con hormigón fluido ($A/C = 0,90$), dieron un resultado medio de 57 Kg./cm.², a los siete días. Aunque los ensayos decisivos son a los veintiocho días, se hicieron las pruebas a los siete, para prever rápidamente la futura resistencia del hormigón. Dadas las

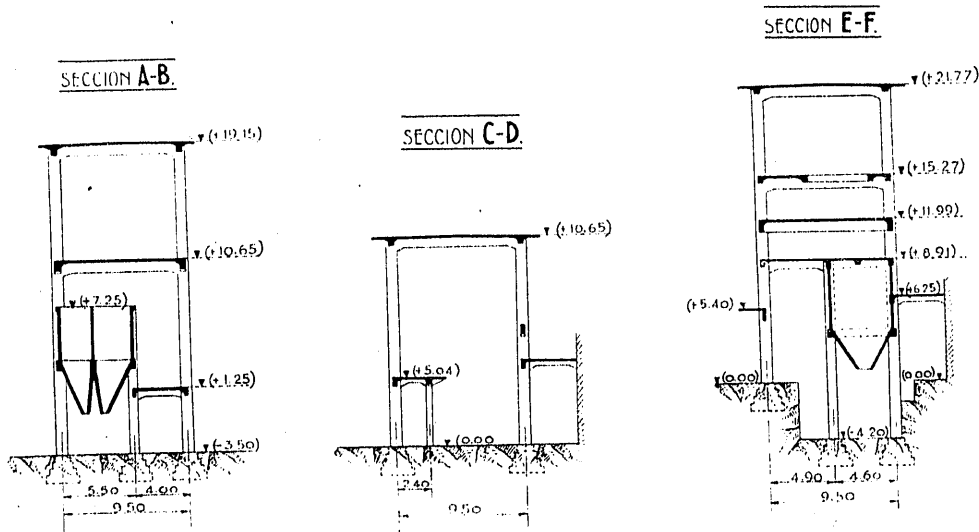


Figura 2.

resultado del ensayo, y que la resistencia prismática es menor que la cúbica, y que ésta decrece a medida que aumenta la arista del cubo. Asimismo, la norma corriente europea es la probeta cúbica de 20 cm. de arista, que da resultados un 15 por 100 menores que las probetas cúbicas de 7,1 cm. de arista.

No obstante lo apuntado, y como tratábamos solamente de obtener un orden de magnitud de la resistencia, decidimos ensayar cubos de 7,1 cm. de arista. Por otra parte, el ensayo es aceptable cuando la menor dimensión de la probeta triplica el máximo tamaño del árido, condición que casi se cumple en nuestro caso. Además, los ensayos comparativos que realizamos con cubos de 7,1 cm., probados en la prensa pequeña, y con cubos de 15 cm. de arista, ejecutados con el mismo hormigón y rotos en el laboratorio de la Escuela de Caminos, nos confirman, por la analogía de los resultados, que las citadas pequeñas prensas son adecuadas para darnos idea de la calidad del hormigón confectionado, sobre todo si estos múltiples ensayos

cargas de trabajo del hormigón, determinadas por el cálculo, que llegaban a 60 Kg./cm.², no se podía, en estas condiciones, ejecutar la obra.

Ante este estado de cosas, no cabían más que dos soluciones: modificar la estructura, aumentando las dimensiones y aliviando ciertas partes para disminuir radicalmente las cargas de trabajo de los materiales, o modificar la ejecución prevista, con objeto de aprovechar hasta el máximo las cualidades de los componentes. No dudamos del camino a seguir.

A menudo se presentaría en la ejecución de las obras de hormigón armado, el dilema indicado, si se hiciesen probetas: "Desacuerdo entre la realidad de la ejecución y el cálculo previsto". El camino más cómodo es modificar la estructura, y que el nuevo cálculo dé cargas moderadas a los materiales, para obtener el coeficiente de seguridad previsto por las disposiciones oficiales. Esto implica aliviar excesivamente a los materiales de las cargas que, bien tratados, pueden resistir.

En nuestro caso, este aumento de capacidad resistente del hormigón se ha obtenido por el estudio de los áridos y por el empleo de la vibración. como hemos indicado anteriormente.

Empezóse a vibrar el hormigón con martillos neumáticos sostenidos por el obrero. Los martillos terminaban en una barra maciza, con la punta machacada. A pesar de ello, dañaba el encofrado, y se le proveyó, para evitarlo, de una fuerte plancha de hierro de 10 X 10 cm., unida por un tubo, y con un dispositivo especial, a la barra del martillo, para poder levantarlo y trasladarlo cuando no funcionaba, y empezando éste a trabajar cuando la plancha descansaba en el encofrado e insistía sobre ella la barra del martillo que entraba en el citado tubo.

Inmediatamente se desechó este procedimiento y empleáronse vibradores neumáticos. Las fotografías adjuntas nos muestran tres de los varios utilizados, en pleno funcionamiento. El de la fotografía 1.ª, actúa directamente sobre el encofrado, a través del hormigón, y su manejo es francamente cómodo, realizando un vibrado perfecto; el de la 2.ª, actúa sobre el hormigón, efectuando la vibración superficial del mismo; la 3.ª, muestra un vibrador flotante o pervibrador, que se ha empleado especialmente en la ejecución de pilares.

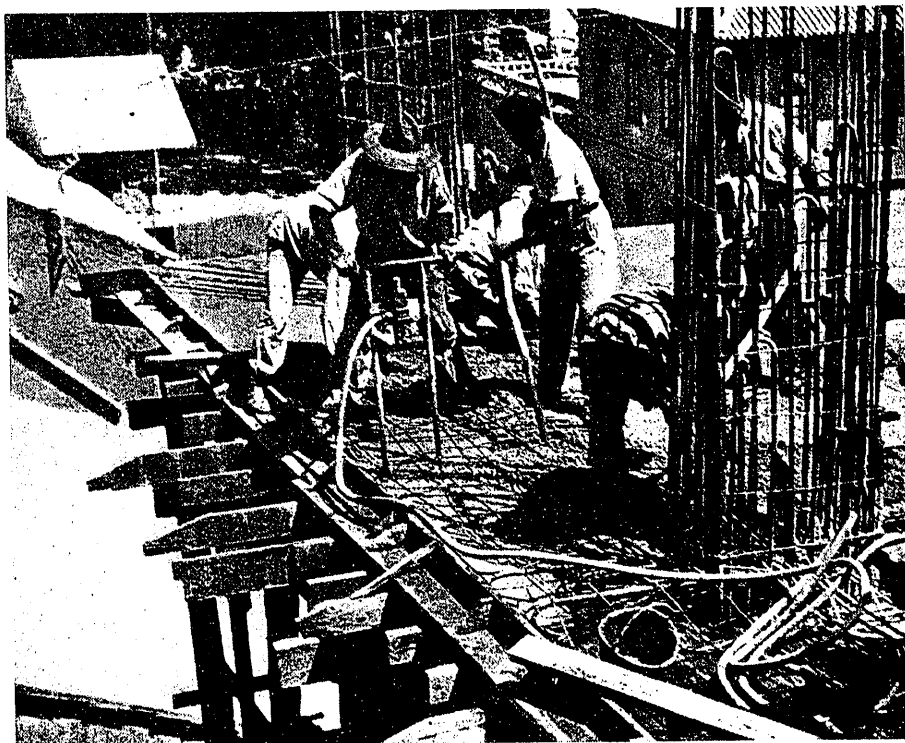


Foto 1.ª — Vibración de un forjado de piso.



Foto 2.ª — Vibración superficial de un forjado de cubierta.



Foto 3.ª — Pervibración de un pilar.

*RESISTENCIA DEL HORMIGÓN
EN FUNCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA - CEMENTO*

Resistencia
en Kg./m²
a los 28 días.

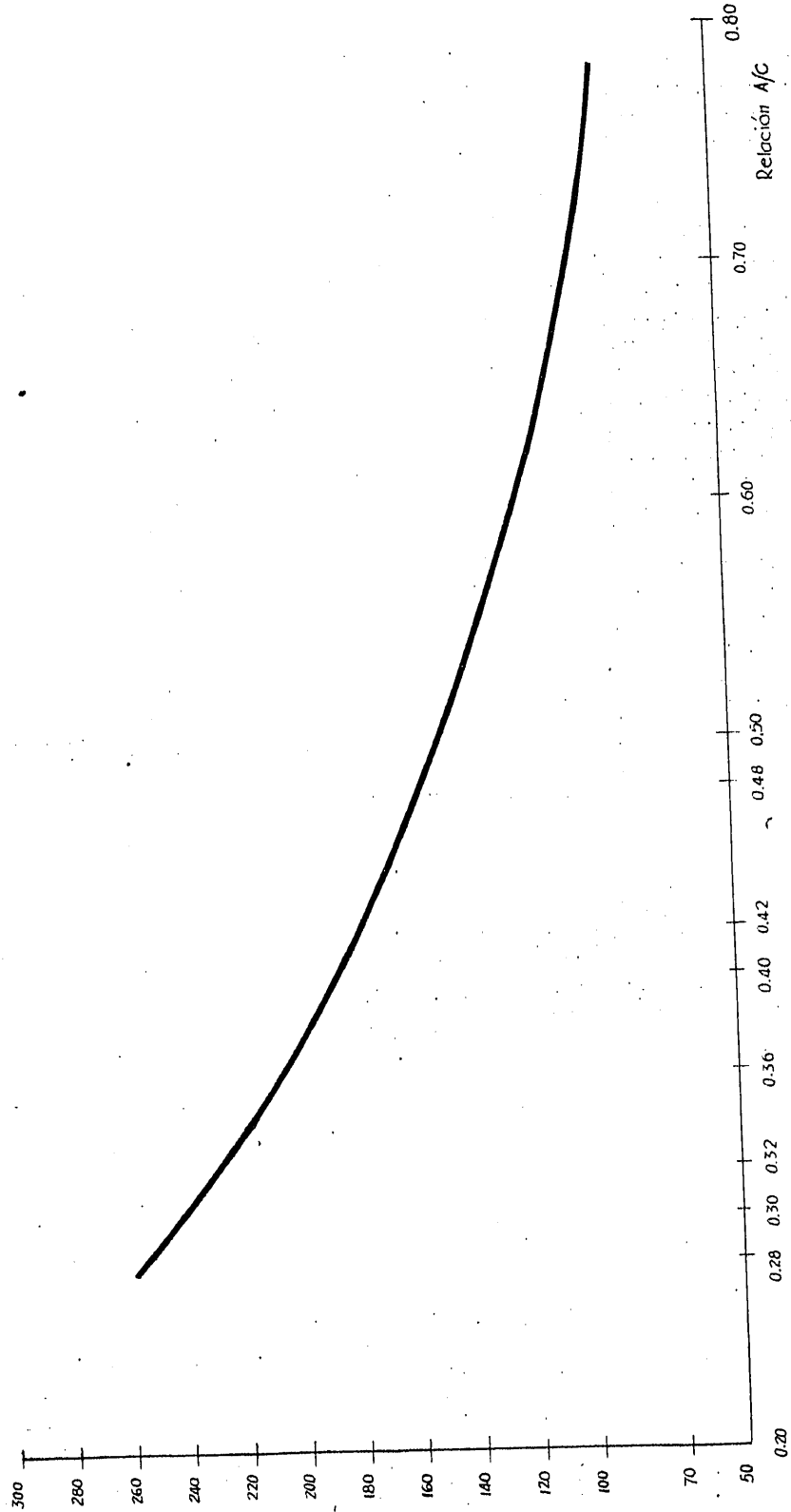


Figura 3.^a

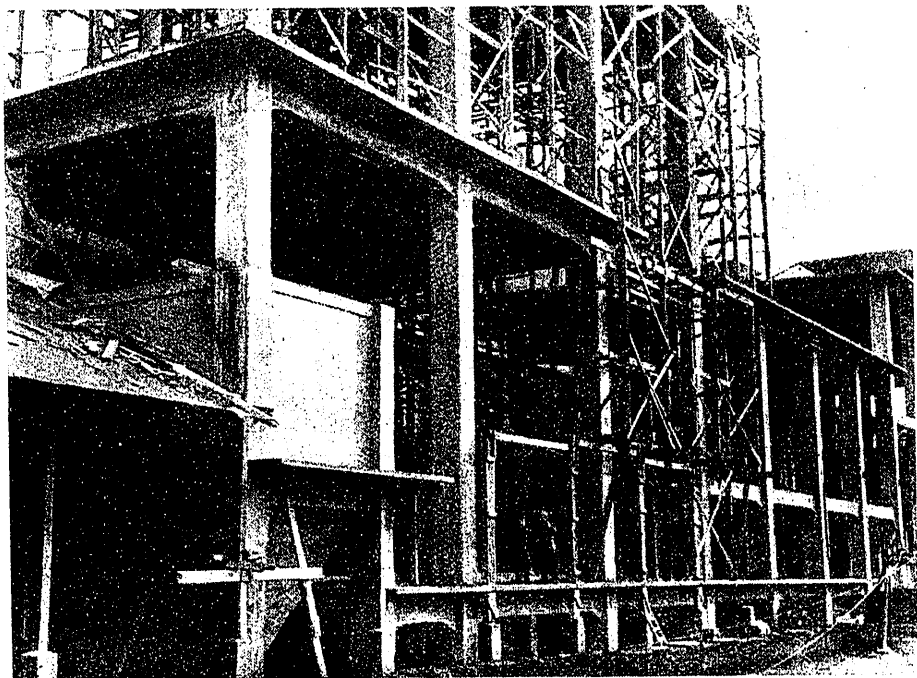


Foto 4.ª

Los resultados no han podido ser más halagüeños, llegándose a obtener, con cubos de 7.1 cm. de arista, a los siete días, resistencias de 250 Kg./cm.², y con cubos de 15 cm., a los noventa días, ensayados en la Escuela de Caminos, 300 Kg./cm.².

De las múltiples pruebas de rotura realizadas, hemos obtenido la curva que pone de manifiesto la figura 3.ª, que indica la dependencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la compresión del hormigón. La fórmula de Bolomey, aplicada a este caso, ha resultado ser:

$$R_{28} = 174 \left(\frac{C}{A} - 0,5 \right).$$

La constante específica media del hormigón, $K=174$, a los veintiocho días, indica la bondad de los resultados obtenidos, si se tiene en cuenta que, normalmente, para los cementos españoles puede tomarse $K = 150$ para dicho plazo.

La objeción que suele hacerse al vibrado de hormigones es, principalmente, el en-

carecimiento de los encofrados; pero hemos podido comprobar que no hay diferencia sensible en los forjados, y si únicamente en las columnas, en las que es preciso reforzarlos, apuntalándolos bien con objeto de que no haya desplomes, y el encarecimiento de la obra a consecuencia del vibrado, en general, no ha sido de importancia, sobre todo si se tiene en cuenta la seguridad de la buena resistencia de la estructura y tranquilidad en la inmejorable calidad de hormigón obtenido.

Otra gran ventaja del vibrado, que hemos podido comprobar en la presente estructura, consiste en que, habiéndose ejecutado los forjados de la cubierta de 12 y 15 centímetros de espesor, al descubierto, sin ninguna clase de protección, con luces de 9,50 X 7 m., y llevando al-

guno de ellos más de un año de ejecución, no se han observado el menor pelo ni grieta. Las fotografías 4.ª y 5.ª muestran dos aspectos de la obra.

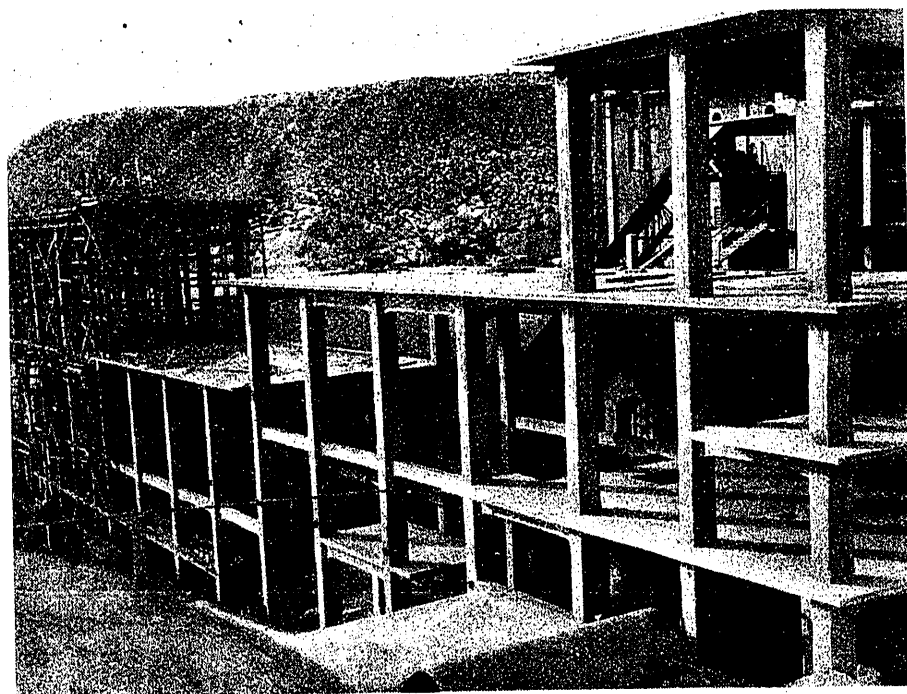


Foto 5.ª