

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

680-21 TECNOLOGIA MODERNA DEL HORMIGON

(Neuzeitliche Betontechnologie)

J. Bätcheld

De: "SCHWEIZERISCHE BAUZEITUNG", vol. 72, nº 30, 24 julio 1954,
pág. 433

- - -

GENERALIDADES

La fabricación y elaboración del hormigón ha sufrido, en el transcurso de los últimos diez años, una evolución extraordinaria. En toda la literatura competente, aparecida en épocas anteriores, no se encuentra nada referente a los agentes aireantes, al empleo de grano grueso de tamaño superior a 120 mm. o a fábricas de hormigón que garantizaran una exactitud, en la dosificación, del 3 al 5 %. Tampoco se encuentran indicaciones sobre la eliminación de granulometrías pequeñas, inferiores a 3 mm., y su significación excepcional sobre la calidad del hormigón. Los nuevos conocimientos y los medios modernos permiten producir, económicamente, hormigón de alta resistencia, estabilidad al clima y proporcionamiento exacto.

ARIDOS

Hace pocos años se consideraba como un adelanto la separación de la grava (0 a 30 mm., ó 0 a 50 mm.) en dos componentes. La separación se realizaba, la mayoría de las veces, en 5, 7 u 8 mm. Inicialmente se prescribía una subdivisión de la grava natural, de 0 a 120 mm., en 6 y 40 mm.; en cambio, posteriormente, la grava con tamaño entre 0 y 180 mm. se separa en

3, 8, 25 y 60 mm. Las resistencias a la compresión, que se prescribieron en cada caso, fueron, respectivamente, de 100 kg./cm² (hormigón P 190) y 210 kg./cm² (hormigón P 300), en el primer caso, y de 180 kg./cm² (hormigón P 180) y 280 kg./cm² (hormigón P 280) en el segundo caso, obteniéndose valores medios, en este último, superiores a 300 y 450 kg./cm².

Primeramente se consideraba que el polvo mejoraba la docilidad del hormigón; en la actualidad se persigue su eliminación, utilizándose diversas instalaciones para su separación (por lavado de los áridos), obteniéndose resultados asombrosos. De esta forma se mejoran asombrosamente la resistencia, la estabilidad frente a la helada, etc. Se comprende que ocurra así, puesto que el material más fino absorbe el agua como una esponja, elevándose, por consiguiente, a su valor máximo la destrucción por la helada; en diversas obras se ha comprobado este hecho, observándose que la destrucción es mayor en las capas de hormigón en las que dominan los finos, que suelen ser las superiores, pues, debido a la cantidad demasiado grande de agua y a la excesiva proporción de arena, el hormigón presenta segregación y, al compactarlo, las partículas finas se dirigen hacia la parte superior. Actualmente se comprende que no se necesita tanto material fino para rellenar los poros como se creía antes. Teóricamente, los granos debían tocarse y cubrirse, únicamente, por una capa de lechada de cemento, del grosor de las partículas de cemento. Se puede deducir fácilmente que para el relleno de los poros que quedan se necesita muy poco cemento.

Con ayuda de la superficie específica (fig. 1) y de la curva granulométrica, se puede calcular, para cada mate-

rial, la superficie total del grano. Siendo S_e la superficie específica de un grano por gramo de peso, γ el peso específico del mineral de que procede el árido y d el diámetro determinante para el paso por el tamiz, se puede poner:

$$S_e = \frac{a}{\gamma \cdot d}$$

donde a es un factor que depende de la forma del grano (material esférico, $a=6$; material cúbico, $a=6\sqrt{2}$; material laminar, $a=12$).

La superficie total de los granos en un m^3 de arena-grava, de 0,1 a 60 mm., con una composición granulométrica correspondiente a la curva EMPA (Laboratorio Federal de Ensayos de Materiales, de la Escuela Politécnica Federal de Zurich), asciende, para $a=10$ (material en parte laminar, en parte triturado), a $25 \cdot 10^6 \text{ cm}^2$, aproximadamente; 1,5 % del árido, constituido por polvo de tamaño inferior a 0,1 mm., tiene aproximadamente la misma superficie. Consideremos que el espesor de la capa de recubrimiento de cemento es igual al diámetro medio de los granos de cemento, por ej. 0,05 mm. Para el recubrimiento de todos los granos se necesitaría

$$25 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 125 \text{ l.}$$

de lechada de cemento. Para material laminar ($a=12$) se necesita un 20 % más; para material esférico, un 2 % menos.

El polvo de los áridos empobrece la lechada de cemento, disminuye su calidad, y, por consiguiente, para dosificaciones pobres, empeora la cementación. Sin embargo, si existe exceso de pasta de cemento en el hormigón, los granos de árido quedan aislados en la misma, y la resistencia es menor que

en el caso en que se toquen.

El volumen de los poros de un material arena-grava, de 0,1 a 60 mm., vibrado con agua, asciende a un 20 %. Puede llenarse con 150 kg. de cemento (50 l. de material sólido) y 150 l. de agua. De esta cantidad de agua sobran 120 l., que, por consiguiente, dejarán un 12 % de poros y canales. De los 200 l. de lechada de cemento son necesarios, únicamente, 125 l. para el recubrimiento de los granos del árido. De estas consideraciones resulta que un hormigón P 150, si no se toman otras medidas (reducción de la relación agua/cemento), debe ser muy poroso. De la fórmula que da la superficie específica resulta que cuanto mayor es el diámetro, más pequeña es la superficie de los granos en la unidad de volumen. Un material de arena-grava, de 0,1 a 120 mm., tiene una superficie un 20 % más pequeña que uno de 0,1 a 60 mm., por lo que puede ahorrarse lechada de cemento o rellenar mejor los poros.

La proporción de superficie de los granos de arena fina, de 0,1 a 1,0 mm., representa el 60 % y de 1,0 a 3,0 mm. el 13 % de la superficie total del árido de 0,1 a 60 mm. (suponiendo, aproximadamente, que el material es esférico). El 1,5 % del árido, constituido por polvo de tamaño inferior a 0,1 mm., presenta, aproximadamente, la misma superficie que el 98,5 % restante. Por lo tanto, la eliminación del polvo y la composición exacta de la arena entre 0,1 y 3,0 mm. presenta una importancia fundamental; por consiguiente, se comprende que las porciones mayores tienen un papel secundario.

El tamaño máximo de grano que se suele emplear es 150 mm.; en las experiencias realizadas con grano mayor se observó que existe gran dificultad en la compactación, extraordi

nario desgaste de los vibradores, etc. Se pueden utilizar bloques de mayor tamaño si se sigue un método diferente: En una capa de hormigón de finos, por ej. de 50 cm. de espesor, se vibra una capa de 70 cm., de bloques de piedra. Los grandes vibradores empleados pesan varias toneladas. La capa de hormigón de gruesos así originada tiene, aproximadamente, 85 cm. de espesor (fig. 2), presentando una dosificación de P 125, con una relación agua/cemento muy pequeña (aproximadamente 0,4). Parece que con este procedimiento puede conseguirse un hormigón de alta resistencia. El desarrollo de calor es muy pequeño; la compactación esmerada y la pequeña relación agua/cemento producen una porosidad menor.

ADICIONES

Los agentes plastificantes mejoran la docilidad del hormigón, sin necesidad de elevar la dosificación del cemento. Como tales se pueden emplear polvos finos (por debajo de 0,05 mm.), más o menos activos química o eléctricamente (tierra de diatomeas, cenizas volantes, puzolanas, bentonita, etc.), que actúan, fundamentalmente, por su finura, como lubricantes. Más importantes son algunos compuestos orgánicos (alcoholes, lignin sulfonatos cálcicos, etc.), cuyas moléculas dipolares tienen una gran afinidad; por una parte, para los granos de cemento, por otra para el agua, alcanzándose una perfecta distribución e irrigación del cemento y, al mismo tiempo, se impide la formación de copos. A esta clase pertenece el Plastiment (determina el empleo de una menor cantidad de agua, disminución de la segregación, mejor adherencia y mayor resistencia del hormigón).

Como hemos indicado en las consideraciones granulométricas, el hormigón no debe contener más material fino que el

necesario para el recubrimiento de los granos de roca y para el relleno de los poros. Las experiencias realizadas han puesto de manifiesto que se puede sustituir una parte de arena fina por vesículas de aire, sin que disminuya, prácticamente, la resistencia. Estos poros de aire, distribuidos de forma regular, de 0,05 a 0,2 mm., comunican mayor plasticidad al hormigón, permiten una considerable disminución del agua de amasado, eliminan la formación de capilares y con ello la posibilidad de tomar agua, y determinan un aumento de la resistencia a la helada.

Se conocen también líquidos (agua jabonosa, resinas artificiales, etc.) que por agitación pueden dar lugar a una espuma estable. El problema consistía en encontrar un producto que no formase espuma, sino, únicamente, vesículas finas, con una distribución regular. Ha de ser químicamente inactivo, de forma que no ataque al cemento ni a los áridos (resinas Vinisol, Darex, etc.). Con un contenido de poros de aire de 3 a 5 %, la adición de agua disminuye en 10 a 15 %. El aumento de la docilidad permitió una disminución de la dosificación del cemento en el hormigón de P 180 a P 170, e incluso a P 160.

Se ha logrado una mayor reducción en la adición de agua y en el contenido de cemento, sin que se pierdan las propiedades del hormigón, por el empleo de la mezcla de un agente aireante y uno plastificante (Fricoplast). Se ha comprobado que es posible, con una dosificación de P 150 y adición de Fricoplast, obtener hormigón estable a la helada y con buena resistencia.

El autor ha realizado numerosos ensayos para poder determinar que medidas se han de adoptar con respecto a cuanto se ha tratado en relación con las adiciones citadas, para obte

ner hormigón de calidad con las dosificaciones mínimas. Como resumen de dichas experiencias presenta el cuadro siguiente:

VALORES MEDIOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA, MEDIDOS EN PRÓBETAS

DE HORMIGON P. 130. CON GRANO DE 120 MM.

Prueba	Arido y adición	Resistencia (kg./cm ²)	Relac. A/C.	Permeab. (cm ³ /min.)
I	Arena normal (0-8 mm.), sin adic.	210	0,8	0,018
II	Arena normal, con Darex (0,45 cm ³ /kg. cemento)	220	0,72	0,0005
IIa	Como II, sin polvo	236	0,70	0,006
III	Como II, con Fritoplast (0,5 cm ³ /kg. cemento)	249	0,70	0,003
IIIa	Como III, sin polvo	286	0,70	0,0016
IV	Como III, con adición de 3% de polvo a la arena normal.	177	0,78	0,16

TRANSPORTE Y ACARREO DEL HORMIGON.

Con la disminución de la adición de agua y de la proporción de finos, aparece el peligro de que se produzca segregación durante el transporte. Se ha comprobado que, por adición de un agente plastificante o de un "air-entraining", se puede impedir, casi por completo, dicho inconveniente.

Para el transporte pueden emplearse los vehículos corrientes. Dentro de la obra puede realizarse el acarreo mediante palas o por bombas; se han retirado las bombas de émb-

lo y se han sustituido por bombas neumáticas, que presentan un desgaste menor y pueden trabajar con cualquier dosificación.

En el caso del transporte con grandes cubos, se produce, en el vertido, una segregación del hormigón. Este inconveniente puede remediarse con el empleo de mangas de distribución; de esta forma puede regularse el espesor de cada capa, y puede compactarse sistemáticamente. Si se emplea un cubo, debe presentar un dispositivo especial, o bien debe poder desplazarse durante la descarga, a fin de que el hormigón se distribuya en una gran superficie, sin que se forme un montón.

El tratamiento de las juntas, que inevitablemente se producen en el hormigonado, es el mismo en todas partes: se separa la película de cemento, se pica y se coloca hormigón de finos (no lechada de cemento), cuidando de que no se seque. Así se logra una buena unión del hormigón nuevo con el viejo.

Los puntos débiles de las grandes obras, con empleo de hormigón en masa, son las llamadas juntas de estación. Las diferencias de retracción y de temperatura entre el hormigón -- del último año y el nuevo, además de las tensiones propias debidas a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior, especialmente en invierno, provocan una abertura de dichas juntas en las obras ya terminadas. Por esta razón, se recomienda colocar en las mismas, en el momento de la construc- ción, unos tubos que permiten inyectar en el momento en que se haya producido la retracción.

La compactación del hormigón fresco, con vibrador de inmersión, se ha realizado hasta hace poco con grandes dificultades. En hormigones de áridos gruesos, con una dosificación

inferior a 160 y relación agua/cemento inferior a 0,9, el desgaste de los vibradores era muy grande. Actualmente se disminuye por la eliminación del polvo y la aplicación de agentes plastificantes y agentes aireantes; de esta forma, se puede vibrar inmejorablemente, un hormigón P 130, con una relación agua/cemento 0,9.

MEDIDAS CONTRA LA ACCION DE LAS AGUAS AGRESIVAS.

El agua que, conteniendo ácido carbónico, etc., se introduce en el hormigón por los capilares o poros, puede atacarle. El ataque es considerable y es preciso proteger dichas superficies. El efecto de disolución se ejerce, preferentemente, sobre el CaO, pero también se disuelven pequeñas cantidades de sales alcalinas, magnésicas, de hierro, aluminio, etc., así como algo de sílice. La protección se puede lograr con una pintura bituminosa o por empleo de fluatos. El autor ha realizado diversas experiencias con superficies de hormigón fluatadas y sin fluatar, sometiéndolas a tratamiento con aguas carbónicas. Al cabo de tres semanas se perciben ya diferencias entre ambos tipos de superficies; a las nueve semanas, la lixiviación de las superficies sin fluatar era un 25 % mayor que la de las fluatadas.

DESPRENDIMIENTO DE CALOR

El hormigón seco tiene un calor específico de 0,2 kcal./kg. Con un desprendimiento de calor por el cemento de 80 kcal./kg. y un transporte de calor por radiación y convección de 5 a 10 %, según el tiempo en que se realiza la construcción y el formato de los bloques (juntas ordinarias y de construc-

ción), resulta una elevación de temperatura de 12 a 14°C por 100 kg. de dosificación de cemento. Una diferencia de temperatura entre el interior y la superficie de un muro de hormigón, sin juntas ordinarias, de 30°C, produce tensiones de tracción del orden de 40 kg./cm².

Sin enfriamiento artificial, en el hormigonado forzado, la dosificación del cemento no debe sobrepasar los 160 kg/cm³. Con enfriamiento artificial se puede regular la subida de temperatura.

El remedio de estos inconvenientes sería el empleo de un cemento con una tonalidad térmica baja. Habiéndose observado que cemento, denominado "low-heat" no ha satisfecho tales exigencias, se ha recomendado el empleo de cemento de horno alto o de un cemento especial sulfosiderúrgico; estos cementos de sarrollan, únicamente, $\frac{1}{2}$, e incluso solamente $\frac{1}{3}$, del calor que desprende un cemento Portland.

MEDIDAS EN LAS OBRAS TERMINADAS

Actualmente, existen excelentes medios para el control del curso de la temperatura en el interior del hormigón. En cambio, las medidas de expansiones y tensiones no han conducido a ningún resultado satisfactorio; las diferentes influencias se superponen de tal forma que no es posible el análisis de los resultados. El procedimiento corriente de prueba del hormigón es el de las calicatas. Por su parte el "Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics" de París, ha desarrollado, en el último año, un procedimiento de prueba, sin destrucción del hormigón, denominado "Auscultation dynamique du béton" (en este trabajo, -

Bätchold da una breve descripción del mismo).

El autor cierra su artículo con unas consideraciones finales en las que hace hincapié sobre todos los detalles tratados. Da, también, doce referencias. S.F.S.

- - -

Fig. 1.—Superficie específica de los granos en función de su diámetro.

Fig. 2.—Preparación de hormigón ciclopeo.

Fig. 3.—Caja cúbica tipo.

Fig. 4.—Abacos para la determinación de la dosificación P en cemento (kilogramos por m³), en la caja cúbica tipo.

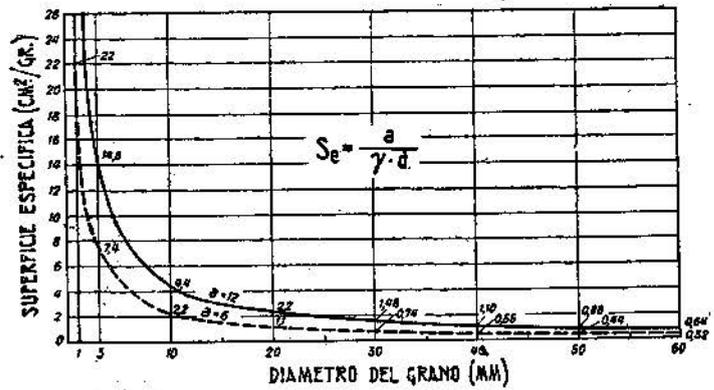


Fig. 1.

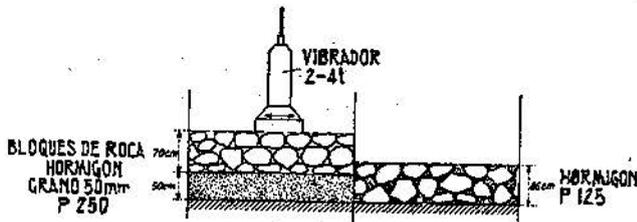


Fig. 2.

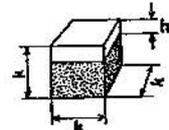


Fig. 3.

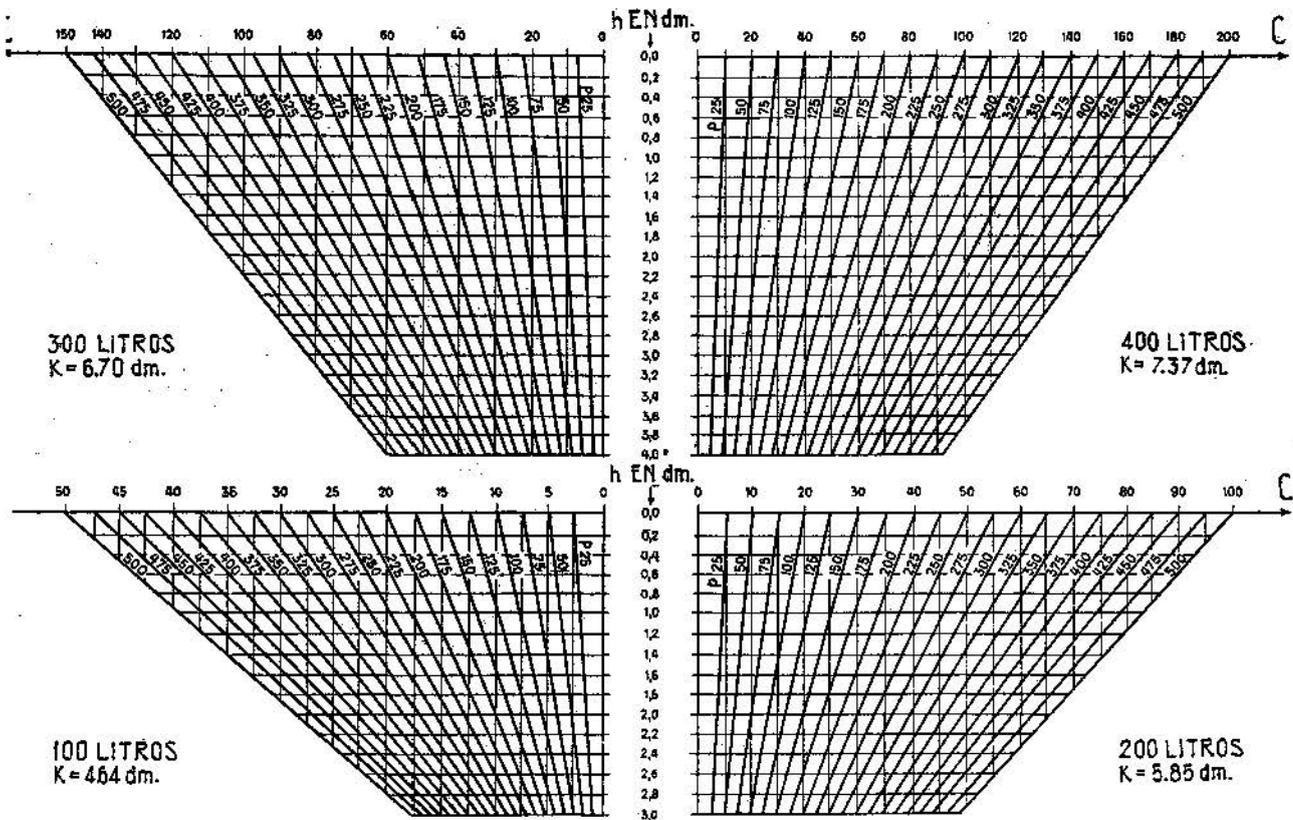


Fig. 4.