

HORMIGONES PERMEABLES: APLICACIONES

Por FEDERICO GODED ECHEVERRÍA, Ingeniero de Caminos.

Según anunciamos en nuestro número anterior, termina en el presente artículo el trabajo sobre el tema del epígrafe, refiriéndose especialmente a hormigones de dosificación discontinua, y presentando, finalmente, una interesante aplicación práctica de estos ensayos.

(Conclusión.)

Por ejemplo, todas las curvas S - H correspondientes a $D_{\max} = 9,5$ mm., estarían comprendidas en un recinto tal como el indicado en la figura 11, cuyo contorno es fácilmente determinable experimentalmente.

La forma aproximada del mismo es la dibujada, como se puede deducir del aspecto de las curvas h , g y f .

Efectivamente, aumentando o disminuyendo $d_{\min}$ hasta los máximos admisibles, obtendríamos curvas tales como la h' y la f' , respectivamente. Y dentro de una curva determinada, tal como la h , es indudable que aumentando el coeficiente granulométrico m con objeto de obtener una granulometría con un mayor valor de H , alcanzamos en seguida un límite máximo para esta última variable, y recíprocamente para valores negativos de m nos encontramos también con un límite mínimo para H .

Dentro de este contorno están todos los puntos correspondientes a pares de valores de S y de H que se pueden obtener con todas las granulometrías posibles, con el tamaño máximo del árido $D_{\max} = 9,5$ mm. y, por tanto, todas las curvas de igual resistencia.

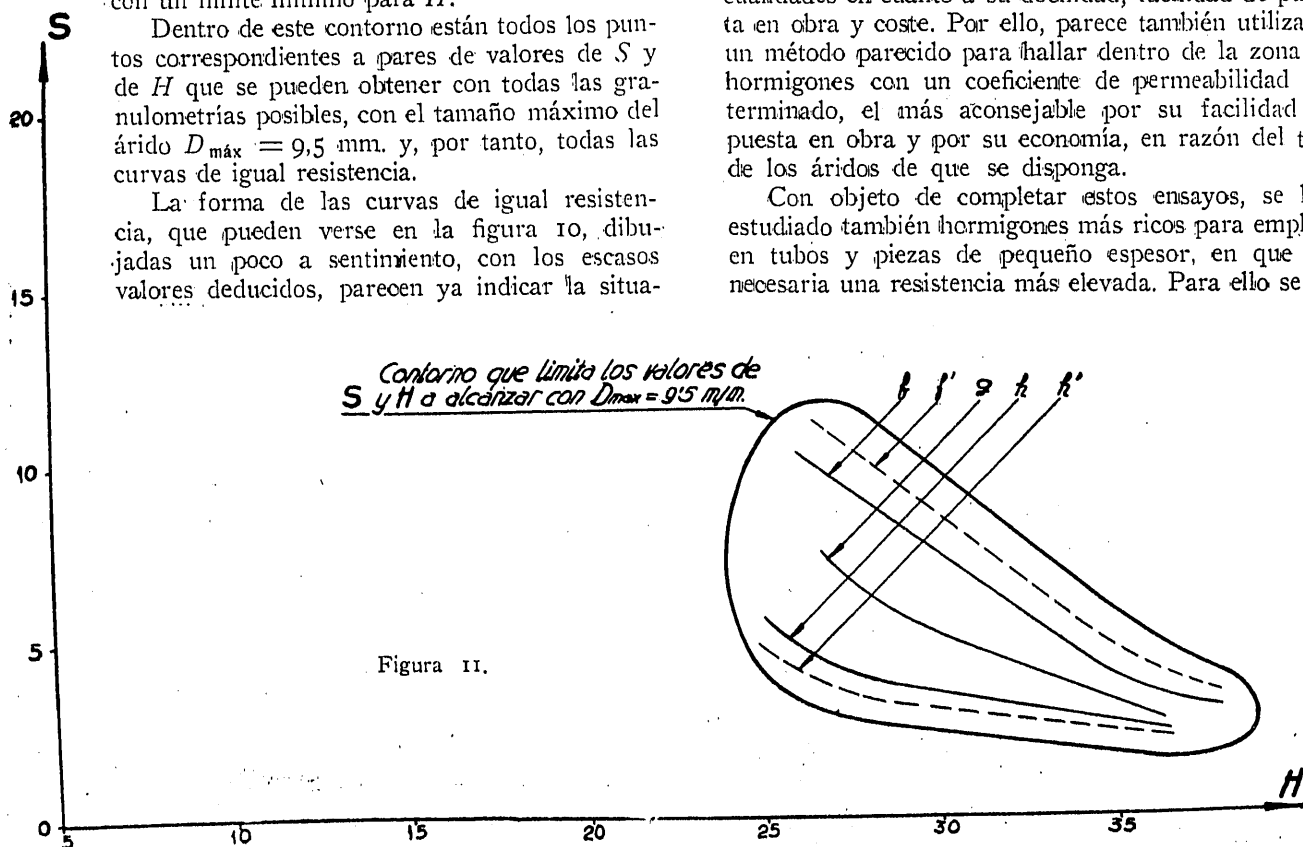
La forma de las curvas de igual resistencia, que pueden verse en la figura 10, dibujadas un poco a sentimiento, con los escasos valores deducidos, parecen ya indicar la situa-

ción de la zona de resistencias máximas. Como los caudales van disminuyendo en cambio con H , puesto que S no tiene apenas influencia en ellos, se deduce de esto que, enfocando la granulometría en el sentido de alcanzar la máxima resistencia, no conseguiremos el hormigón óptimo bajo el aspecto de la impermeabilidad.

Se deduce también claramente de todo el proceso anteriormente explicado, que el hormigón óptimo bajo el punto de vista de la resistencia se obtendría con una granulometría que dé un mínimo % de huecos unido a un mínimo valor de la superficie del árido.

Parece posible extrapolar el método seguido con medios más amplios para encontrar la granulometría que nos dé, para cada valor de $D_{\max}$, la máxima resistencia. En cuanto a la permeabilidad, y según se desprende de los ensayos de M. Mary, pueden lograrse hormigones semejantes con granulometrías totalmente distintas, aunque éstos sean de muy distintas cualidades en cuanto a su docilidad, facilidad de puesta en obra y coste. Por ello, parece también utilizable un método parecido para hallar dentro de la zona de hormigones con un coeficiente de permeabilidad determinado, el más aconsejable por su facilidad de puesta en obra y por su economía, en razón del tipo de los áridos de que se disponga.

Con objeto de completar estos ensayos, se han estudiado también hormigones más ricos para emplear en tubos y piezas de pequeño espesor, en que sea necesaria una resistencia más elevada. Para ello se es-



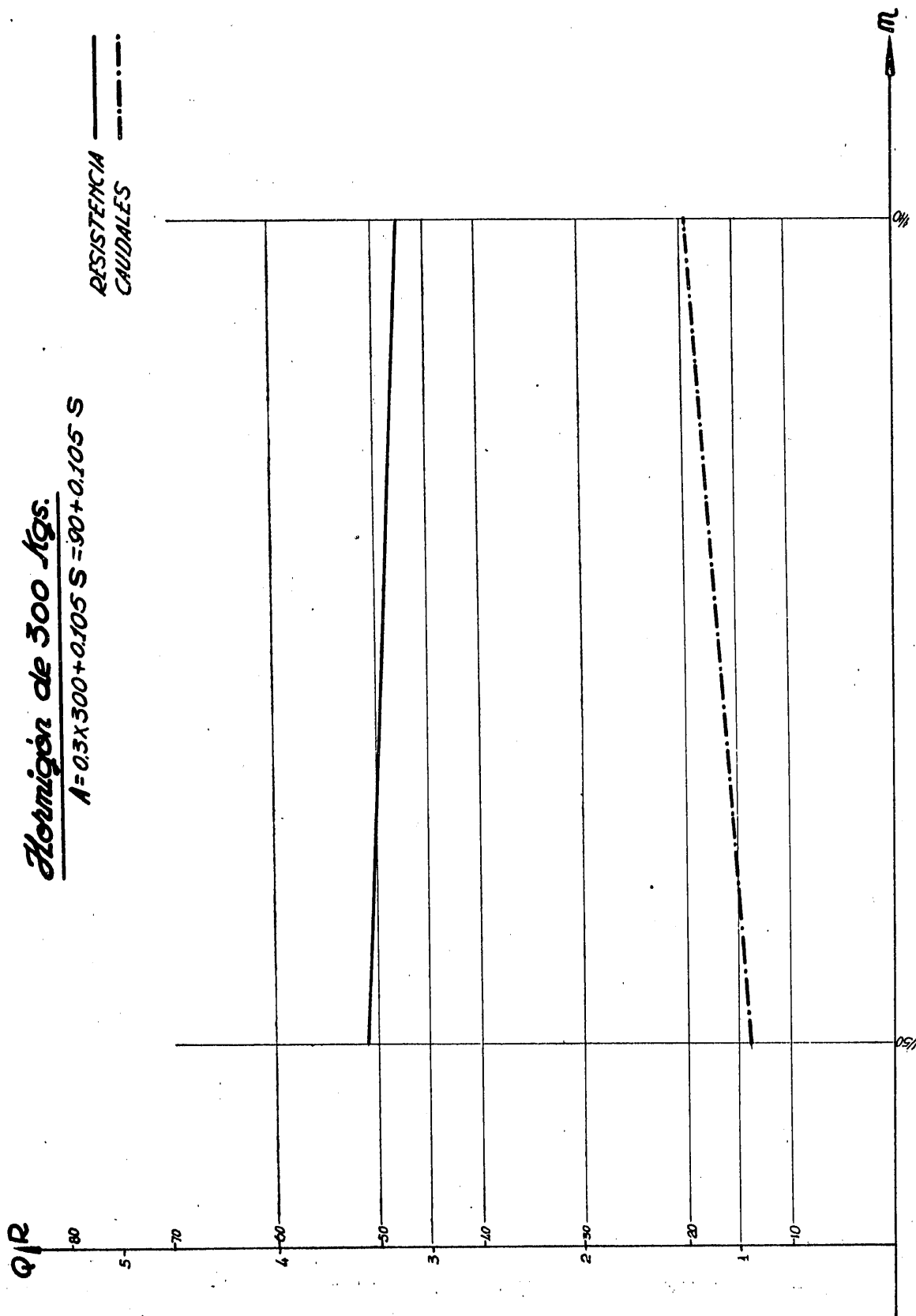


Figura 12.

tudiaron las granulometrías correspondientes a las curvas $m = \frac{1}{10}$ y $m = \frac{1}{50}$, de la familia h , con dosificación de hormigón de 300 Kg.; el agua se dosificó con el valor de K correspondiente a esta familia, es decir, con $K = 0,052$.

En la figura 12 se indican los resultados.

Quedan únicamente por estudiar la influencia del curado y de la edad en la resistencia y la permeabilidad, para lo cual tenemos en curso diversos ensayos.

Con el fin de facilitar la aplicación de estos ensayos, damos a continuación los valores de α calculados para las curvas de cada familia que se han ensayado.

Dosificación discontinua.

Únicamente a título comparativo se han hecho dos series de ensayos con este tipo de dosificación.

El primero, con arena de tamaños $4,7 \text{ mm.} < d < 0,59 \text{ mm.}$ y grava comprendida entre $30 \text{ mm.} < D < 10 \text{ mm.}$, y el segundo, con la misma clase de arena y grava comprendida entre $50 \text{ mm.} < D < 10 \text{ milímetros.}$

Variando la relación $\gamma = \frac{\text{arena}}{\text{grava}}$ para ambas series de ensayos entre los valores 0,1 y 0,7 y con dosificación constante de cemento de 200 Kg./m.³, se determinaron los caudales filtrantes a la presión de 0,2 kilogramos/cm.².

Para cada uno de los valores de γ se halló el módulo de finura correspondiente.

Con los valores de los caudales y de los nódulos de finura obtenidos se han dibujado las leyes que ligan M_g y Q resultantes (fig. 13), en la cual se ve que se obtienen valores semejantes a los obtenidos con dosificación conti-

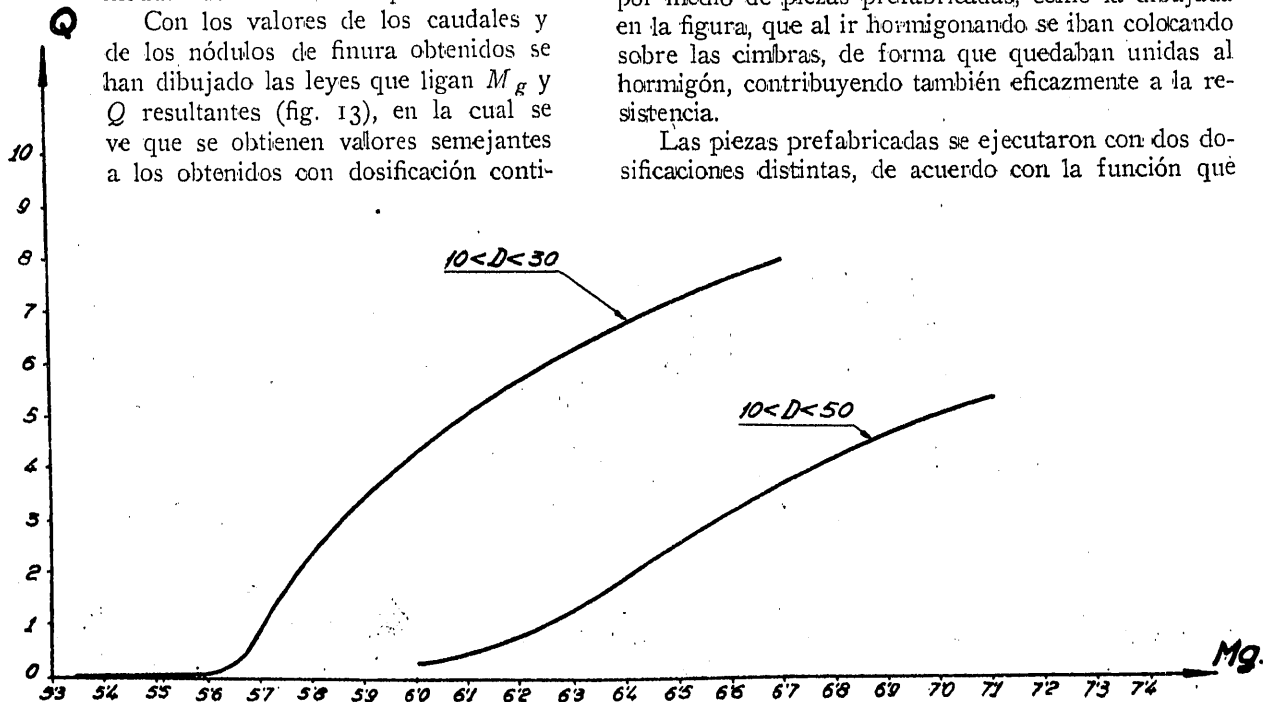


Figura 13.

nua, teniendo en cuenta que las probetas que se usaron en estos ensayos tenían el mismo espesor que las empleadas en los ensayos anteriores, pero un área mayor, ya que se confeccionaron sin la corona exterior de mortero.

Teniendo la dosificación continua sobre ésta la ventaja, debido a su misma naturaleza, de la transición lenta de las cualidades resultantes, al variar la granulometría, permitiendo mejor su estudio, no se llevaron adelante estos ensayos.

Aplicaciones.

Entre las varias aplicaciones de este tipo de hormigones, vamos a indicar únicamente algunas a título de ejemplo de aplicación práctica de estos ensayos.

Veamos en primer lugar uno, ya ejecutado con las dosificaciones estudiadas.

En una obra delicada, en la que ha actuado como contratista, con su habitual competencia, nuestro querido compañero J. Juan-Aracil, se deseaba conseguir una impermeabilización absoluta con una bóveda como la indicada en la figura 14.

Para ello se pensó en encomendar a la parte interior de la misma, en contacto con el terreno, la función resistente, y a la parte exterior, el intradós, la función de drenaje e impermeabilización.

El agua que eventualmente pudiera filtrar el hormigón, es recogida después en los conductos a y evacuada por los mismos. Estos conductos se ejecutaron por medio de piezas prefabricadas, como la dibujada en la figura, que al ir hormigonando se iban colocando sobre las cimbras, de forma que quedaban unidas al hormigón, contribuyendo también eficazmente a la resistencia.

Las piezas prefabricadas se ejecutaron con dos dosificaciones distintas, de acuerdo con la función que

CUADRO VI

Familia	m	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7
<i>a</i>	1/10	54,57	23,88	9,50	5,11	3,18	2,18	1,58
	1/20	59,58	26,93	13,42	8,04	5,35	3,82	2,86
	1/40	27,05	26,03	16,23	11,10	8,06	6,12	4,81
	1/80	19,86	22,83	17,21	13,37	10,70	8,74	7,29
	1/190	14,29	19,28	16,76	14,70	13,01	11,58	10,38
<i>b</i>	1/30	36,22	27,08	15,12	9,47	6,49	4,72	"
	1/50	28,22	27,17	17,26	11,93	8,74	6,68	"
	1/100	20,77	24,52	18,62	14,62	11,77	9,70	"
	1/200	16,43	21,87	18,74	16,23	14,20	12,53	"
	1/400	14,06	20,03	18,43	17,03	15,78	14,67	"
	0	11,59	17,62	17,68	17,68	17,68	17,69	"
	— 1/450	9,25	15,10	16,42	17,93	19,67	21,63	"
	— 1/250	7,29	12,60	14,79	17,62	21,33	26,37	"
<i>c</i>	1/30	"	51,99	22,29	12,39	7,88	5,45	"
	1/50	"	42,86	23,81	15,75	10,49	7,69	"
	1/100	"	33,34	23,81	17,85	13,89	11,11	"
	1/200	"	27,28	22,72	19,24	16,48	14,28	"
	0	"	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	"
	— 1/450	"	16,29	17,87	19,70	21,83	24,31	"
<i>d</i>	1/10	"	78,58	13,09	5,39	2,94	"	"
	1/20	"	66,67	19,05	9,02	5,26	"	"
	1/40	"	53,85	23,93	13,53	8,69	"	"
	1/100	"	40,00	26,67	19,05	14,28	"	"
	1/200	"	33,34	26,66	21,82	18,18	"	"
	0	"	25,00	25,00	25,00	25,00	"	"
	— 1/450	"	20,60	23,16	26,25	29,99	"	"
<i>e</i>	1/20	"	75,00	17,31	7,69	"	"	"
	1/30	"	68,42	21,24	10,34	"	"	"
	1/50	"	60,00	25,72	14,28	"	"	"
	1/100	"	50,00	30,00	20,00	"	"	"
	1/200	"	42,86	32,14	25,00	"	"	"
	0	"	33,34	33,33	33,33	"	"	"
	— 1/450	"	28,01	32,87	39,12	"	"	"
	— 1/200	"	20,00	30,00	50,00	"	"	"
<i>f</i>	1/10	"	"	78,58	13,09	5,39	2,94	"
	1/20	"	"	66,67	19,05	9,02	5,26	"
	1/30	"	"	59,09	22,15	11,62	7,14	"
	1/50	"	"	50,00	25,00	15,00	10,00	"
	1/100	"	"	40,00	26,67	19,05	14,28	"
	1/200	"	"	33,34	26,66	21,82	18,18	"
	0	"	"	25,00	25,00	25,00	25,00	"
<i>g</i>	1/10	"	"	84,62	11,14	4,34	"	"
	1/20	"	"	75,00	17,31	7,69	"	"
	1/30	"	"	68,42	21,24	10,34	"	"
	1/50	"	"	60,00	25,72	14,28	"	"
	1/100	"	"	50,00	30,00	20,00	"	"
	1/200	"	"	42,86	32,14	25,00	"	"
	0	"	"	33,34	33,33	33,33	"	"
	— 1/450	"	"	28,01	32,86	39,13	"	"
<i>h</i>	1/10	"	"	91,67	8,33	"	"	"
	1/20	"	"	85,72	14,28	"	"	"
	1/30	"	"	81,25	18,75	"	"	"
	1/50	"	"	75,00	25,00	"	"	"
	1/100	"	"	66,67	33,33	"	"	"
	1/200	"	"	60,00	40,00	"	"	"
	0	"	"	50,00	50,00	"	"	"
	— 1/450	"	"	43,76	56,24	"	"	"
	— 1/200	"	"	33,34	66,66	"	"	"
	— 1/150	"	"	25,04	74,96	"	"	"

Tenemos así, finalmente, las cantidades de áridos siguientes:

$$V_3 = \frac{P_3}{\Delta_3} = \frac{1438,07}{1,38} = 1042,07 \text{ litros;} \quad [20]$$

$$V_4 = \frac{P_4}{\Delta_4} = \frac{130,68}{1,34} = 97,52 \text{ litros.}$$

La cantidad de agua la obtenemos de la fórmula [4]:

$$A = 0,3 C + K \cdot S.$$

Para ejecutarla sólo hizo falta disponer de tres cribas de lados de 9,5 mm., 4,75 mm. y 2,37 mm., respectivamente.

En este caso, y con el fin de desmoldar rápidamente y aumentar la velocidad de producción de las piezas, sacando un mayor rendimiento a los moldes contruidos al efecto, se bajó algo más la cantidad de agua.

Otro problema de dosificación semejante se planteó en la ejecución de los drenes de la presa que construimos con Ferrocarriles y Construcciones A B C

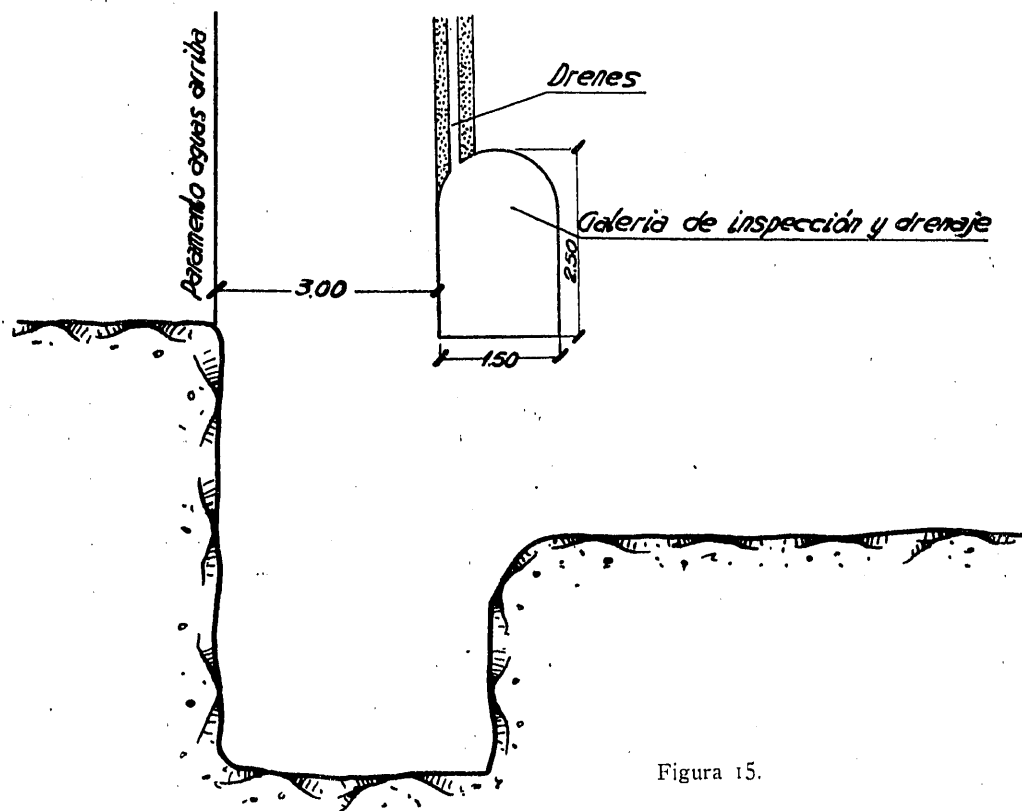


Figura 15.

En nuestro caso, $C = 300$ Kg. El valor de S para $0,008 \text{ m}^3$ de hormigón lo obtenemos del Cuadro III y es $S = 4,66$; luego por m^3 será: $\frac{4,66}{0,008} = 557,5$.

La constante K correspondiente a la familia h , vemos en el Cuadro IV que vale $0,052$, y sustituyendo valores, tenemos el agua en litros:

$$A = 0,3 \times 300 + 0,052 \times 557,5 = 120,291.$$

La dosificación a emplear será, resumiendo:

300 Kg. de cemento.
120 l. de agua.
1 042,07 l. de árido comprendido entre 9,5 y 4,7 mm. } [21]
97,52 l. de árido comprendido entre 4,75 y 2,38 "

(fig. 15), que decidimos ejecutar con este tipo de hormigón.

Al principio se ejecutaron *in situ* con el tipo de dosificación que vamos a explicar, levantándoles simultáneamente con el hormigón circundante y, posteriormente, por los inconvenientes que este método tenía, se ejecutaron con piezas prefabricadas, y se disminuyó entonces el tamaño máximo del árido a emplear.

Con la primera dosificación, y como los trommeles de dosificación instalados suministraban gravilla de tamaño comprendido entre 30 mm. y 10 mm., se decidió, por economía, aprovechar este árido, adoptándose $D_{\text{máx}} = 30 \text{ mm.}$

Como en este caso es conveniente un hormigón con alto peso específico y los hormigones obtenidos con este valor de $D_{\text{máx}}$ lo tienen, no había ningún inconveniente en ello.

Teniendo en cuenta que la arena a emplear era de río y que contenía considerable proporción de arcilla, y que la supresión de los elementos comprendidos entre 0,59 y 0,30 mm. es sumamente laboriosa, se ejecutó la dosificación con $D_{\text{máx}} = 30$ mm. y $d_{\text{mín}} = 0,59$ mm.

Esto se ve bien claro en este ejemplo: Se eligió $D_{\text{máx}} = 19,05$ mm. y $d_{\text{mín}} = 0,59$ mm.; $m = \frac{1}{100}$.

Vamos a hallar como anteriormente la dosificación por metro cúbico. Para este valor de m del Cuadro VI sacamos los siguientes valores de α :

$$\alpha_2 = 33,34; \alpha_3 = 23,81; \alpha_4 = 17,85;$$

$$\alpha_5 = 13,89; \alpha_6 = 11,11;$$

que corresponden a la curva de composición granulométrica dibujada en la figura 16.

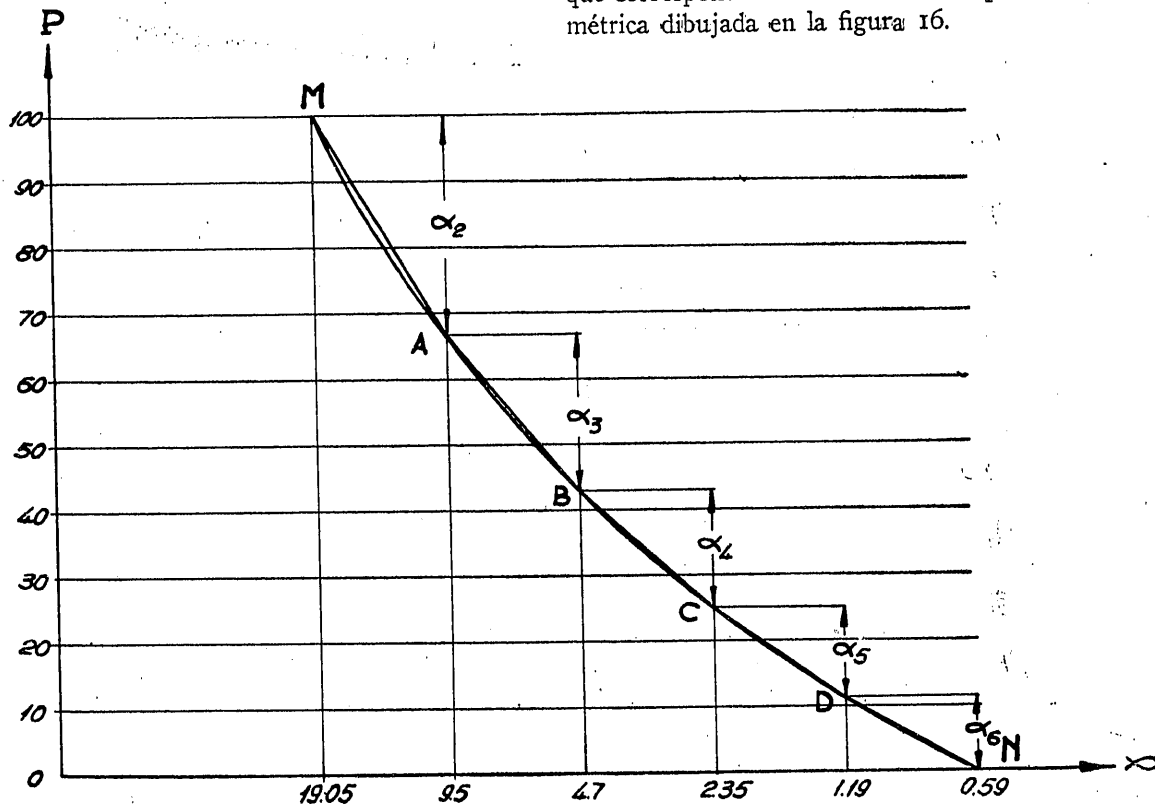


Figura 16.

Como para $m = \frac{1}{100}$ se obtiene una resistencia muy aceptable, se eligió este valor para m .

Vamos a describir finalmente la dosificación usada actualmente en las piezas prefabricadas que constituyen los drenes.

En obra, y con el fin de no encarecer excesivamente la mano de obra de este tipo de hormigones, y cuando hay más de dos o tres tamaños de áridos a emplear no puede pretenderse el dosificar exactamente las cantidades de áridos de cada uno de ellos, con el fin de hacer pasar la curva granulométrica resultante por un gran número de puntos de la curva que queremos conseguir.

Si queremos aproximarnos grandemente a la curva dibujada, podemos obtener una curva que pase por los puntos M, A, B, C, D y N, procediendo como en el ejemplo anterior.

Para ello, de la figura 4.^a, y para $m = \frac{1}{100}$, deducimos el peso de los áridos para 0,008 m.³ de hormigón, que es $P = 14,10$ Kg.; luego por m.³ necesitaremos un peso total:

$$P = \frac{14,10}{0,008} = 1762,5 \text{ Kg.}$$

Los pesos y los volúmenes de áridos correspondientes a cada tamaño serán:

$$p_2 = \frac{\alpha_2 \times P}{100} = \frac{33,34 \times 1762,50}{100} = 587,62;$$

$$p_3 = \frac{\alpha_3 \times P}{100} = \frac{23,81 \times 1762,50}{100} = 419,65;$$

$$p_4 = \frac{\alpha_4 \times P}{100} = \frac{17,85 \times 1762,50}{100} = 314,61;$$

$$p_5 = \frac{\alpha_5 \times P}{100} = \frac{13,89 \times 1762,50}{100} = 244,81;$$

$$p_6 = \frac{\alpha_6 \times P}{100} = \frac{11,11 \times 1762,50}{100} = 195,81;$$

$$V_2 = \frac{p_2}{\Delta_2} = \frac{587,62}{1,35} = 435,27 \text{ litros};$$

$$V_3 = \frac{p_3}{\Delta_3} = \frac{419,65}{1,38} = 304,09 \text{ "}$$

$$V_4 = \frac{p_4}{\Delta_4} = \frac{314,61}{1,34} = 234,78 \text{ "}$$

$$V_5 = \frac{p_5}{\Delta_5} = \frac{244,81}{1,37} = 178,69 \text{ "}$$

$$V_6 = \frac{p_6}{\Delta_6} = \frac{195,81}{1,28} = 152,97 \text{ "}$$

Mezclando estos volúmenes con 200 Kg. de cemento y el agua deducida, estaría resuelto el problema.

En este caso, para dosificar el agua tenemos $K = 0,034$ y $S = 11,21$ valores, sacado de los Cua-

dros IV y III, respectivamente. El agua necesaria será:

$$A = 0,3 \times 200 + 0,034 \times \frac{11,21}{0,008} = 107,641.$$

Pero el obtener los volúmenes [22] exige una mano de obra cara. Por ello nos conformamos con hacer pasar la curva por los puntos M , A , B y N . Para ello se han dispuesto cribas de lado 19,05 mm., 9,5 mm., 4,7 mm. y 0,59 mm. La arena del río que está comprendida entre 4,7 y 0,59 mm. tiene una densidad aparente media de $\Delta = 1,33$.

Por tanto, como $p_4 + p_5 + p_6 = 755,23$ Kg., y el volumen de arena de río entre 4,7 y 0,59 mm. equivalente a este peso es:

$$[22] \quad \frac{P_4 + P_5 + P_6}{\Delta} = \frac{755,23}{1,33} = 567,1,$$

la dosificación aceptada ha sido:

435,27 l. de árido entre 19 y 9,5 mm.

304,09 l. de árido entre 9,5 y 4,7 mm.

567,00 l. de arena de río entre 4,7 y 0,59 mm.

200 Kg. de cemento.

107 l. de agua.

Aunque también hemos usado estos ensayos con otras dosificaciones en diversas obras, suponemos suficientemente aclarado con estos ejemplos la forma de su empleo.

Creemos son también aplicables estos ensayos con áridos de distinta naturaleza o procedentes de trituración, dado el grado de aproximación con que inevitablemente ha de trabajarse en las obras, y por ello los hemos dado a conocer.