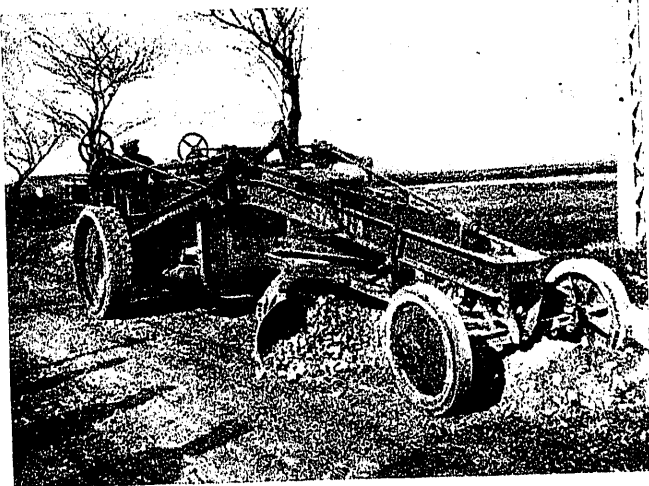


ladora hace esta labor, como puede verse en la fotografía.

Esta da idea completa de la máquina, cuyas características son:

Superficie de base.....	5	m
Distancia del eje delantero al centro del soporte giratorio de la cuchilla.....	2,20	m
Largo total con dispositivo de prolongación para un barril de aceite.....	6,80	m
Ancho total (sobre la cuchilla).....	2,44	m
Alto total.....	2	m
Ancho entre los bordes exteriores de las ruedas traseras.....	1,72	m
Peso total aproximado.....	6 000	kg
Peso sobre las ruedas delanteras.....	1 525	kg
Peso sobre las ruedas traseras.....	4 475	kg
Diámetro máximo de las ruedas traseras..	1 200	mm
Diámetro máximo de las ruedas delanteras.....	710	mm
Diámetro y ancho de la polea (1).....	450 × 210	mm
Revoluciones de la polea por minuto.....	625	
Potencia efectiva normal.....	30	CV
Revoluciones del motor por minuto.....	625	
Consumo del combustible por CV ef-hora.	230	gr

Entendemos que, por quien corresponda, deben estudiarse con gran atención estos tipos de máquinas



Escarificadora aplanadora con motor de aceite pesado.

Tiene un inconveniente: se necesita un mecánico vigoroso, porque resulta esta máquina muy fuerte para conducirla, y, como consecuencia, no puede señalarse un jornal menor de quince pesetas por jornada de ocho horas.

(1) Puede aprovecharse como motor para accionar machacadora u hormigonera.

y abrir un concurso para dotar a las Jefaturas de este material, exigiendo a las mismas su empleo en aquellas carreteras cuya riqueza en grava es susceptible de aplicación, evitando los proyectos de acopios y reparación, que en muchos casos puede sustituir el uso de este tipo de máquina.

José MARIA SAINZ

Ingeniero jefe de Obras públicas de Palencia

## Dosificación racional de los hormigones

Nos proponemos en este artículo dar una idea general de las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Alumnos de la Escuela de Caminos, basadas en las teorías de Mr. Duff A. Abrams, del Lewis Institute de Chicago.

Antes de entrar en materia, es preciso sentar una serie de ideas preliminares.

**Módulo de finura.**—Se llama módulo de finura de la arena y de grava la suma de los residuos que cada una deja en los distintos tamices, dividida por 100. Los tamices tipo para esta determinación son los de 100, 50, 30, 16, 8 y 4 mallas por pulgada cuadrada, y los de 3/8, 3/4 y 1 1/2 pulgadas de lado.

Se llama tamaño máximo del árido al tamiz siguiente en la serie al que retiene el 15 por 100. Para esta determinación se utilizan, además de los tamices antes mencionados, los de 1, 2 y 3 pulgadas de lado.

Si llamamos  $M$  al módulo de finura del árido mezclado,  $M_g$  al módulo de finura de la grava,  $M_a$  al módulo de finura de la arena y  $r$  a la relación de volúmenes de arena, y grava más arena, tendremos:

$$M = r \times M_a + (1 - r)M_g$$

y de aquí

$$r = \frac{M_g - M}{M_g - M_a}$$

**Aplastamiento.**—El aplastamiento no es más que una prueba de consistencia, y ésta viene obligada, o

por la clase de obra a que se haya de dedicar el hormigón, o por la economía en la mano de obra del apisonado, relacionándose esta consistencia con la resistencia del aglomerante.

La apreciación de la consistencia se ha fijado, diciendo que será seca, plástica, jugosa y flúida; mas para definirla de un modo comparable de unos a otros experimentos, es necesario fijar un módulo, que puede consistir en llenar de hormigón un molde tronco-cónico de 10 cm de base inferior, 20 cm la superior y 30 cm de altura, vaciarlo y ver el número de centímetros que se aplasta, comparándolo con su altura primitiva.

**Relaciones entre los componentes.**—Se fijarán en volumen las relaciones, llamando «relación práctica» la de los materiales, tales como se miden en el tajo, incluso su grado de humedad, que ya veremos cómo se tiene en cuenta; relación «nominal» a la que corresponde al suponerlos completamente secos, y relación «real» a la de cemento y árido mezclados, que es diferente de la anterior, porque es menor el volumen de arena y grava mezcladas que la suma de los volúmenes correspondientes.

### Principios fundamentales

1.º Dada una grava y una arena habrá una relación entre ellas, según la cual el volumen de huecos será mínimo, o lo que es lo mismo: para un módulo de finura de arena y otro de grava hay uno para

la mezcla, que es el más conveniente, dependiendo este módulo del tamaño máximo del árido.

2.º La resistencia de un hormigón viene dada, a igualdad de las demás circunstancias, por la relación agua-cemento, o sea, que si para un árido cuyo módulo de finura óptimo ya hemos determinado, y, por tanto, ya está fijada la relación entre arena y grava dejamos fija la cantidad de cemento y variamos la de agua, o sea la relación agua-cemento, la resistencia varía, según una ley representada en la figura 1.ª. Si dejamos fijas las relaciones arena-grava

de árido-cemento, el tamaño máximo del árido y el módulo de finura más conveniente, cuando los hormigones están hechos en obra.

Estos cuadros son diferentes según el aplastamiento y están obtenidos del siguiente modo: para un árido, dado por su tamaño máximo, tenemos fijado el módulo de finura más conveniente, y, por tanto, queda ya determinada la relación arena-grava. Una vez fijada la resistencia, queda también la relación agua-cemento; pero si vamos haciendo conos con distintas relaciones: árido-cemento, la mayor relación que nos dé un aplastamiento determinado es la más conveniente, y la que consignamos en el cuadro.

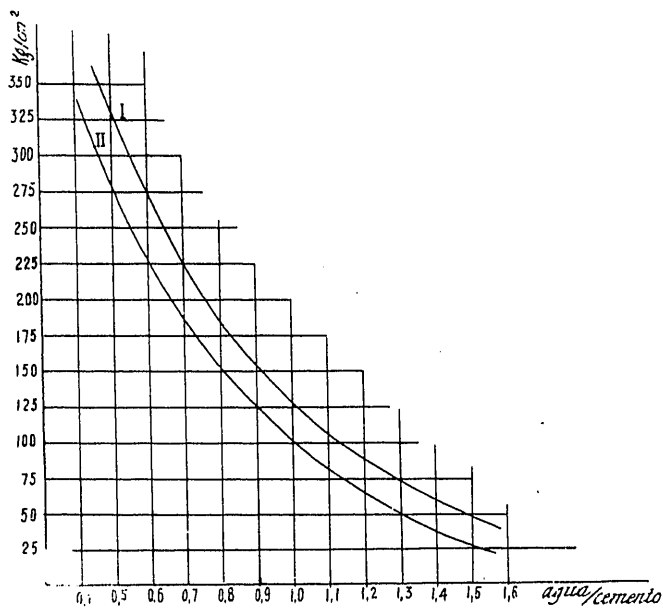


Fig. 1.ª

y agua-cemento y variamos la cantidad de pasta de cemento, la resistencia permanece constante.

3.º En lo anteriormente dicho no hemos tenido en cuenta la consistencia; si ahora la obligamos, ocurrirá: que por el módulo de finura más conveniente para ese árido tenemos fijada la relación arena-grava, y que por la resistencia que queremos que tenga el hormigón nos viene fijada la relación agua-cemento, y, como sólo queda por fijar la relación árido-cemento, ésta ha de ser la que venga obligada por la consistencia.

### Experimentos

Los realizados en nuestro Laboratorio han sido los siguientes: Fijando el árido y el cemento y haciendo variar el agua, obtenemos las curvas I y II de la figura 1.ª, en la cual las abscisas son las relaciones agua-cemento, y las ordenadas kilogramos por centímetro cuadrado a los veintiocho días. La curva I es de las resistencias que se obtienen fabricando el hormigón en el Laboratorio, y la II las que se obtienen en obra, pues nunca se puede fabricar el hormigón con tanto esmero, habiendo una diferencia aproximada de unos 35 kg/cm<sup>2</sup>.

Las curvas que se obtienen para distintas clases de cemento, siendo éstos los buenos cementos portland actuales, varía poquísimo, pero en todo caso basta determinar un punto de la curva, porque son semejantes.

Luego, si queremos un hormigón con una resistencia determinada, la curva correspondiente nos da la relación agua-cemento.

Los cuadros A, B, C, D dan las relaciones que existen entre la consistencia, la resistencia, la rela-

### Discusión

Vamos a hacer la discusión de los cuadros A, B, C, D.

En el A, correspondiente a un aplastamiento de 1 a 3 cm, vemos que para cada tamaño máximo de árido el módulo de finura varía muy poco con la resistencia; en realidad debería ser constante, pero al aumentar la resistencia disminuye la relación agua-cemento, y para que la consistencia permanezca constante es preciso aumentar la cantidad de pasta de cemento, y al haber más cemento puede haber algo menos de arena; como por la fórmula [1], al aumentar el módulo de finura disminuye la cantidad de arena, vemos que por conservarse la consistencia, al aumentar la resistencia puede aumentar algo el módulo de finura.

Vemos también, en el mismo cuadro, que para un tamaño máximo dado, al aumentar la resistencia disminuye la relación árido-cemento; esto es debido a lo anteriormente dicho de que al aumentar la resistencia disminuye la relación agua-cemento, y si queremos conservar la consistencia, es preciso aumentar la cantidad de pasta de cemento, o, lo que es lo mismo, disminuir la relación árido-cemento.

### Modo de proyectar un hormigón

Para proyectar un hormigón es preciso determinar las relaciones agua-cemento, arena-grava y árido-cemento.

*Material que se necesita.*—La serie de tamices de 100, 50, 30, 16, 8, 4 mallas por pulgada, y los de 3/8, 3/4, 1 y 2 pulgadas de lado.

Dos trozos de lona de 1 m<sup>2</sup> cada uno.

Un recipiente metálico de forma troncocónica de 10 cm de diámetro en la base superior, 20 cm en la inferior y 30 cm de altura.

Una regla graduada.

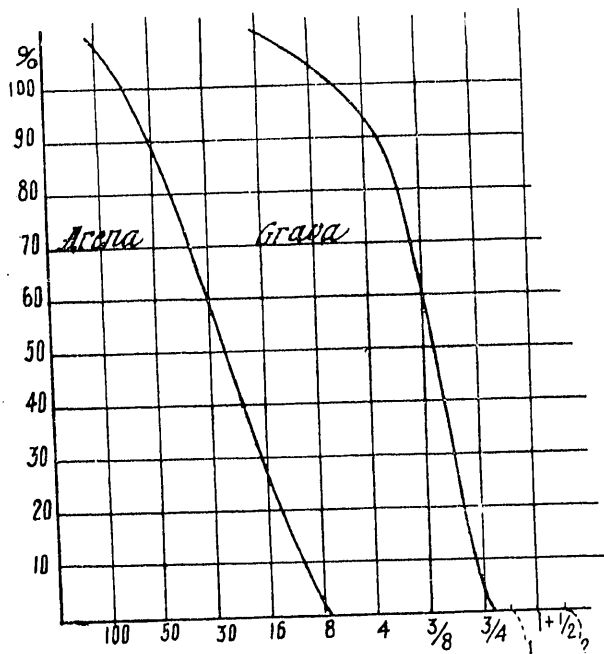
Un cilindro de vidrio de 25 cm de altura y 7,3 cm de diámetro.

Un cilindro de vidrio de 27,5 cm de altura y 13,6 centímetros de diámetro.

*La relación agua-cemento.*—En el proyecto de obra a que se haya de aplicar el hormigón, le habremos atribuido una carga práctica de resistencia en kg/cm<sup>2</sup> que, multiplicada por el coeficiente de seguridad, nos da la resistencia del hormigón a los veintiocho días, y si en la figura 1.ª entramos con esta resistencia, utilizando la curva I o la II (según que el hormigón se prepare en el Laboratorio o en obra), tendremos la relación agua-cemento.

*Módulo de finura.*—Se toman unos 5 kg de arena y 10 kg de grava, de las que se van a emplear en el hormigón. Se extiende la arena sobre la lona en un círculo de unos 8 cm de altura y se mezcla perfecta-

mente; se divide la muestra, excluyendo la parte dividida; se vuelve a mezclar y dividir nuevamente hasta obtener la cantidad de muestra suficiente para llenar el cilindro de vidrio de 25 cm de altura y 7,3 centímetros de diámetro. Después se escogen los tamices de 50, 16, 4, 3/8, 3/4 y 2, se tamiza a través de cada uno, por orden, sobre un pliego de papel, y lo retenido se va echando dentro del cilindro. Midiendo los centímetros que quedan vacíos de éste, y restando de 25, podemos formar un cuadro análogo al R, y llevar estos valores a un gráfico, obteniendo una curva análoga a la de la figura 2.<sup>a</sup>, y de esta

Fig. 2.<sup>a</sup>

curva se deducen los tantos por ciento de residuo de los tamices, que no habíamos encontrado directamente, y con ellos se forma un cuadro análogo al S. Se suman los residuos y se dividen por 100, y con ello tenemos el módulo de finura de la arena, y del mismo modo se procede para la grava. Mirando en las curvas cuál es el tamiz que sigue en la serie al que retiene el 15 por 100, tenemos el tamaño máximo del árido.

Con estos datos nos es preciso fijar el aplastamiento, que, como ya hemos dicho, viene obligado o por la clase de obra, o por la economía en la mano de obra. Y si en los cuadros A, B, C, D entramos en el correspondiente al aplastamiento que hayamos fijado, con la resistencia también fijada y con el tamaño máximo que hemos determinado, obtenemos el módulo de finura más conveniente para el árido  $M$  y la relación árido-cemento.

Estos cuadros están en correspondencia con la curva II de la figura 1.<sup>a</sup>, o sea para el hormigón fabricado en obra. Cuando se hace en el Laboratorio, no hay más diferencia que la de ser preciso entrar con la resistencia que queremos en la curva I, ver la que corresponde para la misma relación agua-cemento en la curva II, y esta resistencia es la que tendríamos en cuenta para entrar en los cuadros.

Con la  $M$  que nos dan los cuadros, y las  $M_a$  y  $M_g$ , determinadas directamente, entramos en la fórmula

$$r = \frac{M_g - M}{M_g - M_a}$$

de la que se obtiene la relación arena-grava. Los cuadros también nos dan la relación árido-cemento, o sea su dosificación «real».

Para concretar vamos a resolver un ejemplo, utilizando las curvas y cuadros antes mencionados.

Con la grava y arena a que se refiere el cuadro S tenemos unos módulos de finura  $M_a = 2,7$  y  $M_g = 6,4$ , y el tamaño máximo es 3/4. Supongamos que queremos un hormigón de 210 kg de resistencia: entraremos con esta resistencia en la figura 1.<sup>a</sup>, y como el hormigón se va a fabricar en obra, en la curva II, y en ella, para 210 kg/cm<sup>2</sup>, encontramos una relación agua-cemento de 0,65. Si queremos el hormigón para armar, deberá tener un aplastamiento de unos 15 cm, y en el cuadro C, para un aplastamiento de 15 cm, una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> y un tamaño máximo de 3/4. De este modo se encuentra un módulo de finura de 5,2 y una relación árido-cemento de 2,1. Por tanto, la dosificación «real» es 1 : 2,1. Ahora, para calcular la  $r$  sustituimos valores en la fórmula, y queda

$$r = \frac{6,4 - 5,2}{6,4 - 2,7} = 0,32$$

Si en el cilindro de 13,6 cm de diámetro medimos por separado 8 cm de arena y 17 cm de grava y los mezclamos, la mezcla mide 21 cm; luego dos volúmenes de grava y de arena que están en la relación 0,32 : 0,68 sufren, al mezclarlos, una disminución de volumen de 15 por 100, o sea que se reduce al 85 por 100; de modo que si la dosificación «real» era 1 : 2,1, tendremos que  $2,1 \times 1,2 \times 0,32 = 0,8$  es el volumen de arena que corresponde por unidad de volumen de cemento, y  $2,1 \times 1,2 - 0,8 = 1,7$  es el de grava; luego la dosificación nominal es 1 : 0,8 : 1,7 que corresponde a haber supuesto que los materiales estaban secos.

Si en lugar de estar el árido seco, como se ha supuesto, tiene humedad, es preciso tenerla en cuenta, por dos razones: primera, porque al estar el árido húmedo aumenta de volumen, y como éste se dosifica en volumen, ocurrirá que el hormigón tendrá menos del debido. Y segunda, porque todo el agua que tenga el árido es en exceso y disminuirá la resistencia del hormigón.

Para determinar la humedad de la arena se llena el recipiente de 25 cm con arena húmeda, se seca después esta arena y se vuelve a echar en el recipiente; si ahora la altura es de 22 cm, el aumento de volumen de la arena debido a la humedad es de

$$\frac{25 - 22}{25} = 0,12$$

luego hay una reducción de volumen del 12 por 100, y para tener 0,8 partes de arena necesitamos  $0,8 \times 1,12 = 0,9$ . Y si hacemos igual para la grava vemos que tiene una variación de volumen del 2 por 100; por tanto, la dosificación «práctica» es 1 : 0,9 : 1,7.

Lo único que nos queda por determinar es la cantidad de agua. Ya hemos dicho anteriormente cómo se determinaba la relación agua-cemento; pero de la cantidad de agua que así resulte hay que restar la que ya tiene el árido.

La cantidad de agua que tiene la arena es proporcional a la variación de volumen, y de tal modo que si la variación de volumen es del 15, 20, 25 y 30 por

100, en volumen, los tantos por ciento de agua son 2, 3, 4, y 5, respectivamente, y como la grava suele contener un 1 por 100, es fácil determinar la cantidad de agua que contiene el árido y deducir, por tanto, la que ha de añadirse.

Si el árido está completamente seco hay que tener en cuenta que absorbe el 1 por 100.

Desde luego se ve que en un cuarto de hora se determina con comodidad el módulo de finura y después conviene tantear distintos hormigones para ver cuál resulta más económico, cosa muy sencilla, pues cada tanteo puede llevar a lo sumo diez minutos.

**Modo de comprobar la fabricación**

Si la obra no es de mucha importancia, con comprobar el agua y el cemento es suficiente. La comprobación del agua se hace por un método elemental, que consiste en disponer un depósito con un tubo de vidrio al exterior que forme con él vasos comunicantes, y no hay más que graduar ese tubo para ver los volúmenes de agua que salen.

En cuanto al cemento, como se conoce el peso de cada saco y la densidad aparente del cemento, la dosificación es sencillísima.

Cuando la obra sea de suficiente importancia entonces también hay que comprobar el árido, y esto se hace por medio de los «batchers», que no son más que unas tolvas de medida.

Cuando la arena esté húmeda, entonces, para eliminar la variación de volumen que experimenta, se puede utilizar la propiedad de que el aumento de volumen es, cuando tiene un tanto por ciento de humedad, reducido, pero que el volumen es el mismo cuando la arena está sumergida. De modo que si el agua que hemos de añadir la dividimos en dos partes, una para sumergir la arena y el resto para añadirlo a la mezcla, dosificando la arena por medio del inundador, tendremos el problema resuelto.

Y por bien poco coste resolvemos los dos factores más importantes del hormigón, que son: *homogeneidad y economía.*

Luis SIERRA  
Alumno de la Escuela de Camino

**CUADRO R**

G R A V A		
TAMIZ	ALTURA RETENIDA	POR 100 RETENIDO
2.....	0.....	0
3/4.....	0,5.....	2
3/8.....	16,5.....	59
4.....	24,0.....	86
8.....	25,5.....	92
A R E N A		
4.....	0.....	0
16.....	6,5.....	25
50.....	22,8.....	89
100.....	25,0.....	97

**CUADRO S**

TAMIZ	ARENA	GRAVA
	POR 100 RETENIDO	POR 100 RETENIDO
100.....	98.....	100
50.....	89.....	100
30.....	60.....	100
16.....	25.....	100
8.....	0.....	92
4.....	0.....	86
3/8.....	0.....	59
3/4.....	0.....	2
1 y 1/2.....	0.....	0
	<u>272</u>	<u>639</u>
	$M_a = 2,7$	$M_g = 6,4$

**Cuadro A. — Aplastamiento de 1 a 3 cm.**

RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	TAMAÑO MÁXIMO 3/4		TAMAÑO MÁXIMO 1		TAMAÑO MÁXIMO 1 1/2		TAMAÑO MÁXIMO 2		TAMAÑO MÁXIMO 3	
	Módulo	árido cemento	Módulo	árido cemento	Módulo	árido cemento	Módulo	árido cemento	Módulo	árido cemento
100	4,8	6,7	5,2	7,2	5,5	7,8	5,9	8,5	6,3	9,4
130	4,9	5,5	5,2	5,9	5,6	6,4	6,0	7,0	6,4	7,7
165	4,9	4,5	5,3	4,9	5,7	5,3	6,1	5,8	6,5	6,3
200	5,0	3,8	5,4	4,1	5,8	4,4	6,2	4,8	6,5	5,2
235	5,1	3,0	5,5	3,2	5,9	3,6	6,2	4,0	6,6	4,2
270	5,2	2,5	5,6	2,7	6,0	3,0	6,3	3,2	6,7	3,4

**Cuadro B. — Aplastamiento de 7 a 10 cm.**

100	4,8	5,9	5,2	6,3	5,6	6,9	5,9	7,5	6,3	8,1
130	4,9	4,8	5,3	5,1	5,7	5,7	6,0	6,1	6,4	6,7
165	5,0	3,9	5,4	4,2	5,7	4,6	6,1	5,0	6,5	5,4
200	5,1	3,1	5,5	3,4	5,8	3,7	6,2	4,0	6,6	4,3
235	5,2	2,5	5,5	2,7	5,9	3,1	6,3	3,2	6,7	3,5
270	5,3	2,0	5,6	2,2	6,0	2,4	6,4	2,6	6,8	2,8

**Cuadro C. — Aplastamiento de 14 a 17 cm:**

100	4,9	4,8	5,3	5,2	5,7	5,8	6,0	6,2	6,4	6,7
130	5,0	3,8	5,4	4,0	5,8	4,5	6,1	4,8	6,5	5,2
165	5,1	3,0	5,5	3,2	5,9	3,6	6,2	3,9	6,6	4,2
200	5,2	2,3	5,6	2,6	6,0	2,8	6,3	3,0	6,7	3,2
235	5,3	1,7	5,7	2,0	6,1	2,2	6,4	2,3	6,8	2,4
270	5,4	1,2	5,8	1,4	6,2	1,5	6,5	1,6	6,9	1,8

**Cuadro D. — Aplastamiento de 20 a 25 cm:**

100	5,1	3,5	5,4	3,8	5,8	4,2	6,2	4,5	6,5	4,8
130	5,2	2,7	5,5	2,9	5,9	3,1	6,3	3,4	6,7	3,6
165	5,3	1,9	5,6	2,1	6,0	2,3	6,4	2,5	6,8	2,7
200	5,4	1,3	5,8	1,5	6,1	1,6	6,5	1,8	6,9	1,9
235	5,5	0,9	5,9	0,9	6,2	1,0	6,6	1,1	7,0	1,2
270	5,6	0,4	6,0	0,4	6,3	0,5	6,7	0,5	7,2	0,6