

695-5

SR (serie A)

## la porosidad de los hormigones y su impermeabilización por medio de resinas sintéticas

D. de MOLNAR D'ARKOS, Ing. Dipl. de Minas.

Resulta bien sabido que, para obtener un hormigón compacto, la mezcla no debe contener excesiva agua.

La hidratación del cemento y la humectación de los componentes deben ser perfectos, pero esto no se puede lograr con seguridad si el agua no está presente en exceso.

Un hormigón demasiado seco resulta difícilmente manejable, aunque se opere por medio de vibración; en este caso pueden formarse coqueiras, zonas que resultan peligrosas por la disminución de la resistencia.

La figura 1 (según los ensayos de Hendrickx) muestra las resistencias relativas en función de la cantidad de agua empleada, y partiendo de la resistencia óptima.

Un suplemento del +10% en función de la cantidad óptima de agua provoca una disminución de la resistencia del orden del 15 %, mientras una desviación del -10 % causará una reducción del 38 %. Por consiguiente, parece evidente que los hormigones llamados «secos» no sean recomendables.

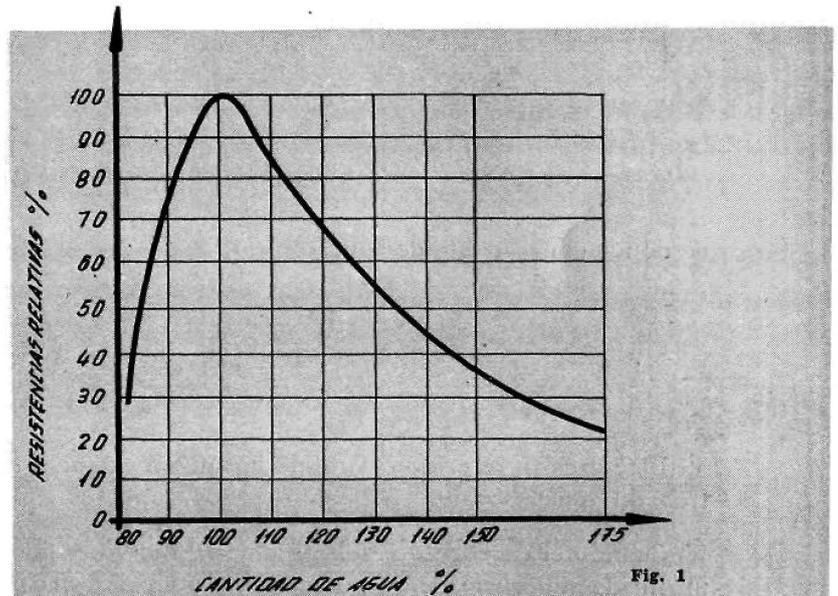


Fig. 1

En el caso del hormigón armado, la adherencia entre el acero y el cemento sólo puede lograrse en las condiciones óptimas cuando las masas son más bien flúidas.

Por otra parte, el agua en exceso no queda retenida en el hormigón.

Es sabido que un hormigón debe contener 40 % de agua, del cual el 15 % está ligado a la masa químicamente, y el otro 25 % físicamente. El sobrante escapa durante el fraguado, lo que resulta todavía favorecido por medio del calentamiento de la masa, debido a la reacción química que tiene lugar.

Es precisamente este sobrante de agua (encima del 40 %) lo que provoca los poros capilares y hace necesaria la impregnación del hormigón, para hacerlo impermeable.

5

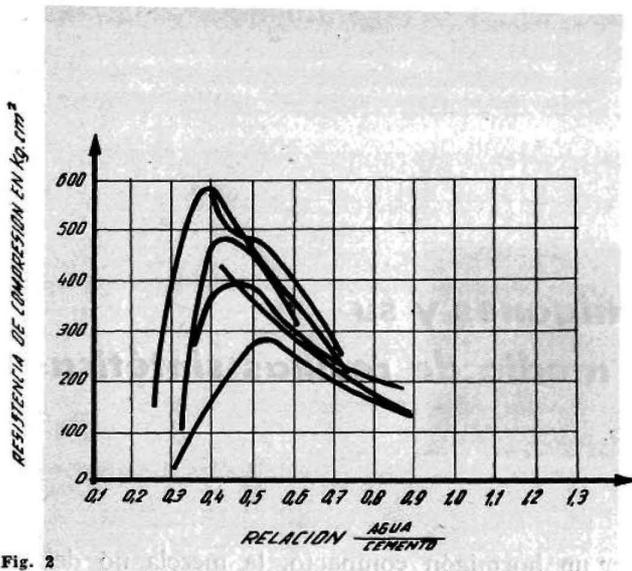


Fig. 2

Este excedente de agua, que sirve para el cálculo del volumen de poros capilares macroscópicos a impregnar, han sido estudiados por los Laboratorios Gyl del doctor Károly Ney, de Walchstadt (Alemania), en estrecha colaboración con los técnicos del cemento, según las siguientes fórmulas:

$$FAC = \frac{\text{agua en kg}}{\text{cemento en kg}}$$

siendo FAC el Factor de Agua y Cemento. Ejemplo para el cálculo:

Un hormigón de 350 kg para carreteras.

MATERIAL	Volumen absoluto en l	Densidad	kg
Cantidad total de agua ... ..	150	1,0	150
Cemento ... ..	118	3,1	350
Material adicional 0-30 mm $\phi$ ... ..	702	2,65	1.865
Resto de vacío, producido por la fabricación ... ..	35	—	—
Mezcla ... ..	1.000	—	2.365

$$FAC = \frac{\text{agua en kg}}{\text{cemento en kg}} = \frac{150}{350} = 0,43$$

de donde el excedente de agua resulta:

Valor de FAC calculado	0,43
Agua necesaria, ligada química y físicamente	0,40
Exceso	0,03

Este exceso, referido a 1 m<sup>3</sup> de hormigón = cemento en kg  $\times$  agua libre = 350  $\times$  0,03 = 10 litros de agua sobrante, formando poros capilares.

Cuando el excedente resulta ser de 10 l/m<sup>3</sup>, los poros capilares a impregnar, suponiendo un m<sup>2</sup> de superficie de evaporación y 4 mm de espesor en el hormigón, serán:

$$10 \text{ litros} \times 1 \times 0,004 = 0,040 \text{ de litro} = 40 \text{ cm}^3$$

Para impregnar una superficie de 1 m<sup>2</sup> de hormigón de 350 kg de cemento es preciso introducir en los poros, teóricamente, unos 40 cm<sup>3</sup> de resina sintética.

### Impregnación

La impregnación consiste en la introducción de resina sintética adecuada en los poros capilares del hormigón, de tal manera que los poros queden parcial o totalmente rellenos.

La profundidad de penetración depende, esencialmente, de la porosidad del hormigón y, por otra parte, de la viscosidad del impermeabilizante y puede oscilar de 0,1 a 20 milímetros.

Para la penetración en profundidad, la única dificultad consiste en los poros capilares de las paredes. Sobre las paredes de todo el sistema capilar suele depositarse una capa fina de polvo alcalino, procedente de la evaporación de agua del hormigón fresco. El polvo actúa como una capa de separación, así que el impermeabilizante debe tener una viscosidad tan baja y unas características «alcalófilas» (atrayentes a los álcalis) tales que pueda absorber dichos polvos.

Las resinas sintéticas líquidas «alcalófobas» (repelentes a los álcalis) no se pueden tener en consideración para la impermeabilización del hormigón en profundidad.

Lo mismo se puede decir de aquellas resinas sintéticas, que, penetrando en los poros, no tienen la capacidad de absorción suficiente para envolver los polvos finos, depositados en las paredes durante el proceso de solidificación.

Todas las características hasta ahora indicadas no resultan todavía suficientes para que una resina sintética sea adecuada para la conservación de hormigones.

Hay que tener presente, además, que el hormigón está en movimiento permanentemente por causa de las variaciones de temperatura, y que este efecto es tanto más fuerte cuanto más frecuentes resultan estas alteraciones.

Estos movimientos se producen solamente en el hormigón propiamente dicho, pero sus efectos de dilatación y contracción repercuten sobre todo el sistema capilar.

Para la impermeabilización resulta, pues, indispensable escoger una resina sintética que reúna además las siguientes condiciones:

- Sea capaz de adherirse a las paredes de una manera inseparable;
- que conserve su elasticidad;
- y pueda absorber los efectos de presión y de tensión que se producen en los poros.

Así, por ejemplo, una resina que tenga una resistencia a la compresión superior a 20 kg/cm<sup>2</sup>, en el momento de contraerse los poros produciría la rotura de sus paredes.

Por otra parte, una resina que tuviera una resistencia a la tracción superior a 5-6 kg/cm<sup>2</sup>, causaría su desprendimiento de las paredes en el momento de su dilatación.

No se puede conseguir, por tanto, una impermeabilización adecuada con resinas rígidas y duras.

La blandura del impermeabilizante es indispensable, ya que con un material duro la superficie tratada resultaría excesivamente lisa y deslizante, mientras que un material blando rellenaría solamente las cavidades conservando la rugosidad natural del hormigón.

Un buen impermeabilizante debe ser, además, completamente insoluble en agua y resistente a los agentes químicos y atmosféricos. Después de varios años de estudios y ensayos comparativos en diversos países europeos, se han obtenido resultados excelentes con las resinas sintéticas Sinmast (una combinación de las resinas Epoxy y Buton, con un endurecedor especial que solidifica en frío), que corresponde a todas las exigencias antes mencionadas.

Introducido en España en varias obras de importancia, se han obtenido resultados excelentes.

Entre las varias aplicaciones interesantes, diferentes a la conservación del hormigón, mencionamos los ensayos de conservación llevados a cabo sobre granito en El Escorial, donde se han conseguido la consolidación, impermeabilización y protección de partes afectadas de incalculable valor histórico.