

684-53

## Impregnación del hormigón por resinas acrílicas

F. DUTRUEL, Ingeniero E.T.P.

Bétons Industriels, n.º 43, 1973, pág. 36

El Jefe de la Sección de aplicaciones en el Centro de Estudios e Investigaciones del Hormigón CERIB, francés, el Ing. F. Dutruel ha publicado en la revista "Bétons Industriels", (número 43 de 1973) la primera parte de un extenso e interesante estudio sobre las técnicas más convenientes para conseguir una impregnación acrílica del hormigón capaz de proporcionar la defensa más eficaz y el incremento de resistencias posible. El interés de esta cuestión así como la magnífica exposición del Ing. Dutruel justifica la publicación de un amplio resumen que mueva a los interesados en estos trabajos a leer el original, que pueden solicitar del Servicio de información de nuestro Instituto o consultarlo en la biblioteca del mismo.

Comienza, el autor, por recordar que el hormigón requiere una cantidad de agua, en su elaboración, aproximadamente igual al 50 % del peso de conglomerante; casi la mitad de ella se reparte absorbida por los áridos y alojada en la red de poros y canalillos que siempre existen en la masa del hormigón. El aumento de superficie que provoca la evaporación del agua no combinada constituye el "talón de Aquiles" del hormigón, por depender muy estrechamente de la porosidad, la durabilidad del mismo. Con justicia, el Ing. Dutruel califica de elegante la solución que para estos problemas representa la impregnación con resinas acrílicas que rellenan los poros y que al endurecer incrementan, además, la resistencia mecánica bajo sus dos aspectos de tracción y compresión.

Describe asimismo el autor, el principio general de las técnicas de impregnación mediante el sencillo esquema siguiente de operaciones:

I. Desalojar el agua. II. Evacuar el aire que sustituye al agua en los poros. III. Introducir, en las cavidades vacías, una resina inicialmente líquida. IV. Endurecer, por polimerización, la resina colmatante.

La eliminación (secado) del agua se consigue calentando el hormigón endurecido (generalmente con algo menos de 28 días de edad) a temperaturas algo superiores a los 100°C. Advierte, con acierto, que la desecación no debe realizarse a edad tan temprana que pueda detener la hidratación del conglomerante que transcurre con lentitud, pero tampoco tan avanzada que dé lugar a que el carbónico del aire, combinado con el hidróxido cálcico formado en la hidratación, colmate o disminuya la superficie de los poros. La eliminación del agua puede considerarse terminada cuando el peso de las piezas se mantenga sensiblemente constante.

A continuación se desaloja el aire que ha sustituido al agua en los poros: en general se procede por bombeo de un recinto estanco que contiene las piezas de hormigón. Es conveniente alcanzar un vacío estable con presión de 1 a 10 mm (Torr); de esta manera es posible lograr la máxima penetración del monómero.

La incorporación del monómero líquido a la masa del hormigón se realiza por simple inmersión y se puede favorecer la penetración si se ejerce una presión moderada con un gas inerte. Para evitar la pérdida del monómero (casi siempre muy volátil) aconseja, el autor, como medio menos oneroso, la inmersión en agua caliente o colocación en un recinto con vapor de agua a saturación; así se favorece también la polimerización.

La polimerización del monómero alojado en los poros constituye el objetivo principal de estas operaciones. En este artículo se mencionan como tipos principales: la polimerización radical y la iónica. La polimerización radical tiene lugar cuando se procede rompiendo enlaces dobles y saturando los radicales obtenidos por la unión con otros entre sí. La polimerización iónica ocurre cuando se producen dipolos que se neutralizan uniéndose entre sí.

El proceso más utilizado y menos costoso es la polimerización radical, provocada y regulada por termocatálisis a temperaturas de unos 100°C en estufa. La polimerización se puede acelerar empleando monómeros "pre-polimerizados", es decir, que contienen hasta un 10 % (referido al total) de resina polimerizada. También se consigue una polimerización sin elevación de temperatura ni choque térmico cuando se expone el hormigón impregnado, a los rayos gamma.

La impregnación puede ser: superficial, que sólo se aplica para la protección frente a entornos perjudiciales; o impregnación de la totalidad del hormigón, que asegura una protección más eficaz y añade la ventaja de incrementar las resistencias mecánicas.

Las resinas aplicables deben, según Dutruel, poseer los siguientes caracteres indispensables:

1. Débil viscosidad, lo que permitirá una rápida penetración en la estructura microporosa del hormigón.
2. Una tensión superficial elevada, importante para la regulación de la atracción capilar y que facilita la penetración.
3. Una resistencia mecánica final, importante.
4. Buena compatibilidad con el hormigón.
5. Durabilidad notable.
6. Mínimo riesgo sanitario durante su manejo.
7. Fácil polimerización y elevado punto de ebullición.
8. Costo razonable.

La penetración del monómero líquido en las diferentes cavidades capilares del hormigón depende, principalmente, de la tensión superficial y de viscosidad. Y a fin de poder intervenir en la velocidad de penetración, y en consecuencia, en el resultado final de la impregnación, se actúa variando la cantidad de polímero contenido o disuelto en la masa de monómero aprovechando la solubilidad que en éste último tiene aquél; generalmente se trata de alcanzar una concentración del 5 % de polímero.

La tensión superficial y la viscosidad del monómero líquido varían en función de la temperatura, de la cantidad de polímero y de la presencia de otras resinas (en las figuras se expresan estas relaciones).

Advierte, también el autor, que los ensayos emprendidos por él comprenden las siguientes resinas: Metacrilato de metilo. Estireno. Acetato de vinilo. Acrilonitrilo y poliésteres.

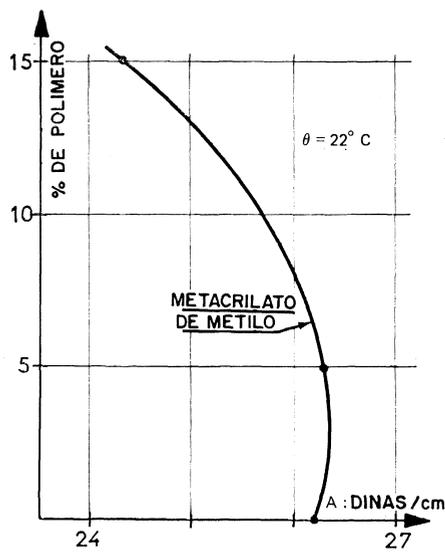


Fig. 1.—Variación de la tensión superficial en función del contenido en polímero.

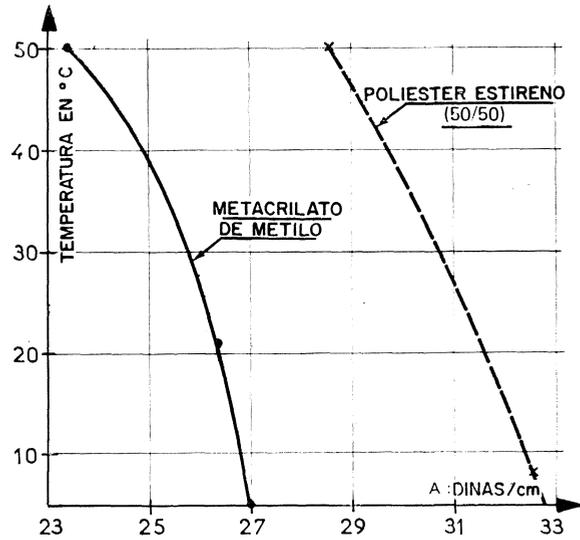


Fig. 2.—Variación de la tensión superficial en función de la temperatura en °C.

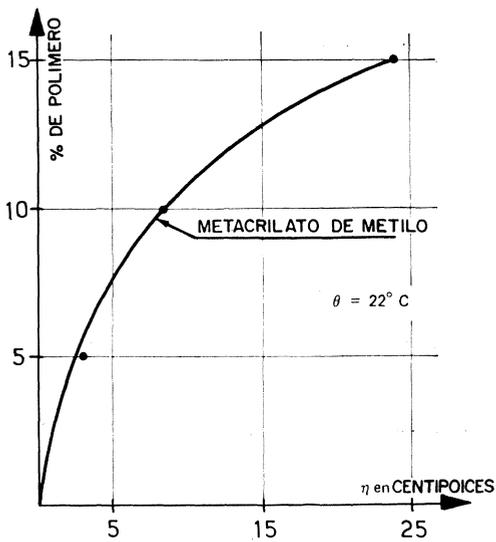


Fig. 3.—Variación de la viscosidad en función de la cantidad de polímero.

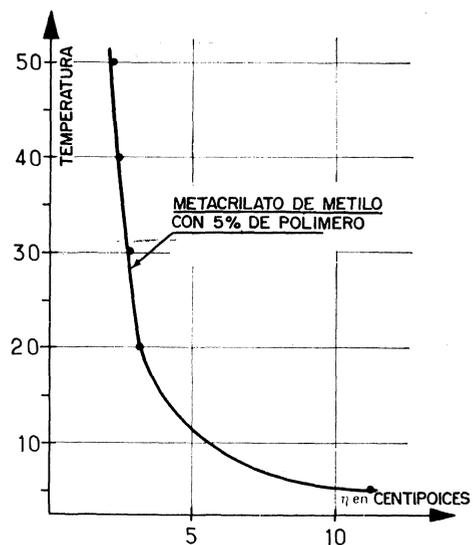


Fig. 4.—Variación de la viscosidad en función de la temperatura.

También indica que se pueden obtener un polímero o copolímeros según se realice la polimerización con una o con varias resinas. Toda resina contiene, además de un inhibidor que permite su almacenamiento, un catalizador (generalmente un peróxido) y cierta cantidad de polímero. Las proporciones de estas tres clases de sustancias condicionan la eficacia de la impregnación y su velocidad.

Es interesante la referencia que el autor inserta acerca de la toxicidad de las resinas que estudia:

*Metacrilato de metilo*: Sus vapores provocan una fuerte irritación de las mucosas y vías respiratorias; a fuertes dosis tiene efecto narcótico. Parece que los efectos no son acumulativos. Se admite que se puede trabajar en una atmósfera que contenga hasta 500 p.p.m. de metacrilato en el aire.

*Estireno*: No es tóxico en las condiciones usuales de empleo, pero es recomendable evitar la inhalación y el contacto con la piel.

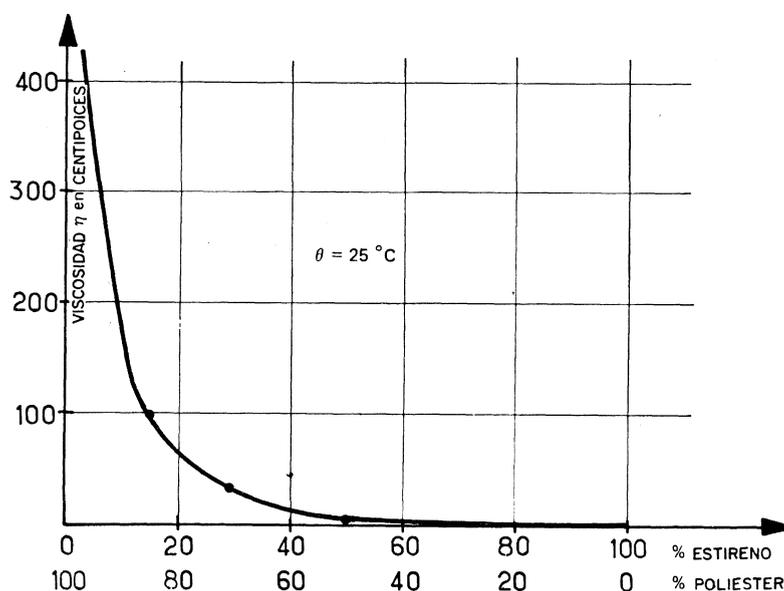


Fig. 5

*Acetato de vinilo*: No es dañino para el hombre y tampoco se han observado alteraciones crónicas por su uso.

*Acrilonitrilo*: Tóxico y vesicante; la concentración límite de sus vapores en una atmósfera de trabajo es de 20 p.p.m.

*Poliestirenos*: Como todos los hidrocarburos bencénicos, las resinas de poliestireno son irritantes en dosis elevadas, pero no producen concentración en la médula ósea ni modifican la composición sanguínea.

El plan de ensayos, en parte ya realizados, tiene por objetivo el perfeccionamiento y la simplificación de las etapas del proceso anteriormente descritas: se realizan con metacrilato de metilo y todos los parámetros del hormigón (edad, naturaleza o tipo, forma de las probetas, etc.) se fijaron para todos los ensayos con objeto de eliminar su posible influencia.

Las fases estudiadas sucesivamente fueron: el secado, la degaseificación, la impregnación, la protección y la polimerización.

El tipo de probeta y de hormigón fueron: prismas de  $7 \times 7 \times 28$  cm.

Composición del hormigón:

Cemento C PA ... ..	400 kg/m <sup>3</sup>
Canto rodado 4-10 ... ..	1.130 kg/m <sup>3</sup>
Arena 0-6 ... ..	660 kg/m <sup>3</sup>
Agua ... ..	210 kg/m <sup>3</sup>
Relación agua/cemento ... ..	0,6

Se proyectó medir las resistencias y la porosidad, pero el estudio se ha limitado, por el momento, a las variaciones del valor de las resistencias a flexo-tracción por el método del momento constante.

Para ensayar la penetración de la resina se utilizaron los prismas normales de 4 × 4 × 16 cm.

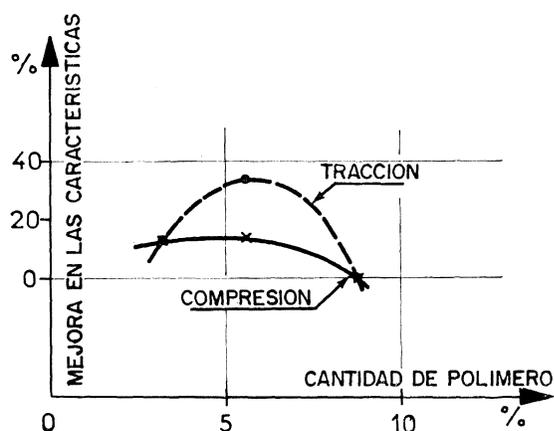


Fig. 6

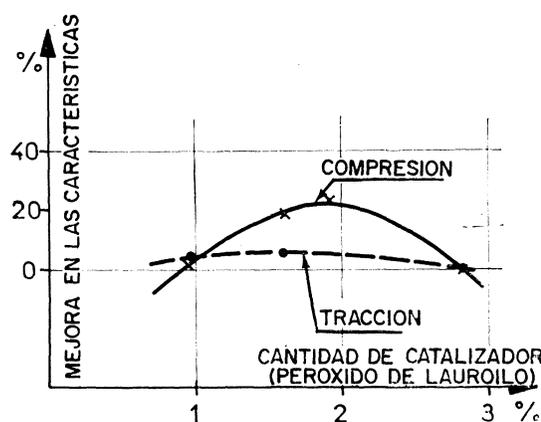


Fig. 7

Las figuras que se insertan en esta glosa y que en el trabajo original están acompañadas de interesantísimas observaciones y comentarios, dan idea de la influencia que ejercen sobre el resultado las variables estudiadas. El autor resume así las conclusiones de esta primera parte de sus experiencias:

La impregnación total, que impone una tecnología relativamente compleja, permite obtener importantes mejoras mecánicas. En efecto, la resistencia a la compresión alcanza frecuentemente 1.200 bars para el metacrilato de metilo y 1.400 bars para una mezcla de estireno-poliéster. La resistencia a la flexo-tracción sobrepasa los 170 bars. Mejora la superficie del hormigón y, por ello, su durabilidad.

La impregnación superficial, con tratamientos más sencillos y económicos, no tiene otra ambición que mejorar las propiedades de las zonas superficiales. Esta mejora responde a los problemas actuales del prefabricado; la impregnación superficial incrementa sensiblemente la resistencia a los choques y al desgaste y suprime los fenómenos de orden capilar. Esta supresión corresponde a la ausencia de la emigración del agua, que se traduce por disminución de las variaciones dimensionales, la ausencia de eflorescencias y a una impermeabilidad muy satisfactoria. Asimismo se puede conseguir dar coloración a la superficie incorporando pigmentos a las resinas.

El CERIB continúa las experiencias en el sentido de intensificar las ventajas antes mencionadas, y, especialmente, aplicándolas al hormigón ligero para que, conservando su interesante densidad, alcance resistencias del orden de los 900 bars en compresión y 100 en tracción.

### TIPOS DE POLIMEROS

	Metacrilato de metilo	Estireno	Acetato de vinilo
Monómero:	$\begin{array}{c} \text{COOCH}_3 \\   \\ \text{CH}_2 = \text{C} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H}_2 \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2 \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{C} = \text{C} \\   \\ \text{O} \\   \\ \text{C} = \text{O} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Polímero:	$\begin{array}{c} \text{COOCH}_3 \quad \text{COOCH}_3 \\   \quad   \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H}_2 \quad \text{H} \quad \text{H}_2 \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \\   \quad   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \quad \text{H} \quad \text{CH}_2 \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \quad \text{C} \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{C} = \text{O} \quad \text{C} = \text{O} \\   \quad \quad \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \quad \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Punto de ebullición a la presión atmosférica: Densidad: Viscosidad: Tensión superficial: Resistencia a la tracción: Resistencia a la compresión:	100,6 a 101,1°C 0,943 a 20°C 0,57 cPo a 25°C 26,4 dinas/cm a 20°C 520 bars 1.000 bars	145,2°C 0,905 a 20°C 0,73 cPo a 25°C 26,5 dinas/cm a 20°C 560 bars 960 bars	72,7°C 0,934 a 20°C 0,5 cPo a 25°C 24,4 dinas/cm a 20°C 450 bars 750 bars