

## **Interesantes aplicaciones de las resinas sintéticas en obras de ingeniería civil**

G. VIÉ, ingeniero de minas

679-6

### **sinopsis**

El autor describe la importancia creciente que han adquirido las resinas epoxi en la construcción y, particularmente, en las obras públicas.

Hace una exposición sucinta de sus propiedades físicas y químicas más destacadas: resistencia química prácticamente total, poder anticorrosivo elevado, mejores características mecánicas que el hormigón, insensibilidad a los ciclos hielo-deshielo y a las variaciones térmicas, poder adhesivo notable para todos los materiales, ninguna modificación por envejecimiento, gran resistencia al desgaste y a la abrasión, efecto decorativo, y gran resistividad eléctrica; así como de las utilizaciones más usuales: recrecidos, inyecciones, empotramientos, suelos industriales, revestimientos en túneles, impermeabilización de fisuras, etc. Se añaden algunos ejemplos recientes de su empleo en Francia.

Las resinas epoxi se utilizan cada vez más en obras públicas. Se obtienen por reacción de la epíclorhidrina sobre los bifenoles y son endurecidas por reacción de poli-adición con un endurecedor, cuyas dos grandes familias son las poliamidas alifáticas y los anhídridos carboxílicos.

El término de polimerización, corrientemente empleado para la unión de materias plásticas, es impropio en el caso de las resinas epoxi.

El proceso de reacción, antes mencionado, es una de las ventajas de las resinas epoxi con relación a otras materias termoendurecibles, pues la reacción de poli-adición no libera ningún producto volátil, lo que se puede apreciar en atmósfera cerrada en trabajos subterráneos. Son indispensables unas proporciones exactas, en peso o en volumen, entre resina y endurecedor para esta reacción química irreversible.

Las propiedades físicas y químicas de estas resinas deben ser subrayadas:

resistencia química prácticamente total, rebasando con mucho la de materiales tradicionales (hormigón, metales...); esta inercia es total frente a aguas agresivas, disolventes, lejías alcalinas; sólo los ácidos concentrados pueden conducir a una descomposición parcial de las poliepóxidas; ciertos aditivos permiten mejorar el comportamiento en medio ácido;

poder anticorrosivo elevado, unido a su inercia química y a su estabilidad;

características mecánicas que rebasan ampliamente las del hormigón: 900 a 1.200 bars (918 a 1.224 kilopondios/cm<sup>2</sup>) a compresión simple (2 a 3 veces la del hormigón), 400 a 800 bars (408 a 816 kp/cm<sup>2</sup>) a flexión (8 a 10 veces la del hormigón). Estas resistencias se obtienen algunas horas después de la puesta en obra. Además, estas fuertes resistencias corresponden a módulos de elasticidad relativamente bajos (menos de 30.000 bars = 30.600 kp/cm<sup>2</sup>), lo que asegura un comportamiento notable ante esfuerzos alternos;

insensibilidad a los ciclos hielo-deshielo;

insensibilidad a las variaciones térmicas, sobre todo cuando el epóxido está asociado a un elastómero;

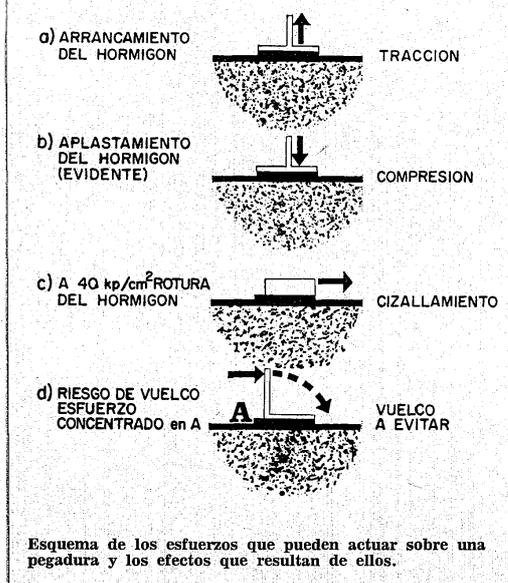
poder adhesivo notable sobre todos los materiales de construcción (hormigón, yeso, madera ladrillo, acero, etc.);

ninguna modificación por envejecimiento, incluso a los ultravioletas (contrariamente a ciertos materiales plásticos en los que el porcentaje de polimerización evoluciona en el tiempo);

gran resistencia al desgaste y a la abrasión cuando está asociada a cargas convenientes;

efecto decorativo, gracias a un cómodo teñido;

gran resistividad eléctrica.



La resina y el endurecedor pueden ser entregados ya mezclados al lugar de obra en la que se utilizará esta mezcla, cuya conservación es posible durante un tiempo determinado, generalmente tres o cuatro semanas. En este caso el endurecimiento no intervendrá más que bajo la influencia de una aportación exterior de calor, por ejemplo 100° a 200° C durante algunos minutos. Esta solución tiene la ventaja de suprimir la obligación de proceder a la mezcla en obra, y da resistencias superiores. Mezclas de resina epoxi y endurecedor, elevadas a 200° C durante 10 a 15 minutos, ofrecen resistencias a cizallamiento de hierro a hierro iguales o superiores a 300 bars (306 kp/cm<sup>2</sup>).

La duración del endurecimiento se abrevia si la temperatura es elevada. Las aplicaciones en pegamento industrial conciernen más particularmente a la construcción automovilística y aeronáutica.

Otra solución consiste en suministrar separadamente la resina y su endurecedor, en recipientes que contengan las dosis calculadas de antemano para realizar la mejor reacción.

La reacción se inicia a la temperatura ambiente cuando los dos componentes se ponen en contacto. Ello depende de varios factores: masa del producto, temperatura, forma del recipiente. En el curso de la pri-

mera fase de contacto entre los dos componentes, la mezcla es fácilmente utilizable. Sin embargo, siendo progresivo el endurecimiento, llega un momento en que la mezcla no puede ser trabajada, siendo además la reacción exotérmica.

La temperatura influye sobre el tiempo de «trabajabilidad» de la mezcla, y de duración del endurecimiento. Por debajo de una temperatura mínima, la reacción se realiza incompletamente, o no se hace en absoluto. Por último, el frío aumenta la viscosidad disminuyendo la facilidad de trabajo.

Es preciso considerar la influencia del agua. Mientras que una superficie seca no presenta ningún problema de aplicación, una superficie húmeda no es admisible más que para ciertas resinas.

Bajo el agua, algunas resinas son utilizables, incluso en agua fría. Así, la protección de obras metálicas en zona sumergible por el juego de las mareas es perfectamente posible, gracias a formulaciones epoxi especiales, no afectadas por la marea creciente y prosiguiendo su endurecimiento bajo el agua.

Hay, pues, numerosas calidades de resinas epoxi para responder a cada caso particular: recrecidos, inyecciones, empotramientos, suelos industriales, etc. Pueden ser modificadas por elastómeros, plastificantes, coloides rigidizadores, pigmentos, adiciones tales que permitan igualmente obtener, para cada tipo de aplicación, la mejor consistencia y elasticidad deseada.

Las resinas duras ofrecen una resistencia a compresión del orden de 1.000 bars (1.020 kp/cm<sup>2</sup>), una resistencia a flexión hasta 300 bars (306 kp/cm<sup>2</sup>). Su índice de adherencia sobre hormigón, incluso mojado, es superior a la resistencia a tracción de los hormigones. Es por lo que las probetas pegadas rompen fuera de la zona de adherencia. El módulo de elasticidad está comprendido entre 15.000 y 30.000 bars (15.300 y 30.600 kp/cm<sup>2</sup>).

Las resinas flexibles contienen elastómeros en proporción variable, en los que la evolución del módulo de elasticidad es según la demanda del utilizador. Por fin, en las dos series, dura y flexible, se pueden disponer resinas fluidas, pastosas o tixótropas.

Estas resinas han sido aprobadas, en lo sucesivo, para los trabajos de conservación de las obras de fábrica de los ferrocarriles franceses, y los de la RATP (Administración del Metro de París), los de la Administración des Ponts et Chaussées, etc.

A solicitud de la RATP se han llevado a cabo por un Laboratorio Oficial (C.E.R.E.B.T.P.) los siguientes controles especiales: ensayos de arrancamiento y empotramiento sobre bóvedas, pilares, solera de túneles. A tal efecto, se ha utilizado un gato hidráulico anular, de 25 Mp, equipado de un dinamómetro de precisión de ± 50 kp.



Empotramiento de tirantes a base de resina en un pasillo de acceso.

Los resultados de estos ensayos han sido los siguientes:

Emplazamiento de los empotramientos	Diámetro del pasador empotrado (mm)	Profundidad del empotramiento (cm)	Carga de ruptura del empotramiento
Solera	30	15	Ruptura por arrancamiento del hormigón sin despegue del pasador: 16.000 kp 14.000 kp 21.000 kp 15.000 kp
	30	10	
	45	15	
	45	10	
Pilares	30	10	Esfuerzo ejercido hasta 16 Mp sin observar ruptura del empotramiento o del hormigón:
Bóveda	30	15	5.800 kp
	30	10	7.000 kp

Ellos ponen en evidencia el hecho de que, en todos los casos, la resistencia del hormigón es sólo el origen de la ruptura del empotramiento. En el caso de un hormigón de buena calidad, tales como en la solera y los pilares, es posible admitir el valor medio de 15 Mp a ruptura para los dos tipos de pasadores ( $\varnothing$  30 y 45 mm) y con profundidades de empotramiento de 0,10 a 0,15 m.

Se resalta que las resinas epoxi son utilizadas en función de su rapidez, de sus buenos resultados y de su facilidad de empleo en la ejecución de empotramientos.

Siguiendo la posición del vástago a empotrar, se puede vestir resinas fluidas en los agujeros del suelo, o resinas espesas puestas en el fondo de los agujeros realizados en muros verticales, gracias a una pistola

de extrusión, o aun resinas tixotrópicas por los agujeros del empotramiento en el techo. Esta técnica ha sido puesta en práctica en el vaciado de galerías y excavaciones subterráneas, para el apuntalamiento colgado (empernado del techo).

Los empotramientos pueden ser realizados bajo el agua, sea por resina, sea por mortero epoxi, a cualquier profundidad, con hierros de toda dimensión, observando las precauciones indispensables.

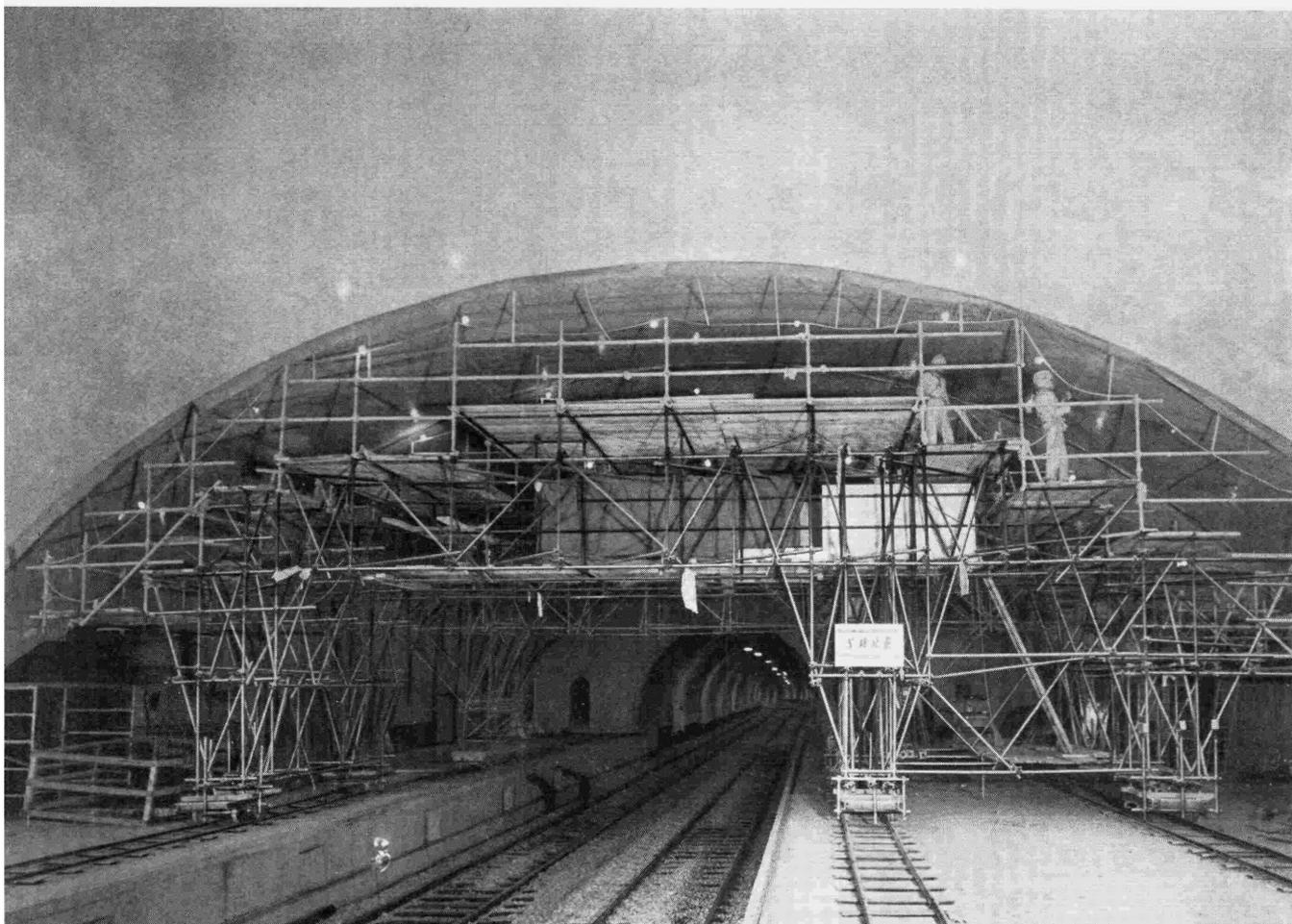
Tanto en los subterráneos del Metro Express de París como en los de la S.N.C.F. han sido empotrados herrajes de catenarias y de fijación de obras diversas, tirantes. Del mismo modo fueron realizadas sujetiones, consolidaciones de muros de sostenimientos, uniones de hierro a hormigón en construcciones existentes. En todos los casos el esfuerzo de arrancamiento es satisfactorio, y la estanquidad no deja nada que desear, cuando muy a menudo agujeros de empotramiento de mortero de cemento abren paso a una circulación de agua.

Las fotografías que reproducimos conciernen a los trabajos de la red Express del Metro de París; se apreciará en ellas la variedad de aplicaciones: revestimientos de bóveda en muro por aplicación de la máquina SECIMER de resinas teñidas y proyección de agregados reflectores, como en la estación NATION de esta red Express; ejecución de capas estancas en resina (procedimiento patentado), del cual he aquí los detalles:

En primer lugar, se procede a la preparación de superficies por inyección de arena mezclada con agua. Este chorro está a muy alta presión, hasta 300 bars (306 kp/cm<sup>2</sup>), y asegura una limpieza preliminar indispensable.

En segundo lugar, y cuando las superficies están bien preparadas y limpias, se proyecta mecánica y regularmente una capa de resina. El conjunto SECIMER utilizado para tal operación permite obtener una dosificación perfecta de los componentes, temperaturas de proyección exactas, todas condiciones indispensables

**Revestimiento de la bóveda a base de resina teñida, con aditivos de poder reflectante: Vista de la bóveda en vías de tratamiento.**





Impregnación estanca a base de resina: Vista de la solera antes y después del tratamiento.

para dar a la capa de protección todas sus cualidades y, sobre todo, la estanquidad al agua y al aire, una buena adherencia, y una buena resistencia a los choques.

Se aplica a continuación, antes de polimerización, una capa de adherencia con la máquina «ALIVA» o «TURBOSOL» con vistas a la aplicación final de una capa de cemento de espesor variable preparado según normas y alisado con la llana, con un mortero dosificado en 450 kg de cemento/m<sup>3</sup>. Tales recubrimientos se llevaron a buen término en la estación AUBER del Metro de París, sobre una superficie de unos 60.000 m<sup>2</sup>.

Señalemos también la consolidación de obras de hormigón, la impermeabilización de fisuras en las juntas de unión por inyecciones de resinas fluidas (estaciones de la Red Regional Express de París: Defense, Auber, Nation, Pont de Neuilly).

Se comienza por abrir las fisuras —si ha lugar—, después en un radio de 0,50 m se empotran tubos de inyección. La fisura se llena con una resina más compacta; bajo presión, por bomba a mano, o mecánica, se inyecta por fin una resina muy fluida que penetra bastante profundamente en el seno de la fisura, y permite restablecer la continuidad del hormigón.

Este procedimiento podría ser válido para el tratamiento de fisuras en una presa.

Un trabajo de consolidación de capa de cemento sobre obra de fábrica, recibiendo con mortero de resina e inyección de resinas fluidas, ha sido llevado a cabo, con éxito, en el puente del Sena del bulevar periférico (Massena) por cuenta de la ciudad de París.

Un túnel del ferrocarril a Genevreuille, en la línea París-Mulhouse (S.N.C.F., red del este), que era muy húmedo, ha podido ser impermeabilizado por inyección de resina acrílica.

Todas las obras que venimos enumerando han sido realizadas, a satisfacción de sus directores de obra, por una empresa especializada en las aplicaciones de resina (SARE).

La gran fluidez de las resinas epoxi, y sus características de adherencia, incluso en medio húmedo, favorecen su empleo en inyecciones, para calzar, con extrema precisión, ejes metálicos en piezas de grandes dimensiones, donde los métodos clásicos de fabricación son difícilmente aplicables, o para proteger ataques de la corrosión, armaduras que son inaccesibles por cualquier otro medio (cables de pretensado, por ejemplo).

Los métodos de puesta en obra consisten, en principio, en limitar el volumen a inyectar, obturando todos los orificios, por un mortero epoxi, u otro; empotrar las bocas destinadas a recibir las pistolas o los conductos flexibles que vienen de los depósitos de resina a presión; aumentar la presión del aparato lleno de resina, vigilando la progresión de la penetración de la resina por observación de las bocas vecinas.

---

Todas las pegaduras, todas las uniones son posibles con las resinas sintéticas.

Se puede tomar ejemplo de un recrecido de hormigón: un hormigón antiguo es limpiado de partículas mal sujetas, o de lechada de cemento en exceso, por chorro de arena o por abrasión, por choques de la aguja más fina de un rompehormigones, o por escodado. Se limpia el polvo con chorro de aire comprimido, y se aplica sobre este hormigón, manual o mecánicamente, una película de resina epoxi.

El hormigón fresco, o el enlucido es entonces puesto en seguida en su lugar, con o sin armaduras, pero siempre antes que la película de unión haya consolidado.

Después del endurecimiento de la resina y del hormigón fresco, toda probeta obtenida de los dos hormigones así unidos, sometida a todos los ensayos clásicos de tracción, compresión, flexión o cizalladura, se romperá fuera de la zona de pegado, si la preparación ha sido convenientemente hecha.

Esto supone, además de la ausencia de cuerpos grasos sobre el hormigón antiguo, una buena resina epoxi, puesta en obra con el acatamiento de tiempo, de los plazos y de las temperaturas. También supone, en fin, que el hormigón aportado se halle tan seco como sea posible, pues la estanquidad de la película de resina utilizada para la pegadura suprime toda posibilidad de absorción de agua por el hormigón antiguo.

Tales uniones son utilizadas para diversos fines: unión de una capa sobre un hormigón liso, unión de placas, molduras reventadas por hinchazón de armaduras, y suelos llamados a soportar cargas más pesadas que las previstas en la construcción.

**Impregnación estanca a base de resina:  
Vista de un estribo antes del tratamiento.**



Veamos un ejemplo muy significativo a este respecto: El puente-grúa de la nave de almacenaje de clínker de una fábrica de cementos francesa resultaba ya insuficiente, siendo necesario reemplazarle por otro, de una potencia doble, sin detener el funcionamiento regular de la fábrica.

Demostrando los cálculos que el hormigón podía soportar el incremento de tensiones previstas, se eligió la solución de sobreañadir, por pegadura, aceros longitudinales y transversales para absorber los momentos adicionales y el sobrante de esfuerzo cortante.

La armadura longitudinal de flexión está formada de una sola chapa de acero pegada bajo la cara inferior de la viga, y las armaduras de esfuerzo cortante han sido divididas en varios elementos unidos por los bordes para facilitar con ello la ejecución y aplicación. Las chapas tenían que estar muy fuertemente apretadas sobre las superficies de hormigón pegadas a la resina, con ayuda de dispositivos de presión.

Como un examen posterior al martillo había subrayado algunos defectos de unión, debido a la falta de lisura de las caras laterales del hormigón, se juzgó oportuno inyectar en sus ampollas una cantidad suplementaria de pegamento, hasta que rebosase, abriendo un agujero y utilizando una bomba de mano.

Las medidas de tensión a plena carga, que fueron efectuadas al fin de la operación, mostraron la firmeza de la acción del refuerzo, acusando las chapas un notable aumento de tensiones bajo la carga.

El consumo de resina epoxi, utilizada como «pegamento», ha sido de 3 kg/m<sup>2</sup> para una doble encoladura; la solución adoptada ha sido, pues, a la vez, rápida, económica y eficaz.

En el terreno de los materiales prefabricados es posible cuando los elementos están preparados con tolerancias suficientemente pequeñas, pegar estos elementos. En el procedimiento Murtec, los paneles prefabricados recogen en su canto una capa o rodaja de resina epoxi, puesta por proyección mecánica, y son mantenidos apretados durante el endurecimiento por dos pernos de montaje.

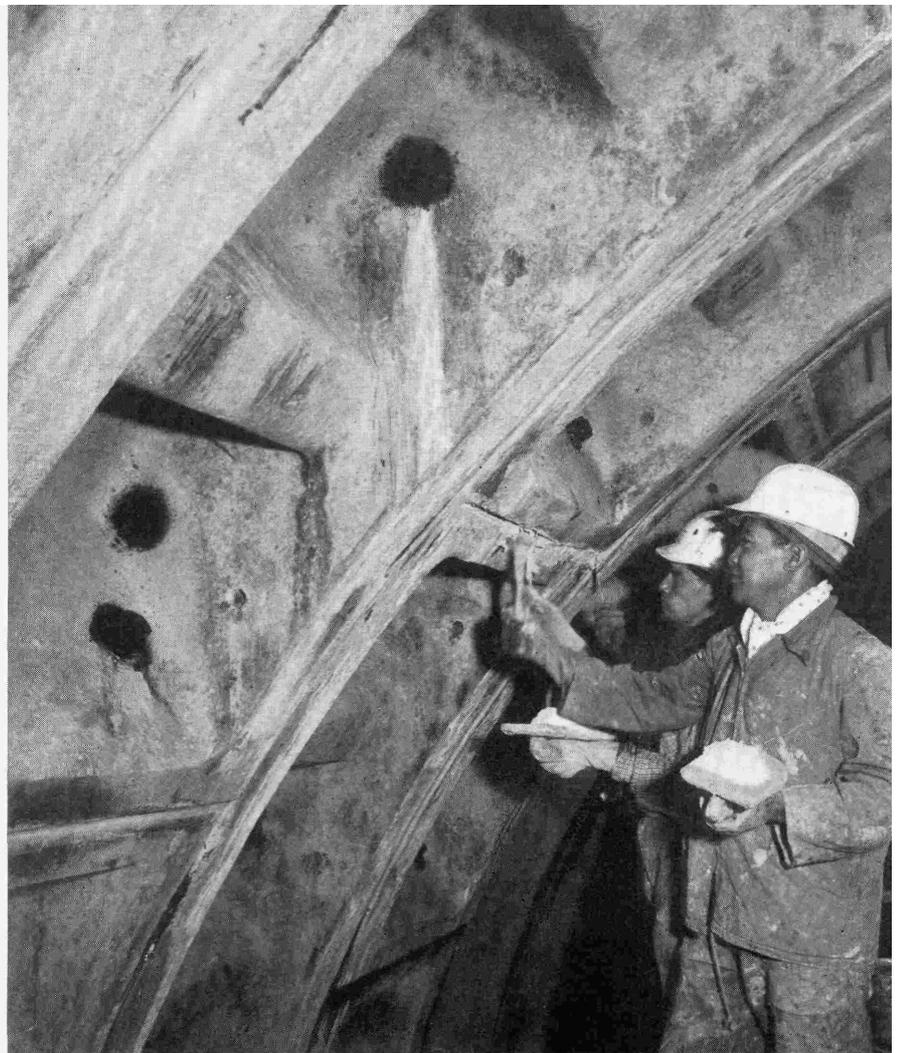
Otros casos pueden ser mencionados: juntas conjugadas en obras de pretensado, encolados de ajuste de tuberías o de abrazaderas, colocación de contrafuertes en uniones por pernos y roblones en construcción metálica, etc.

No hay duda que las encoladuras están llamadas a desarrollarse entre acero y hormigón endurecido, hormigón curado y hormigón fresco, madera y amianto-cemento. Es posible considerar la supresión de todas las patillas de empotramiento de los marcos de puertas o ventanas, que podrían ser pegados sobre el revalso, y simplificar el trabajo de edificación.

Por fin, es preciso señalar el empotramiento en hormigón, pasadores de fijación de los raíles del ferrocarril, e incluso la pegadura de las zapatas de estos raíles sobre el hormigón de separación entre las traviesas.

Una arena de sílice puede ser mezclada, sin agua y sin cemento, a una resina epoxi, con el fin de obtener un mortero de características variables siguiendo diferentes parámetros (relación aglomerante-agregados, calidad de la resina, granulometría de la arena, etc.).

Tal mortero puede ser «pobre» o «rico» en resina, lo que permite toda una gama de utilizaciones.



Impermeabilización de las dovelas de la bóveda con inyecciones de resina y sellado posterior: Vista de la bóveda en curso de tratamiento.

A título indicativo, 1 litro de mortero será preparado con 2 kg de arena de sílice y 0,300 kg de resina, pero pueden ser preferibles otras proporciones para determinados usos.

El mortero y el hormigón epoxi son aconsejables para resistir a compresión, a tracción y a cizalladura, pero no para los efectos de balanceo o vuelco, estando el esfuerzo concentrado entonces en un solo punto.

En las obras hidroeléctricas se han comprobado degradaciones del hormigón atribuidas a fenómenos de cavitación y de turbulencia.

Asimismo se ha podido observar que los desperfectos eran relativamente escasos, y que correspondían a escapes de velocidad moderada (15 a 20 m/s) y de gran turbulencia, o a escapes de velocidad superior a 30 m/s de turbulencia poco acusada, pero de caudal importante.

En la mayoría de las instalaciones, el director de obra se ocupa de prescribir las medidas adecuadas para prevenir tales degradaciones, especialmente las debidas a la cavitación.

Las degradaciones se manifiestan, por ejemplo: en las zonas de pérdida de energía de los canales de descarga, o en la estela de un obstáculo o en irregularidades de la superficie del hormigón, sobre el revestimiento de los muros laterales en la desembocadura del vaciado de fondos (erosión más o menos profunda que la solera, hasta formar una serie de «cráteres» más o menos unidos, con basculamiento de bloques de hormigón separados de la solera rota), degradaciones aguas abajo de las juntas de las compuertas, etc.

La molestia no proviene tanto de la importancia de los trabajos de separación en sí, como de la necesidad de parar la central para poder ejecutarlos.

Se ha considerado que los hormigones de resinas pueden aportar una solución y se han aplicado, a título experimental, en las reparaciones de las obras EDF (Cize-Bolozon, Arveyron-Mer de Glace, Rivières sur Tarn, etc.).

**Puente del bulevar periférico sobre el Sena: Consolidación de la capa de revestimiento mediante mortero de resina e inyección de resina.**

Fotos: STUDIO ST-BERNARD



### **Intéressantes applications des résines synthétiques aux travaux de génie civil**

G. Vié, ingénieur des mines

L'auteur souligne l'importance croissante qu'ont actuellement les résines époxydes dans le bâtiment et, particulièrement, dans les travaux publics.

Il énonce, d'une manière succincte, leurs propriétés physiques et chimiques les plus remarquables: inertie chimique pratiquement totale, pouvoir anticorrosif élevé, caractéristiques mécaniques dépassant largement celles du béton, insensibilité aux cycles gel-dégel et aux variations thermiques, pouvoir collant remarquable sur tous les matériaux de construction, aucune modification par vieillissement, très grande résistance à l'usure et à l'abrasion, effet décoratif, très grande résistivité électrique, ainsi que les utilisations les plus courantes: réagrèges, injections, scellements, sols industriels, revêtements en tunnels, étanchement de fissures, etc. Des exemples récents de leur application en France sont également donnés.

---

### **Interesting applications of Synthetic Resins to Civil Engineering Work**

G. Vié, mining engineer

The author describes the growing importance of epoxy resins in construction, especially in public works.

A brief account is given of the physical and chemical properties, such as almost total resistance to chemical action; high anticorrosive strength; better mechanical strength than concrete; insensibility to icing-deicing cycles and thermal changes; high bond with most materials; no changes due to ageing; great resistance to wearing and abrasive actions; good aspect; high electrical resistance; and others. The article also describes some of its most common uses, including fillings, injections, fixings, industrial floorings, tunnel facing, and waterproofing of cracks. Examples of some recent uses in France are also cited.

---

### **Interessante Anwendungen von synthetischen Harzen im Zivilingenieurwesen**

G. Vié, Bergbauingenieur

Der Verfasser beschreibt die wachsende Bedeutung von Epoxi-Harzen im Bauwesen und insbesondere für öffentliche Bauten.

Er gibt einen kurzen Überblick über ihre wesentlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften: heinahe völlige chemische Widerstandsfähigkeit, hohe antikorrosive Eigenschaften, bessere mechanische Charakteristika als Beton, Unempfindlichkeit gegenüber dem Vereisungs-Enteisungs-Zyklus und gegenüber Temperaturschwankungen, hohe Adhäsionskraft für alle Materialien, keine Veränderungen auf Grund von Alterung, grosse Haltbarkeit, dekorative Wirkung und grosse elektrische Widerstandskraft. Der Autor spricht weiterhin von ihren gebräuchlichsten Anwendungsformen: Anbauten, Einlassungen, Einbauten, Industrieböden, Verkleidungen von Tunneln, Undurchlässigkeit von Spalten, usw.

Es werden zudem einige neuere Beispiele für ihre Anwendung in Frankreich gebracht.