

los cambios de temperatura en los revestimientos

epoxi



M. FERNANDEZ CANOVAS, Dr. Ing. de Construcción

sinopsis

679-5

Este artículo es la segunda parte de un trabajo publicado por el autor en el número 189 de esta revista, y en él se realiza una descripción de los ensayos prácticos llevados a cabo para complementar el estudio teórico publicado en aquella primera parte.

Los ensayos han consistido en someter a placas de hormigón revestidas de una capa de mortero epoxi a determinadas condiciones térmicas, con el fin de poder comprobar el comportamiento del revestimiento frente a los cambios de temperatura.

En todos los ensayos realizados y que, con detalle, están descritos en este artículo, el comportamiento de los revestimientos de mortero epoxi ha sido excelente, no habiéndose notado ningún fallo de adherencia, ni roturas en la base de hormigón, ni en la capa de mortero epoxi.

introducción

La creciente aplicación de los morteros epoxi como revestimientos del hormigón está plenamente justificada por las excelentes propiedades de estos revestimientos.

Ya conocemos la deficiente durabilidad del hormigón frente a determinados productos, como son: aceites, grasas, petróleo, ácidos orgánicos e inorgánicos, bases, agua destilada, sales, etc. Este mal comportamiento obliga a tomar precauciones que protejan al hormigón cuando sea inevitable la presencia de estos productos y —no digamos— cuando se trate de construir depósitos para contener estos líquidos.

En la actualidad la tendencia en determinadas ramas de la industria de la alimentación está orientada hacia la creación de grandes centrales de preparación o fabricación y distribución de productos alimenticios; esto ocurre, concretamente, en los casos de las industrias lechera, vinícola y aceitera. Estas industrias precisan de grandes depósitos de almacenamiento y encuentran en el hormigón la solución ideal por sus magníficas características resistentes, formáceas y económicas, pero se tropieza con el inconveniente de que en mayor o en menor grado el hormigón es atacado por estos productos.

Se han estudiado muchos tipos de revestimientos empleando materiales muy diferentes, pero en la mayor parte de los casos el éxito no ha sido total. Ultimamente se ha conseguido la plena solución a este problema con los revestimientos a base de resinas epoxídicas, ya que éstas son muy resistentes a los agentes químicos, lo que les confiere una durabilidad excelente.

Otro problema difícil de resolver hasta ahora era el de los suelos industriales que han de estar sometidos a duras condiciones mecánicas y en los que la resistencia al choque y a la abrasión han de ser predominantes. Si a estos efectos se unen los de tipo químico, el problema se agrava. Frecuentemente nos encontramos con suelos de naves industriales o de talleres mecánicos en los que se combinan los derrames de aceites y grasas con los efectos de choque y de abrasión, con naves dedicadas al llenado de bidones de aceites minerales, donde

son frecuentes los escapes de éstos, teniendo que sufrir además estos suelos los efectos de choques de bidones, movimientos de rodadura y pivotamiento de los mismos, etc. Como estos ejemplos existen muchos más en los que el hormigón normal llevaría las de perder. Una capa protectora de mortero epoxi nos da una magnífica solución a este problema.

Al emplear estos revestimientos, bien sea en el caso de suelos o de depósitos, surge la siguiente pregunta: ¿cuál será su comportamiento frente a los cambios de temperatura, teniendo en cuenta —como sabemos— que los coeficientes de dilatación térmica del hormigón y del mortero epoxi son distintos? Hay que tener presente que estas variaciones de temperatura pueden ser apreciables, como ocurre, por ejemplo, en muchos depósitos destinados a contener leche y aceites; o en pavimentos industriales, donde la limpieza suele hacerse por medio de agua caliente próxima a la ebullición y lanzada por medio de mangueras. Si la temperatura exterior del depósito es baja, entonces las condiciones son aún más críticas.

En el número 189 de *INFORMES DE LA CONSTRUCCION* publicábamos un trabajo teórico sobre el comportamiento de los revestimientos epoxi a los cambios de temperatura. En este estudio se hacía un análisis de las tensiones que se producen como consecuencia de estos cambios en la capa de mortero epoxi y en la base de hormigón. Haciendo una aplicación numérica de las fórmulas halladas suponiendo una elevación de temperatura de 50° C sobre la de ejecución, llegábamos a la conclusión de que las tensiones se quedaban muy por debajo de las de rotura de ambos materiales, y no eran suficientes para romper la adherencia entre la capa de mortero epoxi y el hormigón.

Realizado este trabajo teórico nos pareció lógico completarlo con una serie de ensayos en los que las condiciones a que estuviesen sometidos el hormigón y el revestimiento fuesen aún más críticas que las que resultan de una elevación de temperatura idéntica para ambos materiales. De esta forma en el Instituto Eduardo Torroja, y con la colaboración de la Casa CIBA, realizamos una serie de ensayos encaminados a observar el comportamiento de un revestimiento de mortero epoxi aplicado sobre una base de hormigón cuando se producen cambios apreciables de temperatura, y sacar conclusiones en cuanto a las tensiones mecánicas que se originan y la capacidad resistente de la capa de mortero y del hormigón para absorberlas.

estudio práctico

Se han realizado dos tipos de ensayos: unos a temperatura constante y otros a temperatura variable, creando series de choques térmicos.

Los ensayos a temperatura constante han consistido en someter a placas de hormigón revestidas de una capa de mortero epoxi a una temperatura T_i en la superficie externa del mortero; mientras que la cara opuesta a aquélla, y que correspondía al hormigón, se mantenía constante a una temperatura de 0° C.

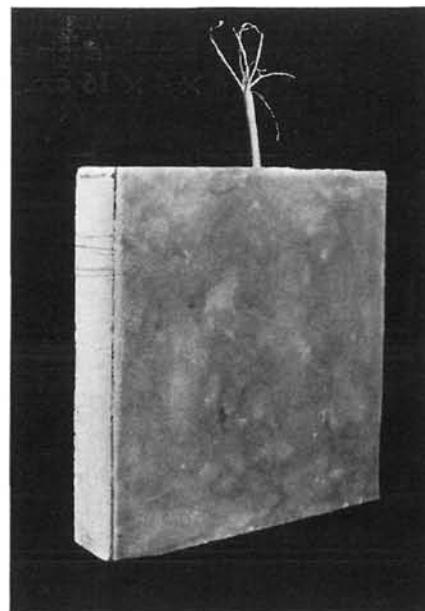
Con termopares colocados en el interior de las placas conseguimos medir las temperaturas a lo largo del espesor de las mismas y deducir el tiempo que tardaba en estabilizarse el gradiente de temperatura en ellas.

Al mismo tiempo, mediante bandas extensométricas situadas en la interfase entre el mortero epoxi y el hormigón hallamos las tensiones a que estaba sometido éste al estabilizarse las temperaturas.

La determinación de los tiempos de estabilización y de las tensiones en los ensayos a temperatura T_i constante se han realizado para valores de 30°, 50°, 70° y 90° C, manteniendo en todos los casos la temperatura de 0° C en la superficie externa del hormigón. El elegir estos cuatro valores de T_i tenía por objeto conocer a partir de qué temperatura se producía un posible fallo.

Los ensayos a temperatura variable o ciclos de choque térmico han consistido en someter a placas, idénticas a las empleadas en el ensayo anterior, a una temperatura de 90° C en la superficie externa del mortero durante un tiempo función del de estabilización correspondiente a esa temperatura y que previamente habríamos determinado en el ensayo a temperatura constante; mientras que la cara opuesta, a la que lleva la aplicación epoxi, y que corresponde al hormigón, se mantenía a la temperatura constante de 0° C.

Mediante termopares situados en el interior de la placa, y de bandas extensométricas colocadas en la interfase entre el mortero epoxi y el hormigón, se han medido las temperaturas a lo largo del espesor de la placa, así como las tensiones en la interfase.



1

elementos a ensayar y montaje

Las placas ensayadas tenían unas dimensiones de 60 × 60 × 10 cm y se han confeccionado con dos tipos de hormigón: un hormigón con una resistencia media a compresión, a 10 meses, de 277 kp/cm², y otro, de 110 kp/cm², a esa misma edad. Ambas resistencias se han medido en probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

En el interior de cada una de las placas se habían colocado cinco termopares equidistantes entre sí, estando el primero y el último junto a las superficies del hormigón.

Las placas se curaron en una cámara húmeda hasta que alcanzaron 28 días de edad. A esta edad se extrajeron de la cámara y se sometieron a un descarnado de su superficie para eliminar la capa débil de pasta de cemento, se limpiaron de polvo, se pegaron las bandas extensométricas e, inmediatamente, se pasó a darles una capa de imprimación a base de la siguiente formulación:

Araldite GY-250	100 p.p.
Endurecedor HY-830	60 p.p.
Acelerador DY-830	2 p.p.

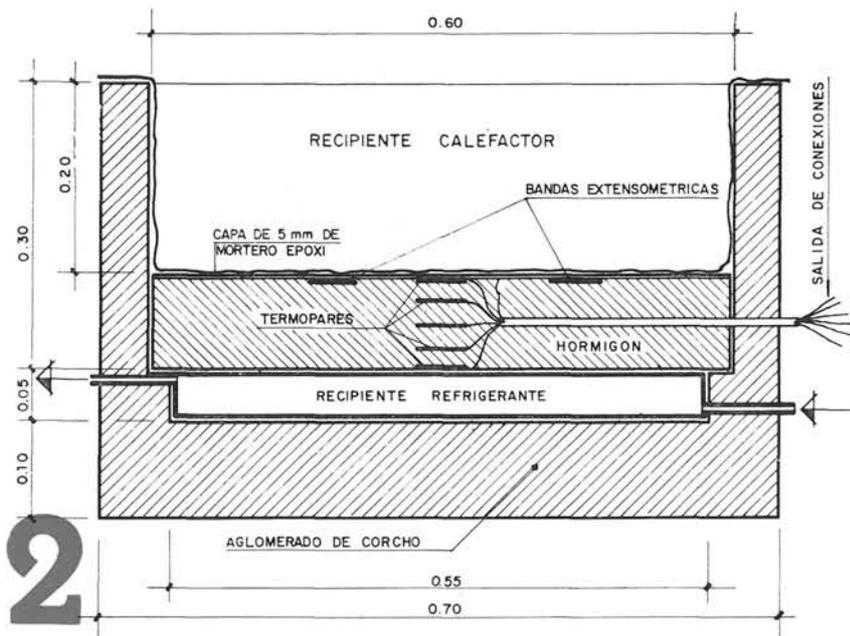
Una vez dada la capa de imprimación, y antes de su endurecimiento, se colocó sobre ellas una capa de mortero epoxi de 5 mm de espesor y cuya relación resina/árido era de 1/6.

La formulación de la resina era idéntica a la de la capa de imprimación ya dada. Una placa terminada para el ensayo puede verse en la figura 1.

La arena empleada en el mortero era de sílice y tenía la siguiente granulometría:

Tamiz luz malla milímetros	% retenido	
	Parcial	Acumulado
1,00	0,0	0,0
0,75	14,0	14,0
0,50	18,0	32,0
0,25	26,0	58,0
0,15	22,0	80,0
0,10	20,0	100,0

El mortero epoxi del revestimiento tenía una resistencia media a flexotracción, a 3 días, de 319,6 kp/cm² y una resistencia media a compresión de 902,5 kp/cm², medidas sobre probetas prismáticas de 4 × 4 × 16 cm.



Las placas se montaron en el interior de un cajón aislado térmicamente (fig. 2) y descansando íntimamente su cara inferior sobre un recipiente metálico por el que circulaba el agua con anticongelante a una temperatura tal que mantenía 0° C en la superficie del hormigón. Dicha agua procedía de un equipo de refrigeración con capacidad para refrigerar cuatro placas simultáneamente.

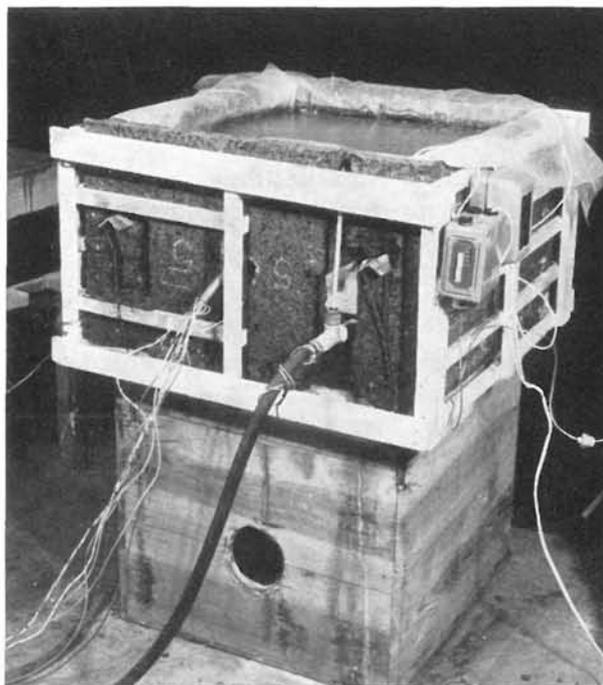
La cara superior de las placas, es decir, la revestida, estaba en íntimo contacto con un re-

cipiente de polietileno que contenía agua a la temperatura de ensayo, manteniéndose constante ésta mediante el empleo de un dispositivo de calefacción por electrólisis regulado por un termostato. En la figura 3 puede verse una placa montada.

ensayos a temperatura constante

Este ensayo se ha efectuado simultáneamente sobre cuatro placas de cada uno de los dos hormigones (fig. 4), sometidas a 30°, 50°, 70° y 90° C, respectivamente, en su cara superior; mientras que la temperatura en la cara inferior era en todos los casos de 0° C.

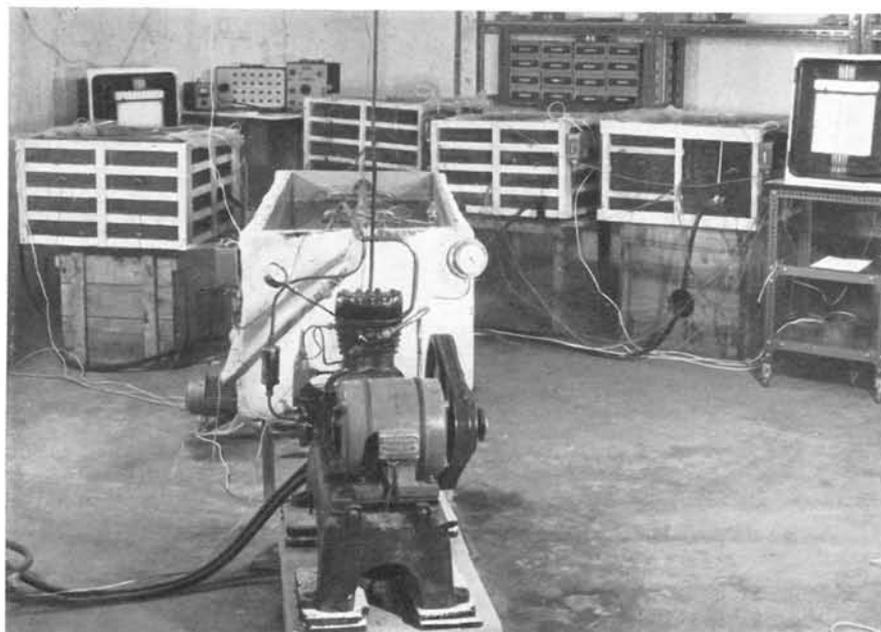
Partiendo de la temperatura ambiente de 17° C, se introdujo agua —que previamente había sido calentada a la temperatura de ensayo—, en cada uno de los recipientes de polietileno. Al mismo tiempo que se colocaba el agua caliente en el recipiente calefactor se abrieron las válvulas de circulación de agua a 0° C a través de los recipientes refrigeradores. A partir de este instante se inició el registro automático de las temperaturas en los puntos en que se habían colocado los termopares, con el fin de determinar los tiempos de esta-



bilización de los gradientes de temperatura en las cuatro placas.

Una vez estabilizadas las temperaturas, éstas se mantuvieron constantes, es decir, a la temperatura de ensayo en la cara superior y a 0° C en la inferior, durante 250 horas ininterrumpidas.

Durante el ensayo se registraban periódicamente las deformaciones existentes en la capa de hormigón de la interfase por medio de las bandas extensométricas colocadas al efecto en cada placa. Asimismo, mediante un captador de humedad se medía la existente en la interfase durante la realización de los ensayos.



4

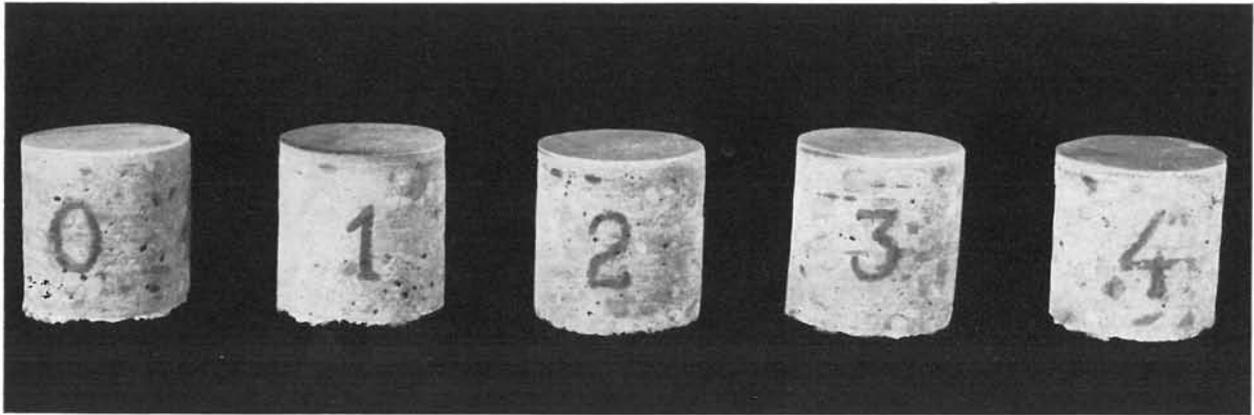
Los resultados de los tiempos de estabilización y de las tensiones para las distintas temperaturas de ensayo y para cada uno de los dos hormigones ensayados son los que figuran en el siguiente cuadro:

Temperatura de ensayo (°C)	Tiempo de estabilización (minutos)		Tensión del hormigón en la interfase (kp/cm ²)	
	Hormigón 277	Hormigón 110	Hormigón 277	Hormigón 110
30	30	45	0,6	0,4
50	45	55	1,8	1,3
70	50	60	4,4	3,7
90	55	65	6,1	4,8

Las tensiones de tracción del hormigón en la interfase son, en todos los casos, muy inferiores a las de rotura del hormigón por tracción, que pueden estimarse en: 23,6 kp/cm² y 13,3 kp/cm² para los hormigones de 277 y de 110 kp/cm², respectivamente.

Después de realizar este ensayo no se apreciaron, a simple vista, fisuraciones, roturas, ni desconchados en la capa de mortero epoxi ni en el hormigón de ninguna de las placas ensayadas.

Para comprobar la adherencia de la capa de mortero epoxi al hormigón se extrajeron dos testigos de cada una de las placas (fig. 5), no observándose en ellas ninguna anomalía en cuanto a esta adherencia; y esto, a pesar de haber tratado de despegar la capa de mortero epoxi de la base de hormigón mediante golpes de martillo.



5

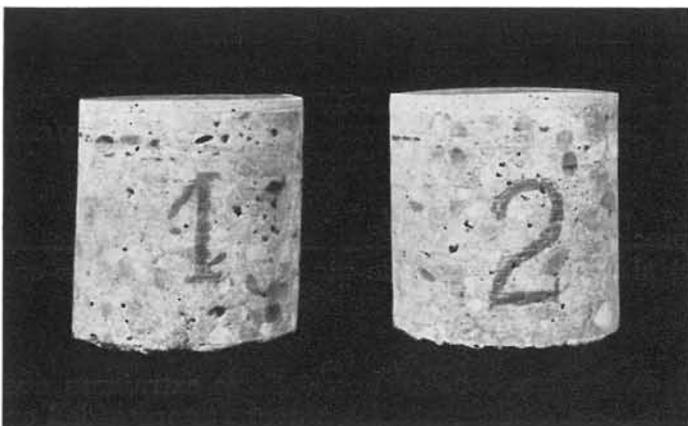
ensayo a temperatura variable

Para este ensayo empleamos placas idénticas a las usadas en los ensayos a temperatura constante, utilizándose el mismo montaje e instalaciones descritos anteriormente.

El ensayo se ha realizado simultáneamente sobre dos placas de hormigón de 277 kp/cm², sometiéndolas a una temperatura de 90°C en su cara superior, es decir, la revestida con mortero epoxi; mientras que la temperatura en la cara inferior se ha mantenido constante e igual a 0°C.

La fase caliente de cada ciclo, o sea, el tiempo durante el cual ha estado sometida la cara superior de una de las placas a 90°C, ha sido el de estabilización correspondiente a esa temperatura, es decir, de 55 minutos; mientras que en la otra placa, ese tiempo se ha reducido a la mitad del de estabilización, o sea, a 27,5 minutos.

Para la realización de los ensayos se ha partido de una temperatura inicial de las placas de 18°C, introduciendo, en los recipientes de polietileno, agua —que previamente había sido calentada a 90°C—, al mismo tiempo que se abría la circulación de agua fría a través de los elementos refrigerantes. De esta forma se sometían las placas a un fuerte choque térmico. La temperatura de 90°C se mantenía constante durante 55 minutos en una placa y 27,5 minutos en la otra gracias al empleo de elementos calefactores que funcionaban por electrólisis y que estaban regulados mediante termostatos.



6

Fotos: BENJAMIN GUTIERREZ

Pasados estos tiempos de la fase caliente se procedía a retirar el agua caliente de los recipientes, dejando que las placas se enfriaran gracias a la circulación ininterrumpida de agua a 0°C por los recipientes refrigerantes.

Cuando las placas alcanzaban la temperatura de 18°C en la cara superior, se iniciaba un nuevo choque térmico idéntico al descrito.

Cada una de las placas se ha sometido a 200 ciclos, controlándose durante ellos las temperaturas

a lo largo del espesor de las mismas, así como las deformaciones dadas por las bandas extensométricas, con el fin de determinar cualquier posible fallo que pudiese producirse en los sistemas de calefacción y refrigeración o en la adherencia de la capa de mortero epoxi a la base de hormigón.

En ninguno de los ensayos efectuados se apreció anormalidad alguna, no observándose, al desmontar posteriormente las placas, señal de fisuras, rotura ni pérdida de adherencia de la capa de mortero. Igualmente que en el caso de los ensayos a temperatura constante se extrajeron, mediante sonda de diamante, testigos de 10 cm de diámetro (fig. 6), apreciándose en ellos una adherencia perfecta entre la capa de mortero epoxi y la base de hormigón.

conclusiones

El trabajo práctico realizado nos ha permitido completar el estudio que habíamos efectuado y al que nos referimos al iniciar este artículo; en este estudio deducíamos las tensiones que se nos producen en la placa y revestimiento como consecuencia de una variación de temperatura sobre la de ejecución, mientras que en el trabajo práctico realizado hemos sacado como conclusión el buen comportamiento del conjunto, aunque se someta a condiciones de temperaturas variables para los distintos elementos.

En los ensayos a temperatura constante hemos obtenido tensiones que están por debajo de las de agotamiento del hormigón, al igual que ocurría en la aplicación del trabajo teórico. En los ensayos a temperatura variable, la práctica nos ha demostrado el buen comportamiento de estos revestimientos.

Hemos de apuntar que uno de los principales éxitos de estos revestimientos radica en la limpieza de la base de hormigón. Es imprescindible que la superficie esté totalmente exenta de aceites, grasas, o cualquier otro producto que pueda mermar la buena adherencia entre el mortero y el hormigón; en este sentido hemos de tener en cuenta que la adherencia será tanto mejor cuanto más sano sea el hormigón de la base, lo que nos obliga a eliminar la capa de lechada o pasta de cemento de débil resistencia que siempre sobrenada en la superficie del hormigón sobre la que se va a realizar el revestimiento. Igualmente se hace necesaria la eliminación del polvo que pueda existir procedente del descarnado anterior.

Esta preparación de la superficie puede efectuarse con facilidad mediante chorreado de arena con posterior limpieza del polvo mediante aire comprimido o por aspiración.

Con una buena preparación de la base se ha observado que la resina de la capa de imprimación penetra por los poros accesibles del hormigón, dando lugar así a unas ligaduras que favorecen enormemente la adherencia, colaborando a resistir los esfuerzos cortantes que aparecen en la interfase entre el mortero epoxi y el hormigón.

En nuestro trabajo hemos utilizado con éxito, para la capa de imprimación, la misma formulación epoxi que para el mortero, pero tal vez una formulación más fluida que la empleada favorecería mejor el efecto de ligadura antes señalado, al penetrar con mayor facilidad a través de los poros.

Hemos de agradecer a la Casa CIBA la colaboración prestada en todo momento a este trabajo y a la Srta. María José Escorihuela, Lcda. en Ciencias Físicas, su inestimable ayuda en la realización de estos ensayos.

résumé ● summary ● zusammenfassung

Les variations thermiques dans les revêtements epoxi (2ème partie)

Manuel Fernández Cánovas, Dr. Ing. de Construction

Cet article est la deuxième partie d'un travail publié par l'auteur dans le numéro 189 de cette revue. Il fait une description des essais réalisés dans le but de vérifier les résultats de l'étude théorique publiée dans ledit numéro.

Les essais ont consisté à soumettre des plaques en béton revêtues d'une couche de mortier epoxi à des conditions thermiques déterminées afin de pouvoir vérifier le comportement du revêtement face aux variations de la température.

Dans tous les essais réalisés, le comportement des revêtements de mortier epoxi a été excellent; ni défaut d'adhérence, ni ruptures à la base de béton ou sur la couche de mortier epoxi ne se sont révélés.

Temperature changes in epoxi facing materials (2nd part)

Manuel Fernández Cánovas, Dr. Construction Eng.

This article is the second part of a previous paper published by the author in no. 189 of this magazine. It describes the tests carried out to check the theoretical results published in the earlier article.

The tests have consisted in submitting concrete slabs covered with a layer of epoxi mortar to certain thermal conditions, to check the behaviour of the covering in the face of thermal changes.

In all the tests, described in detail in the article, the epoxi layer has behaved extremely well, and no bonding failure has been observed, nor failures in the concrete base or in the epoxi layer.

Temperaturumschwünge bei Epoxi-Verkleidungen (2. Teil)

Dr. Manuel Fernández Cánovas, Bauingenieur

Dieser Artikel stellt den zweiten Teil eines Beitrags dar, den der Autor in der Nummer 189 dieser Zeitschrift veröffentlichte. In diesem Artikel gibt er eine Beschreibung der Versuche, die durchgeführt wurden zur Belegung der Resultate der theoretischen Studie des ersten Teils.

Die Versuche bestanden darin, einseitig mit einer Schicht Epoxi-Mörtel verkleidete Betonplatten bestimmten thermischen Bedingungen zu unterziehen mit dem Zweck, das Verhalten der Verkleidung Temperaturwechseln gegenüber feststellen zu können.

Bei sämtlichen Versuchen, die ausführlich in diesem Artikel beschrieben werden, erwies sich das Verhalten der Verkleidungen aus Epoxi-Mörtel als ausgezeichnet; es wurde keinerlei Abbröckeln, noch Brüche in der Betonunterlage oder im Epoxi-Mörtel festgestellt.