los morteros **epoxi** en la construcción

MANUEL FERNANDEZ CANOVAS, Ingeniero de Armamento y Construcción

679 - 4

sinopsis

Desde hace unos años las resinas epoxi están encontrando una mayor aplicación en el campo de la construcción. Esto es debido a sus excelentes propiedades y a una tecnología cada vez más perfeccionada, las cuales permiten realizar, con éxito, muchas de sus aplicaciones a problemas cada día más difíciles y delicados.

El autor da cuenta, en este artículo, de los trabajos que ha realizado sobre morteros epoxi como parte de un amplio plan de ensayos experimentales que el Instituto Eduardo Torroja lleva a cabo en sus laboratorios.

Este estudio se refiere a los morteros epoxídicos pobres, entendiéndose por tales, la mezcla de árido exento de finos con la mínima cantidad de resina precisa para su confección. En el mismo se estudian las influencias de: la granulometría de la arena en la cantidad de resina a emplear; de la dosificación y de la edad en la resistencia mecánica, así como de las propiedades físicas de los morteros así formados.

Antecedentes

Hace años publicábamos en esta misma revista (número 159, abril de 1964) un artículo titulado «Las resinas epoxi en la construcción». En él vaticinábamos a este tipo de resinas un gran porvenir, consecuencia de un mayor conocimiento de sus propiedades que iría ligado a la creación de nuevos tipos de resinas epoxídicas y al estudio de formulaciones adecuadas que permitiesen ampliar su campo de aplicación. Nuestro pronóstico hoy es realidad, y estos conocimientos adquiridos en los últimos años, fruto de la inquietud investigadora de las casas fabricantes de resinas, unidos a la divulgación de las excelentes características de las aplicaciones hechas en muchos casos por los mismos usuarios, han permitido que actualmente el número de aplicaciones y la variedad de ellas haya llegado a ser francamente interesante desde el punto de vista técnico.

1

101

Aunque el enfoque que pretendemos dar de las aplicaciones y propiedades de las resinas epoxi está dentro del campo de la construcción y al ser éste tan extenso, concretado a los morteros epoxi, esto no es obstáculo para que, a título puramente informativo, citemos algunas de sus actuales aplicaciones dentro de otros campos.

La bondad de los epóxidos como adhesivos en el campo de la construcción para unir hormigones quedó demostrada en el artículo publicado por el autor en esta revista bajo el título «Los resinas epoxi en las juntas de hormigonado» (número 181, junio de 1966), pero actualmente estos adhesivos están teniendo grandes éxitos en el campo de la ingeniería naval y aeronáutica, como lo demuestra el hecho de que la British Hovercraft Corporation las emplee en sus hovercrafts o aerodeslizadores y la Dornier en sus aviones. En el campo eléctrico, las resinas epoxi están teniendo un gran papel por su gran poder aislante, realizándose piezas centrifugadas a base de resinas epoxi que se han aplicado en la fabricación de estaciones de ensayo para tensiones de choque de 4×10^6 voltios. Y así podríamos continuar citando aplicaciones importantes dentro de todos los campos de la industria.

Concretándonos al estudio de los morteros epoxi, cada vez más empleados, las aplicaciones son muy diversas: desde el simple relleno de un bache de calzada, hasta su contribución en el salvamento de los dos templos de Abu Simbel en el valle de Nubia cubierto por las aguas de la presa de Assuán (figs. 1 y 2).

Morteros epoxi

Se entiende por mortero epoxi el conglomerado que se forma al mezclar íntimamente arena y un aglomerante; en este caso, una formulación epoxi. La formulación aglomera al árido creando, gracias a su excelente adhesividad, un mortero de elevada resistencia. Esta resistencia depende de:

- la clase de árido empleada;
- la relación resina/árido;
- la granulometría del árido.

Uno de los inconvenientes que siempre se les suele poner a los morteros epoxi es la cantidad de aglomerantes que hay que añadirles para su confección. Esto lleva consigo que el precio del metro cúbico de mortero sea excesivo, alrededor de unas 30.000 pesetas, empleando una relación resina/árido en peso de 1/7, la cual es una relación corriente en este tipo de morteros. Desde este punto de vista, son particularmente interesantes los morteros pobres, denominando mortero pobre a la mezcla de un árido exento de finos con la mínima cantidad de resina precisa para su confección y, desde luego, sin nada de cemento.

Por estimarlos económicos, dentro de sus excelentes cualidades, es por lo que prestamos mayor atención en nuestro estudio sobre morteros, a este tipo particular; de aquí que hayamos realizado todo un programa de ensayos destinado a conocer bien las características de los mismos y, por tanto, sus posibilidades.

La resina utilizada en nuestros ensayos de morteros ha sido la Araldite GY 250 de la casa Ciba.

El árido empleado ha sido arena normalizada del Instituto Eduardo Torroja, cuya curva granulométrica está comprendida dentro de la zona delimitada por las dos curvas del gráfico I.

Necesidades mínimas de resina

En los morteros pobres la resina tiene por misión unir los granos del árido entre sí, mojándolos y recubriéndolos completamente de una película epoxi.

Es evidente que la granulometría del árido tendrá una gran influencia en la cantidad de resina que haya de emplearse. También influye en la cantidad de resina a emplear la viscosidad de la formulación. Cuando las formulaciones son muy fluidas admiten mayores cantidades de áridos que cuando son viscosas.

Para estudiar la cantidad mínima de resina necesaria en la confección de un mortero pobre, se ha partido de la granulometría de la arena normalizada, a la que se le fueron quitando algunos tamaños, empezando por las fracciones más finas y, de esta forma, se fueron

gráfico I

ZONA GRANULOMETRICA ADMISIBLE PARA LAS ARENAS NORMALIZADAS (B.O. del E. 26-I-1960)

3

obteniendo relaciones entre la granulometría adoptada y la cantidad mínima de resina requerida. Así, pues, a la arena normalizada preparada por el Instituto Eduardo Torroja se le quitó primero el tamaño más fino ($< 0,09$); luego, los dos más finos ($< 0,15$); después, los tres más finos ($< 0,25$), y así sucesivamente.

Cantidades constantes de los áridos, así formados, se mezclaron con cantidades también constantes de Araldite y se observó claramente que, mientras los áridos que contenían finos presentaban gran dificultad para la mezcla, dando la sensación de falta de resina, los áridos formados con los tamaños mayores se mezclaban perfectamente e, incluso, sobraba resina.

4

Como consecuencia de este estudio se eligió para hacer los ensayos el árido compuesto por granos de tamaño comprendido entre 1,2 y 2,0 mm (gráfico I).

Resistencias mecánicas en función de la dosificación

Una vez determinada la granulometría más conveniente, se empleó el árido obtenido en la confección de morteros, en los que se varió la relación resina/árido a fin de estudiar el crecimiento de las resistencias mecánicas en función de la cantidad de resina empleada, pues pueden existir casos de reparaciones en las que el precio de la aplicación quede relegado a un segundo término ante la rapidez y resistencia conseguida.

Para este ensayo, así como para los siguientes, se operó con probetas prismáticas de $4 \times 4 \times 16$ centímetros.

El aspecto de algunos de estos morteros puede verse en la figura 3, en la que, junto a cada probeta cúbica, figura la relación resina/árido con que está confeccionada.

Para cada proporción de mezcla se moldearon seis probetas prismáticas, que se compactaron en la compactadora que normalmente se emplea en los ensayos de morteros de cemento. El aspecto de una de estas probetas puede verse en la figura 4.

Desde su fabricación y hasta el momento de su rotura, que se efectuó cuando las probetas tenían 3 días de edad, la conservación se hizo al aire en el ambiente de laboratorio. Las roturas se realizaron a flexotracción y a compresión, siendo los valores obtenidos los que aparecen representados en los gráficos II y III y que se indican en la tabla I.

gráfico II

gráfico III

TABLA I

Resina/árido (en peso)	Flexotracción (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)
1/5	> 125	792
1/10	109	386
1/15	77	275
1/18	59	211
1/20	60	188
1/22	57	160
1/25	60	164
1/30	50	154
1/35	38	96

Para continuar los ensayos se eligió el mortero de relación resina/árido igual a 1/20, por ser esta relación la más adecuada para morteros pobres, debido a que no mojaba excesivamente a los granos de áridos y a que las resistencias conseguidas eran bastante aceptables.

Resistencias mecánicas en función de la edad

Una de las buenas propiedades de las resinas epoxi es que los morteros con ellas fabricados alcanzan rápidamente las resistencias finales y éstas se mantienen de una forma estable a lo largo del tiempo, según hemos podido comprobar.

El plan de ensayos para comprobar estos extremos ha consistido en la rotura de probetas prismáticas, a las edades de 6 horas, 1 día, 2 días, 3 días, 7 días, 1 mes, 3 meses, 6 meses y 1 año. Todas las probetas se hicieron con morteros de relación de resina/árido igual a 1/20 y la confección de las mismas se realizó en idénticas condiciones para todas ellas.

Para cada edad se moldearon seis probetas que se conservaron —hasta el momento de su rotura a flexotracción y compresión— al aire y en ambiente de laboratorio. Los resultados de estas roturas son los que se indican en la tabla II y aparecen representados en los gráficos IV y V.

Como puede apreciarse, antes de las 6 horas las resistencias eran despreciables. Quizás aumentando la proporción de acelerador en la formulación, las resistencias se habrían alcanzado en un tiempo más corto. Con la formulación empleada, las resistencias se estabilizan a los 7 días.

TABLA II

EDAD	Flexotracción (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)
6 horas	Despreciable	Despreciable
1 día	30	143
2 días	53	190
3 días	68	187
7 días	65	203
1 mes	67	214
3 meses	69	204
6 meses	67	190
1 año	73	225

gráfico IV

gráfico V

Peso específico aparente

Al carecer de finos el mortero que nos ocupa era de suponer que fuese bastante ligero; por tanto, convenía determinar su peso específico aparente para compararlo con el del mortero de cemento portland, ya que en algún caso puede ser interesante conocer la ligereza del material.

La determinación se realizó sobre seis probetas prismáticas de relación resina/árido igual a 1/20, siendo el peso específico hallado, media de seis determinaciones, de 1,60 kg/dm³.

Absorción

Era de esperar que fuese muy pequeña debido a la porosidad macroscópica del mortero.

La determinación se realizó sumergiendo las probetas prismáticas en agua durante 3 días, al final de los cuales las probetas no absorbían más agua; esto pudo comprobarse por haber llegado éstas a la constancia de peso.

La absorción obtenida como media de tres determinaciones fue del 4,8 por 100.

Las probetas se dejaron sumergidas después de realizada esta determinación, durante 6 meses en agua para proceder a esta edad a su rotura.

Succión capilar

Debido a la porosidad macroscópica del mortero, se esperaba que la succión capilar fuese pequeña.

Para realizar este ensayo, las probetas prismáticas se desecaron en estufa a 110°C, hasta la constancia de peso. Una vez desecadas se introdujeron en una cubeta con agua, cuyo nivel se encontraba sólo a 3 mm sobre la parte inferior de las probetas que estaban situadas con una cara, de 4 × 16 cm, en contacto con el agua. Las probetas estuvieron en agua 1 minuto, procediéndose a continuación a su secado exterior con un paño húmedo y a su pesado para determinar el agua succionada.

La succión capilar en gr/cm² · min, obtenida como media de tres determinaciones, resultó ser de: 0,021 gr/cm² · min.

Durabilidad

Sólo nos hemos ocupado de la durabilidad de los morteros epoxi frente a los agentes físicos, prestando especial atención al estudio de la variación de las resistencias mecánicas en función de la temperatura de las probetas y de su estado de conservación, en seco o en agua. De aquí que hayamos realizado ensayos tendentes a comprobar el efecto de las altas y bajas temperaturas y el efecto de la conservación en agua.

A. Efecto de las altas temperaturas

Se ha realizado este ensayo sobre probetas prismáticas con relación resina/árido igual a 1/20 y edad de 7 días. Para cada temperatura se han confeccionado seis probetas.

Las probetas se mantuvieron durante 8 horas en un horno eléctrico a la temperatura de ensayo, rompiéndose posteriormente y después de 24 horas de enfriamiento a flexotracción y a compresión, siendo los valores obtenidos los que figuran en la tabla III.

TABLA III

Temperatura de tratamiento (°C)	Flexotracción (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)
Ambiente	65	204
100	68	241
150	81	285
200	55	168
400	0	0

Después del ensayo a 100°C, las probetas estaban ligeramente tostadas. Las probetas tratadas a 150°C se encontraban muy tostadas al salir del horno; las calentadas a 200°C presentaban una coloración muy oscura; y las calentadas a 400°C no soportaron el ensayo, quedando reducidas a un montón de arena al quemarse totalmente la resina.

Una de las probetas tratadas a 100°C se rompió en caliente, y se observó que la probeta sufría una gran deformación antes de su rotura. Esta fue la razón que nos indujo a esperar 24 horas de enfriamiento antes de proceder a la rotura.

B. Efecto de las bajas temperaturas

Se realizó este ensayo sobre probetas prismáticas con relación resina/árido igual a 1/20 y edad de 3 meses.

Las probetas primero se sumergieron en agua dulce a una temperatura de 15°C durante 20 horas; después se pasaron a una cámara frigorífica a —5°C, durante 4 horas, al final de las cuales volvían a sumergirse en agua a 15°C, durante otras 20 horas. Estos ciclos se repitieron 10 veces, observándose al final de los mismos que las probetas no presentaban pérdida de vértices ni aristas, ni cualquier otro desperfecto que pudiese ser reconocido a simple vista. Finalmente, las probetas se rompieron a flexotracción y a compresión, obteniéndose los resultados que aparecen en la tabla IV y que son media de las determinaciones efectuadas sobre seis probetas.

TABLA IV

Tratamiento	Flexotracción (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)
No	68	204
Sí	28	139

C. Efecto de la conservación en agua

Las tres probetas utilizadas en el ensayo de absorción se mantuvieron durante 6 meses sumergidas en agua. A esta edad se rompieron a flexotracción y a compresión, obteniéndose los resultados indicados en la tabla V.

TABLA V

Conservación	Flexotracción (kg/cm ²)	Compresión (kg/cm ²)
Aire	67	190
Agua	24	122

Formulación empleada

Para todos los ensayos descritos de morteros epoxi, se empleó la formulación facilitada por la Casa Ciba que damos a continuación:

Araldite GY 250	100 partes en peso.
Endurecedor HY 830	60 » » »
Acelerador DY 830	2 » » »

Teniendo en cuenta que la resina GY 250 es muy viscosa a la temperatura ordinaria, se recurrió a calentarla al baño María a 40°C, antes de su empleo.

Comparación entre morteros epoxi y morteros de cemento

De los ensayos anteriores podemos sacar una serie de conclusiones en cuanto a las propiedades mecánicas de los morteros de resina epoxi. Comparando estas propiedades con las de un mortero normal de cemento portland vemos las grandes ventajas que poseen los primeros.

Las buenas propiedades de un mortero de cemento y, por tanto, de un hormigón son, entre otras, las siguientes:

- alta resistencia a compresión;
- facilidad de puesta en obra;
- bajo precio.

Sus inconvenientes son:

- débil resistencia a tracción;
- adherencia muy limitada de hormigón nuevo a hormigón endurecido;
- estanquidad al agua limitada;
- mala resistencia a la acción de agentes químicos;
- poca rapidez en alcanzar las resistencias finales.

Las ventajas de los hormigones las poseen por exceso los morteros de resina, salvo la de su bajo precio; pero, sin embargo, no poseen sus inconvenientes, siendo sus resistencias a tracción bastante elevadas, su adherencia perfecta, su estanquidad muy buena, y extraordinaria su resistencia a la acción de los agentes químicos.

Comparando las características mecánicas de dos morteros de resina epoxi confeccionados con Araldite GY 250, con relaciones resina/árido de 1/5 y 1/20, estando el primero de ellos fabricado con arena normalizada y el segundo realizado con los tamaños que hemos considerado en nuestro anterior estudio, con las características mecánicas de un mortero normal de cemento P-350, se tienen las diferencias aproximadas que se dan en la tabla VI.

TABLA VI

PROPIEDADES	Mortero normal de cemento P-350	Mortero normal epoxi $r/a = 1/5$	Mortero epoxi $r/a = 1/20$
Peso específico aparente	2,4 kg/dm ³	2,1 kg/dm ³	1,6 kg/dm ³
Resistencia a compresión	370,0 kg/cm ²	925,0 kg/cm ²	188,0 kg/cm ²
Resistencia a flexotracción	68,0 kg/cm ²	> 125,0 kg/cm ²	60,0 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	300.000,0 kg/cm ²	160.000,0 kg/cm ²	—

Les mortiers epoxi dans la construction

Manuel Fernández Cánovas, ingénieur d'armement et de construction

Depuis quelques années les résines epoxi trouvent une plus grande application dans le domaine de la construction, grâce à leurs excellentes propriétés et à une technologie de plus en plus perfectionnée, qui permettent de résoudre, avec succès, beaucoup de problèmes délicats de plus en plus difficiles.

L'auteur rend compte des travaux qu'il a réalisés sur des mortiers epoxi, comme partie d'un ample plan d'essais expérimentaux entrepris par l'Institut Eduardo Torroja.

Cette étude se rapporte aux mortiers epoxi pauvres, étant entendu que cette dénomination s'applique au mélange d'agrégat exempt de granulats fins et de la quantité minimale de résines nécessaire pour leur élaboration, ainsi qu'aux influences de la granulométrie du sable sur la quantité de résine à employer, du dosage et de l'âge sur la résistance mécanique et des propriétés physiques des mortiers ainsi formés.

Epoxi mortars in construction

Manuel Fernández Cánovas, armaments & construction engineer

Epoxi resins are being increasingly applied in construction in recent years. This is due to their excellent properties and an improving technology, which enables these resins to be applied to more delicate and difficult uses.

This article describes the work done by the author as part of an extensive program of experimental work at the Instituto Eduardo Torroja laboratory.

This program of work refers particularly to mortars with a low content of epoxi resins. By this is meant a mixture of none fine aggregate with the least quantity of resin necessary to obtain a suitable bond. The investigation involved a study of the proportioning of sand and resin, the relation between proportioning, the age and the mechanical strength and also the physical properties of the resulting mortars.

Die Epoxi-Mörser im Bauwesen

Manuel Fernández Cánovas, Bauingenieur

In den letzten Jahren finden die Epoxi-Harze eine immer grössere Anwendung auf dem Gebiet des Bauwesens. Dies ist auf ihre hervorragenden Eigenschaften und auf eine immer vollkommenere Technik zurückzuführen. Somit ermöglichen sie die Lösung vieler Probleme, deren Schwierigkeitsgrad täglich zunimmt.

Der Autor gibt in diesem Artikel einen Bericht über die mit Epoxi-Mörsern durchgeführten Arbeiten, die Teil eines grossen Versuchsprogramms darstellen, das in den Laboratorien des Eduardo Torroja Instituts entwickelt wird.

Dieser Artikel befasst sich mit den einfachen Epoxi-Mörsern, unter denen man das Gemisch aus dem Zuschlag ohne Feinsubstanzen mit der für die Herstellung kleinstmöglicher Harzmenge versteht. Die Arbeit behandelt den Einfluss der Korngrösse des Sandes auf die erforderliche Harzmenge, der Dosierung und des Alters auf den mechanischen Widerstand, sowie der physikalischen Eigenschaften dieser Mörser.