

REPARACIONES Y REFUERZOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON MEDIANTE RESINAS EPOXI

Manuel FERNANDEZ CANOVAS*

RESUMEN

En este trabajo se hace ver que las resinas epoxi pueden ser una buena solución para muchos casos de reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado. Se muestra que son aplicables para unir o sellar fisuras o grietas, para obtener juntas de hormigonado monolíticas y para reforzar pilares y vigas. En cada caso se describen los procedimientos de utilización de la resina y se ilustran con ejemplos de aplicaciones realizadas con buenos resultados.

INTRODUCCION

En estos últimos años se esta empleando mucho la palabra *Patología* al hablar de construcción y así no es de extrañar el encontrarnos con libros de publicación reciente que se titulan *Diagnóstico de enfermedades de obras, Patología de las obras de fábrica, etc.*

Este aprovechamiento del argot médico por el léxico constructivo, puede parecer en principio y sobre todo al profano, una cursilada, un querer complicar las cosas buscando similitudes un tanto forzadas, sin embargo, nada hay tan cierto en que estas similitudes existen puesto que son consecuencia de unas leyes comunes a ambos pacientes: obra o edificio y obra o ser vivo.

En este artículo nos vamos a referir a una parte del edificio, a una parte fundamental del mismo, a su osamenta, a la estructura. Vamos a actuar un poco de traumatólogos de nuestra construcción, puesto que partimos del convencimiento de que nuestras estructuras podemos asimilarlas a seres vivos, seres vivos

*Dr. Ingeniero de Construcción del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, España.

que se engendran en la mente del proyectista, que nacen y crecen con más o menos cuidados durante su construcción y que al final, llegan a un estado de desarrollo a partir del cual están en condiciones de valerse por sí solos.

Indiscutiblemente, la fortaleza y durabilidad de una estructura al igual que la de un ser vivo, dependerá de los cuidados que se hayan tenido con ella, no sólo durante el período de crecimiento (construcción) sino también durante el resto de su vida. La obra, al igual que el ser vivo, se encuentra sometida a la acción de los elementos: la temperatura, la humedad, los vientos, las heladas, etc., pero también tiene que soportar unas acciones de tipo mecánico que pueden cansarla, fatigarla e incluso lastimarla. Por consiguiente, los cuidados y la vigilancia, si bien son importantísimos e imprescindibles durante su crecimiento o construcción y de ellos dependerá mucho la vida de la obra, no hay que pensar que terminarán con la realización de la misma, sino que luego hay que seguir prodigándolos.

Por último, la obra, con el paso del tiempo, envejece en un proceso continuo, más o menos lento de degradación de los materiales que la componen.

Al igual que en las personas, hay estructuras sanas y estructuras enfermas. Estas últimas son las que han tenido un desarrollo poco feliz, bien por defectos en su gestación (proyecto) o bien por pocos cuidados y vigilancia en su crecimiento (ejecución), o durante su vida (conservación). A estas estructuras enfermas nos vamos a referir en lo sucesivo.

Las enfermedades en las estructuras se manifiestan con una sintomatología variada (cambios de coloración, fisuras, descarrilamientos, hinchazones, etc.). Ante esta sintomatología el ingeniero tiene que establecer un diagnóstico. En muchas ocasiones, la visualización basta, es decir, la visita al enfermo y un buen ojo clínico nos permiten conocer, sin más, su enfermedad. En otras, el problema es complejo y, para diagnosticar hemos de estudiar el historial del paciente (estudio del proyecto) y realizar una serie de análisis, más o menos extensos, (análisis esclerométricos del hormigón, toma de probetas testigo, localización de las armaduras por medio de rayos X, isótopos radioactivos, etc.) e incluso llegamos a tomarle la tensión a la estructura (medidas con strain gages, flexímetros, etc.).

A la vista de la enfermedad, y una vez determinados los motivos que la han producido, hemos de pronosticar la posibilidad de devolverle la solidez, es decir, la salud. El pronóstico está influenciado por el tratamiento. Hay lesiones que con un acertado medicamento (refuerzo) van a evolucionar favorablemente, en cambio, hay otras alteraciones de tan gran dimensión que no va a ser posible cambiar su evolución, estando por consiguiente el enfermo condenado a morir, es decir, en el caso de nuestra estructura condenada a la demolición.

Dentro de los tratamientos y al igual que en Medicina se abrió una nueva era con la aparición de los antibióticos, en el caso de la Construcción, lo hemos tenido casi simultáneamente, con la aparición de las resinas sintéticas y, concretamente, con las resinas epoxi.

Podemos decir hoy, estableciendo un paralelismo entre las dos ciencias, que si los antibióticos han venido a curar enfermedades que antes no tenían solución,

o la tenían muy mala por otros procedimientos, las resinas epoxi han ejercido el mismo papel, solucionando problemas hasta hace poco insolubles y tornando el pronóstico a que antes nos referíamos de fatal a optimista.

Quiero presentar en este trabajo algunos casos clínicos, llamándolos así para continuar la similitud médica, que se nos han presentado y en los que el tratamiento adecuado han sido las resinas epoxi.

Antes de continuar es preciso tener en cuenta los cinco pasos a seguir en cualquier reparación o refuerzo y que podemos resumirlos en los siguientes:

Encontrar el deterioro. Esto exige saber lo que hay que encontrar, cómo y dónde encontrarlo.

Determinar la causa que lo ha producido.

Evaluar la resistencia de la obra en el estado en que se encuentra.

Proyectar la reparación a realizar y

Elegir y poner a punto un método de reparación o refuerzo.

Veamos a continuación algunos tipos de reparaciones o de refuerzos que se presentan con más frecuencia en estructuras lineales de hormigón.

GRIETAS Y FISURAS

A menudo nos encontramos con estructuras que presentan grietas o fisuras, que se han producido por motivos de retracción del hormigón, de origen térmico, o de sollicitaciones externas. Estas últimas pueden ser debidas a defectos de cálculo o de ejecución, que han dado lugar a que las resistencias sean menores que las previstas, con lo que la solución puede estar en un refuerzo del que luego nos ocuparemos. Sin embargo, y aparte de estos refuerzos, en muchos casos se hace imprescindible cerrar la fisura, no solo con el fin de evitar una posible corrosión de las armaduras, sino también para darle monolitismo al hormigón y que pueda soportar los esfuerzos a que se va a encontrar sometido.

Las fisuras de retracción aparecen como consecuencia de las tracciones que provoca este fenómeno, cuando se encuentra impedido el libre acortamiento de la pieza.

Cuando se trata de piezas lineales, las fisuras de retracción aparecen perpendiculares al eje de la pieza, con espesores que algunas veces van desde la centésima hasta algunos milímetros y que seccionan totalmente al elemento estructural. Esto es muy frecuente en vigas muy largas y que tengan su acortamiento coaccionado por pilares o por empotramiento. En tales circunstancias puede salir una fisura aislada en la mitad de la luz, ayudada muchas veces por la flexión provocada por las cargas, o bien, y esto es lo más probable, aparecen fisuras próximas a los extremos de las vigas.

El fenómeno de retracción puede ser también importante en muros de hormigón y en este caso aparece una grieta vertical que se va cerrando conforme se

aproxima a la cimentación, debido a que al estar en ésta el hormigón en contacto con el terreno, se encuentra húmedo y, por consiguiente apenas si retrae, mientras que en la cabeza del muro que es la zona más seca, es donde aparece la fisura más abierta.

En las Figs. 1 y 2 se muestran estos tipos de fisuras en forma esquemática.

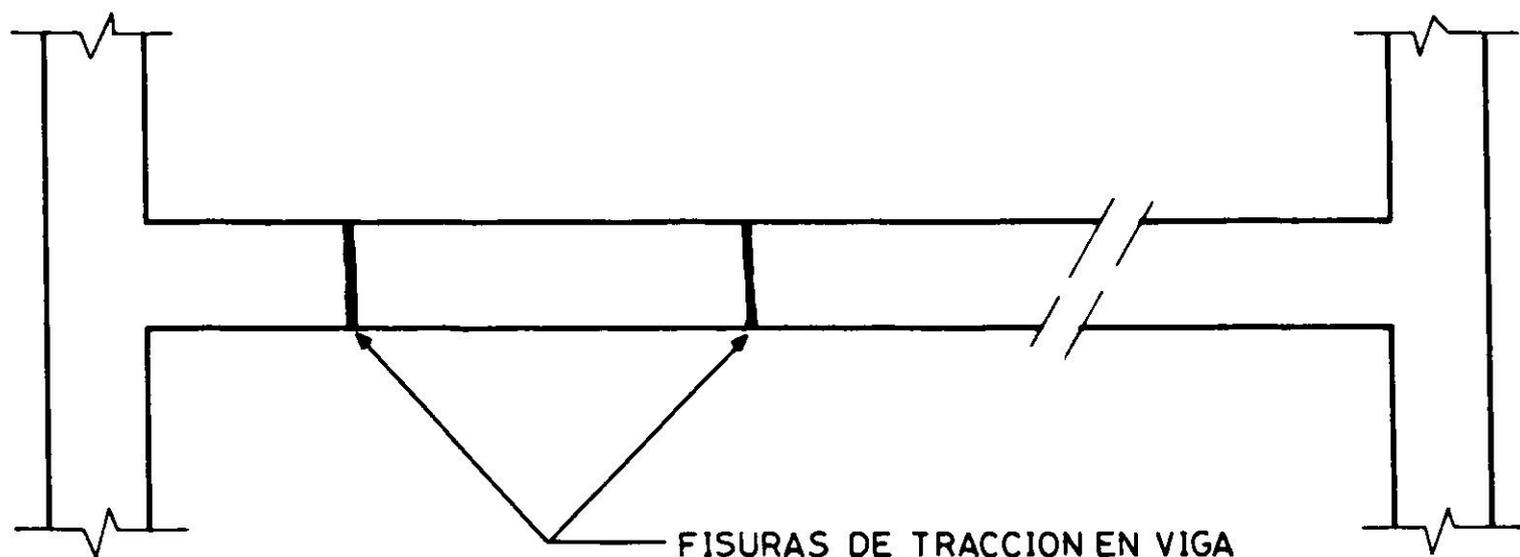


Fig. 1. Agrietamiento de una viga por flexión.

Muy importantes son también las fisuras de retracción en depósitos de mucho diámetro que posean losas de gran rigidez. En estos casos las fisuras son verticales, al igual que en los muros y su importancia es trascendental, por la falta de estanquidad que dan al depósito.

En los problemas que se nos han presentado en este campo, merecen destacarse las fisuras de retracción de cinco milímetros de espesor y totalmente verticales, aparecidas en las vigas de un pórtico de 44 m de longitud, que se había dosificado con una dosificación de cemento alta. Estas fisuras aparte de romper la continuidad de la viga, creaban una puerta abierta a la corrosión de las armaduras. La solución radicó en una inyección epoxi.

En muchas ocasiones, una deficiencia en la colocación correcta de las armaduras en estructuras especiales, puede ser motivo de una grave fisuración del hormigón.

Veamos un caso concreto. Se trata de unos silos de una fábrica de cemento, en los que una losa de 1,50 m de espesor soportaba el peso de cuatro silos destinados a contener yeso, arcilla y caliza molidos. Al llenar por primera vez los silos, apareció una fuerte fisuración en la losa de hormigón sobre la que descansaban los silos y esto a pesar de que sólo se habían cargado en un 75 por 100 de su capacidad. Rápidamente se interrumpió la carga y se hizo una revisión del proyecto, comprobando que el cálculo había sido perfecto. Se procedió entonces a hacer una inspección de la obra y, al descarnar en algunos puntos el hormigón, se observó que los redondos no estaban colocados en su correcta posición y, que además, había habido cambios de secciones de las armaduras con respecto a las

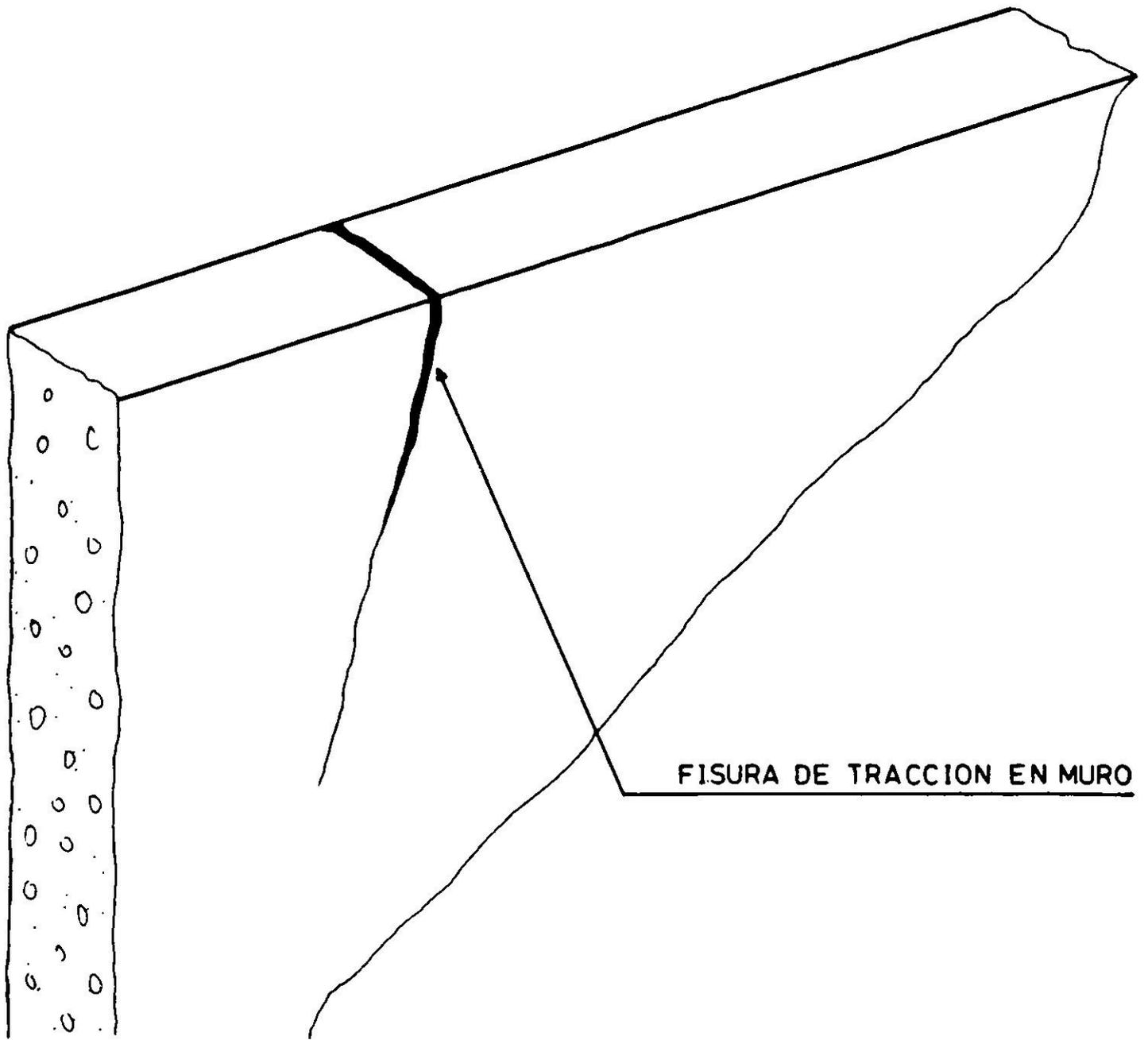


Fig. 2. Agrietamiento de un muro.

previstas en el proyecto. La solución más rápida estaba en postensar la losa por medio de cables colocados en el contorno de la misma, pero dado que los esfuerzos de postensado iban a ser muy elevados, existía el peligro de que los planos de fisuración actuaran como planos de deslizamiento, poniendo en peligro toda la estructura. Ante esta situación decidimos unir el hormigón y darle monolitismo mediante una inyección epoxi. Una vez realizada ésta, se procedió a montar las cabezas de postensado y se ejecutó el mismo. La obra quedó perfecta y la reparación se hizo en un tiempo bastante breve.

Como estos ejemplos de obras cabría poner muchos otros muy importantes que se han realizado con pleno éxito y con un costo reducido, ya que la cantidad de resina que se suele gastar en estas inyecciones es en la mayor parte de los casos ridícula, y, por supuesto, el costo de este tipo de reparaciones es una fracción pequeña del que supondría rehacer totalmente la obra.

Las inyecciones se efectúan, en general, de una forma bastante simple, no requiriéndose más aparato especial que un inyector, que normalmente trabaja a

presiones inferiores a 10 kgf/cm^2 (0.98 MPa). La bomba inyectora puede ser manual o mecánica.

La inyección permite el cierre y la unión del hormigón en grietas capilares del orden de hasta 5 micras, sin exigir grandes presiones, pero sí mediante el empleo de formulaciones epoxídicas de viscosidades bajísimas, que en casos determinados pueden tener la fluidez de un alcohol.

En grietas del orden de milímetros de espesor, para realizar la inyección se colocan boquillas separadas unos 50 cm aproximadamente o en puntos donde las grietas se bifurquen. Previamente a la colocación de estas boquillas hay que hacer una abertura en forma de V a todo lo largo de la grieta que se sella por medio de una pasta epoxi muy tixotrópica que tiene por finalidad impedir que durante la inyección la formulación se escape al exterior; al mismo tiempo esta pasta de sellado externo sirve para fijar las boquillas de inyección. Cuando la fisura es fina cabe incluso pegar por su parte externa, en vez de esta masilla o pasta epoxi, un simple papel adhesivo e incluso extender con espátula, sin abrir el surco en V a que antes nos referíamos, una masilla de poliéster.

La inyección se realiza roscando el inyector al tubo o boquilla, inyectando y parando la inyección cuando la resina sale por el tubo más próximo al de inyección, que actúa ahora como rebosadero de resina facilitando también la salida al exterior del aire contenido en la fisura. Cuando esto ocurre, se cambia el inyector al siguiente tubo y se repite la operación hasta el total llenado de la fisura.

Si la fisura a inyectar estuviese húmeda es necesario proceder a su secado antes de realizar la inyección y esto puede lograrse introduciendo por los tubos una corriente de aire caliente seco. Como normalmente el aire procedente de los compresores tiene una gran cantidad de humedad, se hace necesario antes de inyectarlo desecarlo pasándolo por un depósito que contenga cloruro cálcico.

Este sistema de inyección de resinas se ha empleado eficazmente en el cierre de fisuras aparecidas en presas, vigas postensadas, edificios fisurados por la acción de terremotos, etc., y en todos los casos en que la inyección se ha realizado adecuadamente, se ha logrado el cierre total de la fisura y la perfecta continuidad del hormigón.

Hasta aquí hemos tratado de dar continuidad y monolitismo al hormigón mediante la inyección de una resina que una los dos hormigones, pero hemos de tener en cuenta que existen dos tipos de fisuras o grietas: unas grietas "muertas", es decir sin movimiento que son las tratadas anteriormente y que suelen estar producidas por efectos de retracción, por efectos mecánicos anormales, etc., y otras grietas que denominamos "vivas" porque tienen movimiento, su espesor es variable según las condiciones externas a que se encuentre sometido el elemento estructural. Estas grietas son las producidas por efectos térmicos, efectos de carga y descarga de estructuras, etc. Las primeras grietas, las muertas, son fáciles de inyectar y se puede conseguir el perfecto monolitismo de la pieza. Las segundas por el contrario, no deben inyectarse debido a que al ser vivas y al volver a tra-

bajar el hormigón a tracción abrirá otra grieta en las proximidades de la anterior o por otra sección cualquiera, con lo cual el problema del monolitismo queda sin resolver. En estos casos es mejor realizar un sellado o un relleno por medio de una formulación elástica que al tener un módulo de elasticidad bajo permita absorber grandes deformaciones sin llegar a la rotura.

Las resinas se presentan en este campo como un valioso auxiliar que nos permite resolver los problemas que se nos presentan con total garantía debido a que es posible disponer de formulaciones elásticas con módulos de elasticidad tan bajos como se quiera. Estas formulaciones llevan en su composición flexibilizadores y cargas a base de bióxido de titanio que permiten darles la tixotropía más adecuada a la aplicación que tratemos de realizar.

Las aplicaciones fundamentales de estas formulaciones son en juntas para artesas de canales que han de estar sometidas a variaciones importantes de temperatura, en el cierre de juntas de terrazas y edificios, en fisuras producidas por variaciones de temperatura, etc. En todos estos casos se puede conseguir un sellado totalmente elástico e impermeable que une los elementos de hormigón pero sin dar el monolitismo que proporcionan las formulaciones rígidas utilizadas en inyecciones. En la Fig. 3 se presenta un ejemplo de aplicación de esta solución en las juntas de una piscina.



Fig. 3. Colocación de epoxi elástica en las juntas de dilatación de una piscina.

En ensayos realizados con este tipo de juntas en el Instituto Eduardo Torroja para su empleo en la reparación del Acueducto de Segovia, se obtuvo un acortamiento del 25 por 100 con tensiones de 16 kgf/cm^2 (1,57 MPa) quedando una deformación remanente del 1 por 100, un acortamiento del 50 por 100 del espesor inicial se conseguía con una tensión de 46 kgf/cm^2 (4,51 MPa) con una deformación remanente del 3,7 por 100. La rotura de la junta sobrevino para una deformación del 60 por 100 y una tensión de $122,4 \text{ kgf/cm}^2$ (11,9 MPa). En cuanto a esfuerzos cortantes una junta de 10 mm de espesor y de $100 \times 50 \text{ mm}$ de sección se deformó 7 mm antes de llegar a la rotura con una tensión de $12,1 \text{ kgf/cm}^2$ (1,18 MPa). En flexión se llegó a ángulos de $4^\circ 10'$ antes de llegar a la rotura. Como se ve, estos valores son muy grandes y están muy lejos de producirse en la práctica, lo que nos permite utilizar estas formulaciones elásticas en el sellado de grietas vivas con total garantía.

La forma de realizar el sellado con formulaciones elásticas consiste en limpiar perfectamente las superficies a unir descarnando el hormigón superficial y eliminando el polvo que pudiese haberse producido. Seguidamente se da una película de imprimación epoxi a los bordes de las juntas a unir y se procede a colar la formulación especial de juntas. Es necesario que durante el tiempo que duren las reacciones de endurecimiento de la formulación y que puede ser variable con las características de la misma y con la temperatura ambiente, se evite la presencia de agua sobre la junta. El agua que puede proceder incluso de una lluvia imprevista nos puede llevar al fracaso.

Uno de los muchos ejemplos de estas realizaciones lo tenemos en el sellado de juntas de dilatación de una piscina olímpica. En este caso las juntas endurecieron a las 36 horas y su comportamiento ha sido perfecto como lo demuestra la no existencia de fugas y el magnífico estado en que se encuentran a los dos años de realizada la reparación.

JUNTAS DE HORMIGONADO

Señalando las ventajas que posee el hormigón como material estructural de construcción se suele decir que principalmente éstas son: su carácter formáceo que permite conseguir por moldeo elementos de la forma que deseemos; su monolitismo estructural que nos permite conseguir estructuras continuas y su posibilidad de integrar la estructura con el resto de la construcción.

La segunda ventaja de monolitismo estructural es cierta, se puede conseguir y de hecho se consigue en muchas obras cuando interesa por alguna razón particular. En los otros materiales estructurales la continuidad entre los distintos elementos realizados con ellos no es perfecta, siempre existen uniones, o conexiones que dan lugar a discontinuidades y que hacen que a la hora de proyectar no nos fiemos totalmente de ellas.

Las soldaduras, los roblonados en estructuras metálicas, los ensambles en

estructuras de madera quitan continuidad a la estructura en un valor mayor o menor que está de acuerdo con la calidad con que se hayan resuelto estas uniones y hasta tal punto es esto cierto, que el proyectista al hacer sus cálculos consideraba hasta hace poco a una gran parte de estos elementos como puramente isostáticos y prescindía totalmente de la capacidad de transmisión de algunos tipos de solicitaciones en algunas uniones.

El gran progreso realizado dentro del campo de la soldadura, la uniformidad del material acero en cuanto a sus características y la posibilidad de conocer el estado y calidad de las soldaduras mediante equipos portátiles fáciles de manejar, de rayos X y de gammagrafía, hicieron que estas estructuras pasasen a considerarse como semi-hiperestáticas y se confiase en que una parte de las solicitaciones a que iba a estar sometido un elemento estructural iba a poder ser resistida por los elementos contiguos, ya que las uniones iban a servir de caminos o puentes para esa colaboración estructural.

Pero, volvamos a nuestro hormigón. Por esa idea que tenemos del monolitismo, le exigimos como si realmente lo fuera y entonces con esa confianza ciega, aplicamos los cálculos hiperestáticos a nuestras estructuras. Pensamos que como no hay soldaduras o roblonaduras no vamos a tener esos caminos angostos por donde se cierran las tensiones de unos elementos a otros y esto realmente sería cierto si de verdad hiciéramos las estructuras monolíticas, desgraciadamente esto no es así y tenemos el problema de las uniones, nuestras soldaduras, que llamamos "juntas de hormigonado".

Estas juntas nuestras están en desventaja con respecto a las metálicas por ejemplo, y es que mientras en éstas se hacen siempre en los encuentros entre elementos estructurales, las juntas de hormigonado las colocamos donde al encargado de obra le parece. Ahora, eso sí, en general la atención que se les presta es nula, la calidad de las mismas muy difícilmente controlable y no obstante qué poco nos preocupan estas juntas.

La Revista del IDIEM publicó en marzo de 1964 un artículo firmado por don Atilano Lamana, titulado *Fallas de juntas de hormigonado, de anclajes y empalmes de armaduras. Terremotos de Chile de 1958 y 1960*. En este artículo se pone de manifiesto cómo debido a estas juntas realizadas en forma defectuosa, los elementos estructurales llegan al agrietamiento o a la rotura bajo solicitaciones muy inferiores a las que estaban previstas. En dicha publicación el Sr. Lamana nos muestra un gran número de fotografías de silos, estructuras, etc., que han fallado precisamente por las juntas de hormigonado.

Todos los que hemos manejado hormigón conocemos lo difícil que es tratar de unir un hormigón fresco con otro ya existente y endurecido, y esto a pesar de los artilugios más o menos complicados de que nos hemos valido buscando siempre una mejor unión. Así, cuando preveíamos que iba a continuar el hormigonado, dejábamos piedras embebidas en su mitad o trozos de acero de espera que actuando como engranajes eliminaban esos planos de deslizamiento que suelen aparecer en las juntas, por último, llegado el momento de hormigonar

descarnábamos el hormigón viejo, lo humedecíamos, echábamos una lechada de cemento o un mortero rico y finalmente hormigonábamos. A pesar de estas precauciones que tomábamos cuando sabíamos que teníamos que continuar el hormigonado, la junta era una discontinuidad, una superficie débil, un plano que no merecía ninguna confianza.

Por otra parte, es muy frecuente el tener que hacer un recrecido de piezas estructurales, el tener que continuar un hormigonado interrumpido por cualquier causa, fríos, falta de materiales, poca definición de la obra, etc., el tener que demoler una parte de hormigón de baja calidad y sustituirlo por otro más resistente, etc.

En todos estos casos nos aparecen estas uniones de hormigones de distinta edad que hasta hace poco tanto nos preocupaban y digo hasta hace poco, porque hoy con el empleo de formulaciones epoxi muy simples, el problema está totalmente resuelto, una muestra de la eficacia de las uniones con epoxi se presenta en Fig. 4. En ensayos realizados en el Instituto Eduardo Torroja, de Madrid hemos

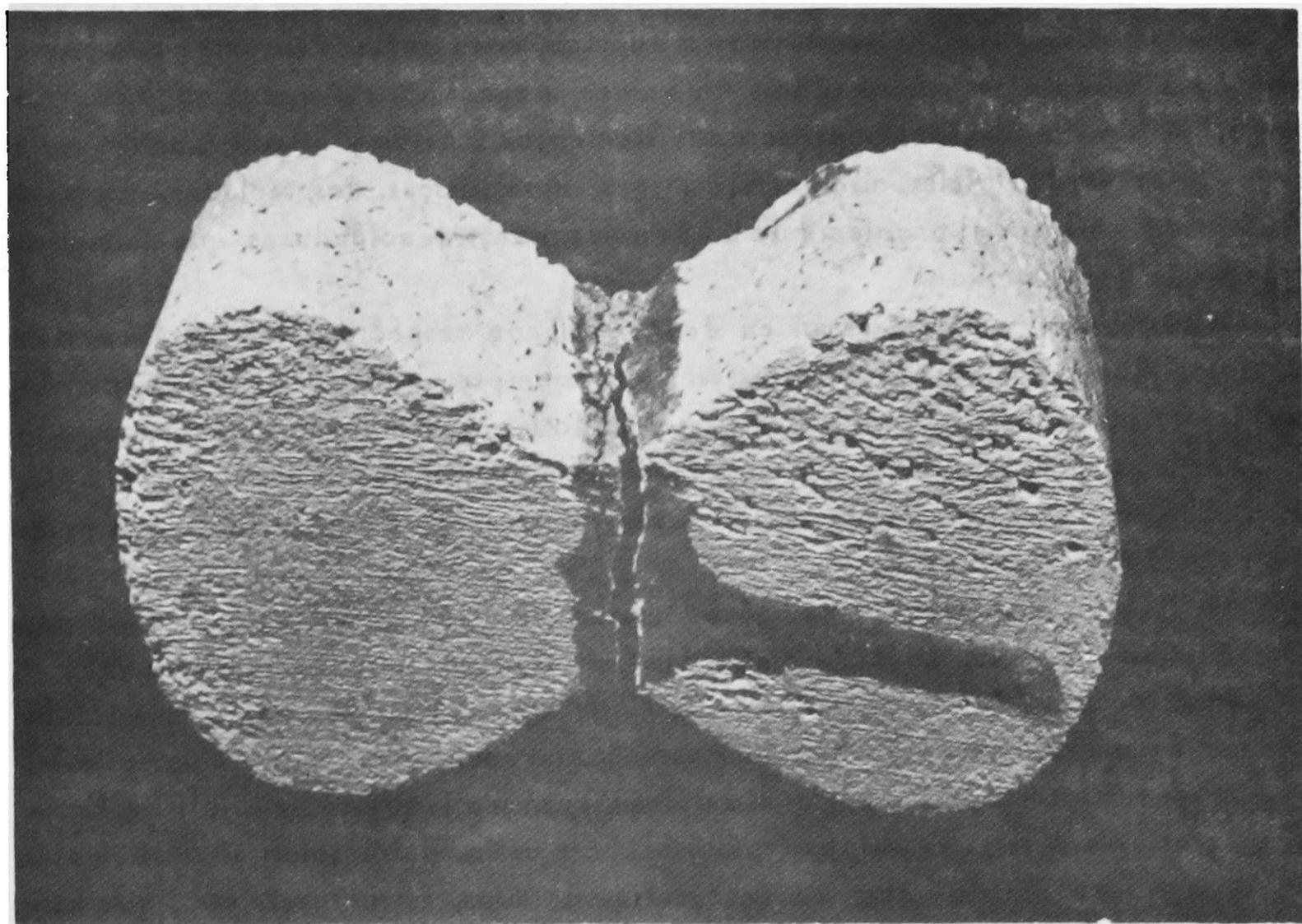


Fig. 4. Probeta rota por tracción, unida mediante resinas epoxi y vuelta a romper. La sección de rotura es distinta a la de la unión.

podido comprobar cómo vigas formadas por hormigones de distintas edades unidas por medio de un adhesivo epoxi, al ensayarlas a flexión, se rompían siempre fuera de la zona de unión, es decir, por el hormigón, demostrando que la unión era mucho más resistente que el propio hormigón, como se puede ver en Fig. 5.

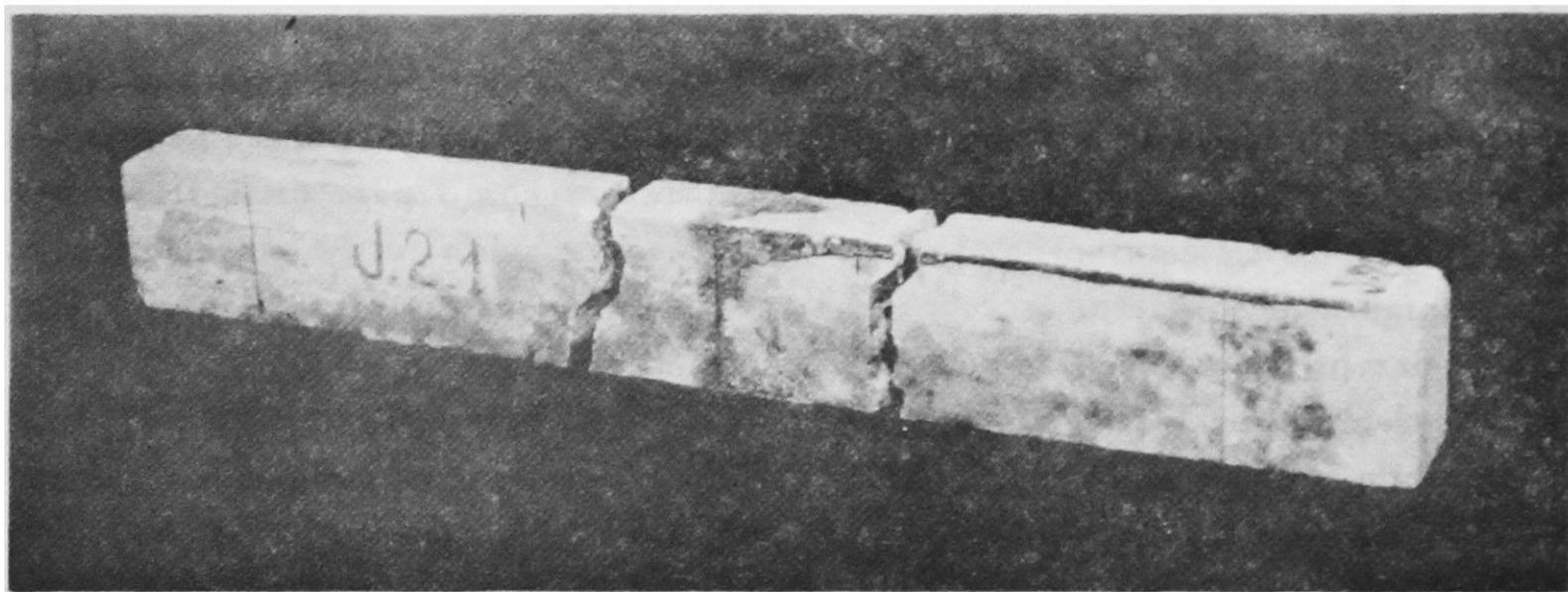


Fig. 5. Viga de hormigón realizada en dos tramos unidos mediante resinas epoxi. La rotura a flexión de la misma ocurre en secciones diferentes a la de unión.

La eficacia de este comportamiento demostrada en el Laboratorio ha sido confirmada por la práctica en todos los trabajos que hemos tenido ocasión de realizar de unión de hormigones. Son varias las obras en las que hemos tenido que recrecer pilares a base de dar resinas en algunos de sus paramentos y hormigonar posteriormente. En todos estos casos el sistema ha sido descarnar hasta la armadura, soldar la nueva, dar resina a la superficie del hormigón descarnado y volver a hormigonar.

La técnica seguida para la unión de hormigones de distintas edades, consiste en realizar una limpieza de la superficie del hormigón antiguo, mediante chorro de arena, escodado o martillo neumático de aguja fina. Con esta limpieza se trata de eliminar las partículas mal sujetas de hormigón, el mortero y la lechada de baja resistencia. A continuación se limpia el polvo con chorro de aire comprimido y se aplica sobre el hormigón una película de resina epoxi. Acto seguido, se procede a colocar en su lugar el hormigón fresco, procurando hacerlo siempre antes de que haya endurecido la resina. En este punto radica una de las misiones del técnico, que consiste en preparar una formulación rápida o lenta de acuerdo con las circunstancias; así por ejemplo, si el tiempo es caluroso, lo que da lugar a una aceleración de las reacciones entre los componentes de la formulación, o si ha de pasar un tiempo determinado entre la aplicación de la película epoxi y el hormigón, debido a tener que colocar encofrado, etc., el técnico tendrá en sus manos el preparar una formulación lo suficientemente lenta para que dé tiempo a que la aplicación esté mordiente cuando vayamos a colocar el hormigón.

En cuanto a las propiedades del hormigón fresco a utilizar, cabe decir que su consistencia debe ser tan seca como sea posible de acuerdo con los medios de puesta en obra de que dispongamos.

Cuando se sigue una buena técnica de empleo, los resultados son sorprendentes. Como ejemplos, traemos el caso de unos depósitos de hormigón armado para vino, con una capacidad cada uno de 2 250 000 litros. Estos depósitos tenían 12 m de diámetro y 20 m de altura. Debido a la retracción del hormigón (el perímetro era de 38 m y el hormigón con alta dosificación de cemento) y a tensiones

que aparecen en el centro como consecuencia de los empujes transmitidos por un fondo de separación en forma de casquete esférico situado en la mitad de la altura de los depósitos, los depósitos se fisuraron longitudinalmente. Las fisuras eran capilares pero lo suficientemente importantes como para no cerrarse por ninguno de los sistemas probados: bentonitas, colocación interior de mallazo y revestimiento de mortero, etc. Ante este continuo fracaso que suponía un derroche de tiempo y de dinero, se pensó en las resinas epoxi.

El sistema que adoptamos fue descarnar el hormigón a todo lo largo de la fisura abriendo brechas que llegaban a la mitad del espesor de las paredes, dar a continuación una película epoxi y hormigonar. El éxito fue rotundo y las fugas desaparecieron por completo en los tres depósitos reparados.

Otros ejemplos los tenemos en el recrecimiento de unos pilares de arranque de 80 x 110 cm en una torre en construcción en AZCA de Madrid. En la unión de zunchos y vigas de borde en aberturas hechas en forjados planos reticulares, etc. En todas las reparaciones realizadas hasta la fecha, el comportamiento de la reparación podemos calificarlo como excelente. Las Figs. 6 y 7 ilustran algunos de estos ejemplos.

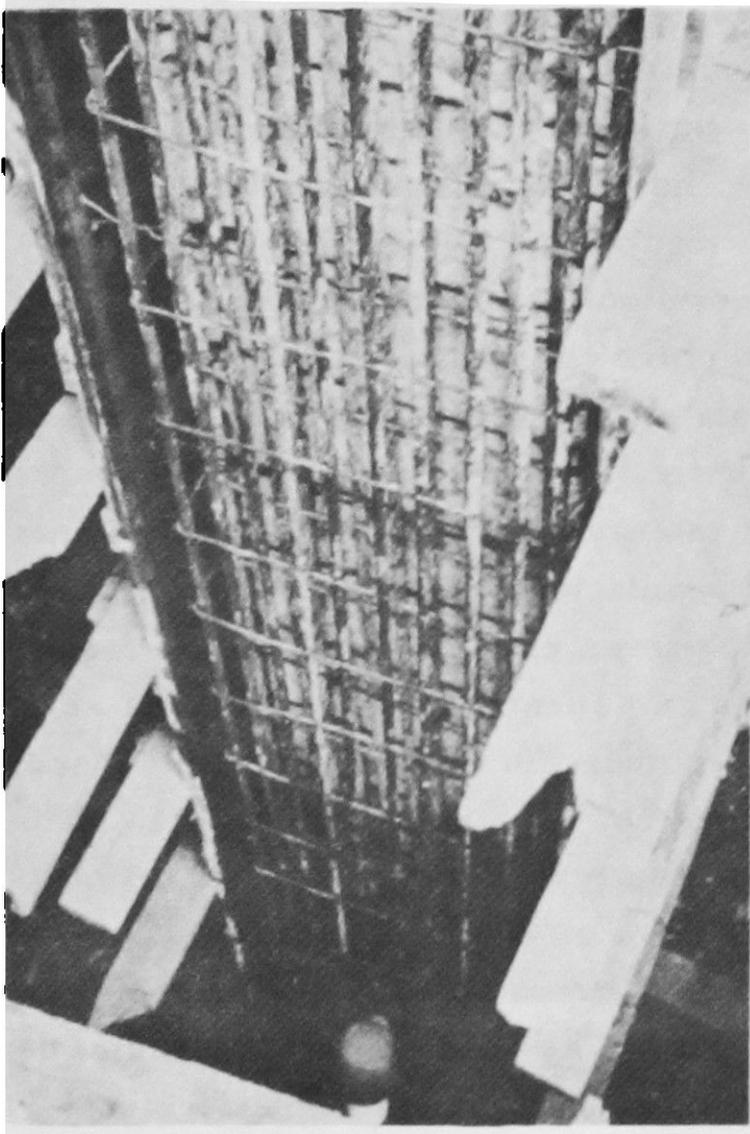


Fig. 6. Pilar de un edificio al que se le está dando una capa de adhesivo epoxi.

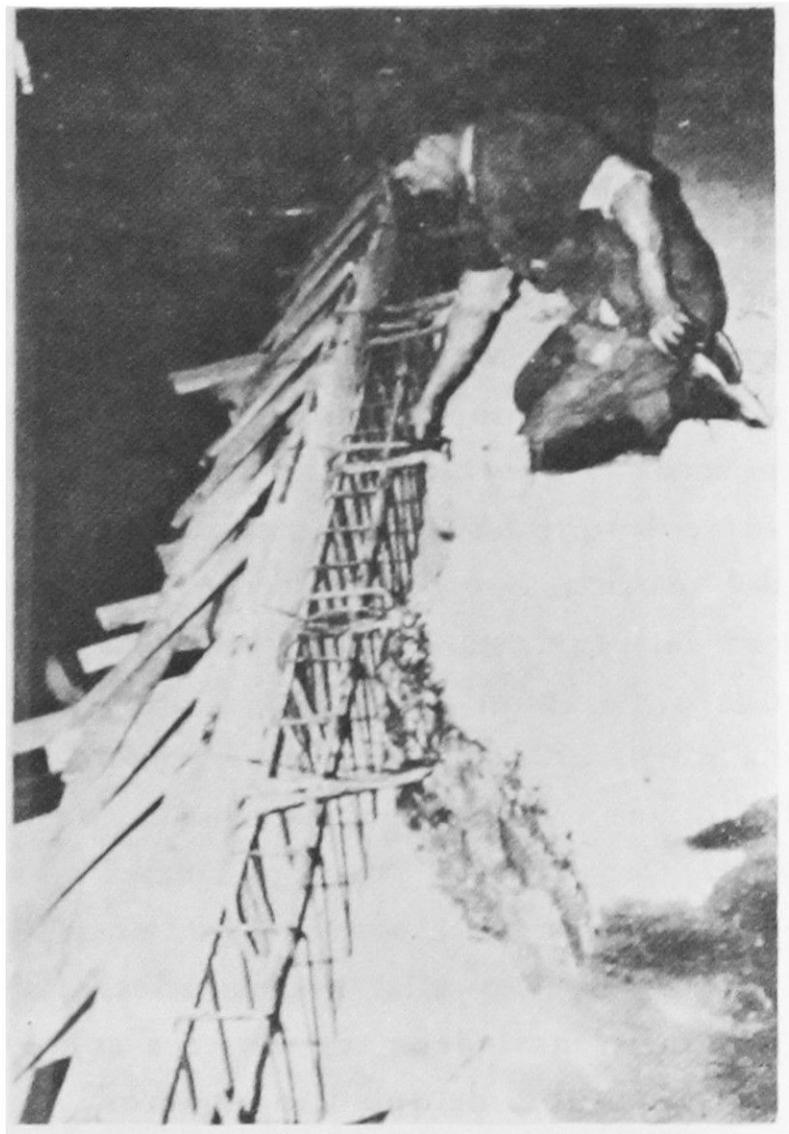


Fig. 7. Viga de borde unida a una placa de hormigón mediante resinas epoxi.

No quiero dejar de señalar la importancia que en el campo de las obras públicas e hidráulicas presenta esta posibilidad de unión de hormigones, concretamente en este último, merecen destacarse la reparación de las degradaciones y

erosiones producidas por fenómenos de cavitación y de turbulencia. En estos casos el empleo de hormigones tradicionales o el de hormigones de resina unidos al afectado por medio de epoxi, restablecen las formas primitivas del proyecto y solucionan eficazmente un problema hasta hace poco con muy mala solución. Todavía, la Fig. 8 nos hace ver otra interesante utilización de las resinas epoxi como medio de unión de los varios tramos de pilotes de hormigón armado.

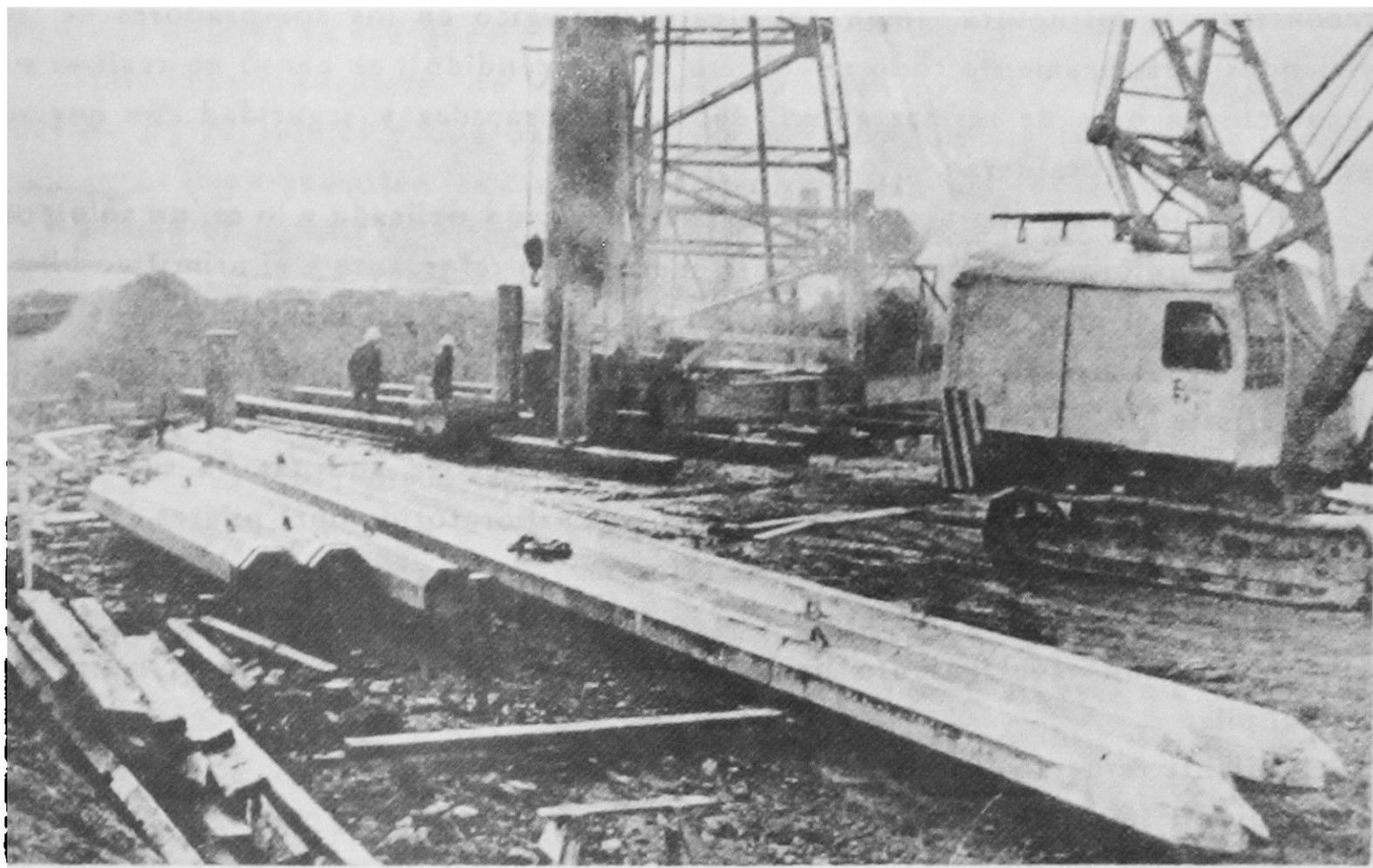


Fig. 8. Conjunto de pilotes de hormigón armado fabricados en varios tramos unidos entre sí por medio de resinas epoxi.

REFUERZO DE PILARES Y VIGAS

El refuerzo es un problema delicado, que preocupa mucho al técnico. Realmente este problema no existiría si, desde que pensamos en nuestra obra,uviésemos presente que “prevenir es mejor que curar”, pero a pesar de esto los imponderables existen y así nos encontramos con que por deficiencias en el proyecto, en la ejecución o por haber variado el destino de la obra y tener que trabajar a unas cargas superiores a las que fue proyectada es necesario realizar refuerzos.

Vamos a estudiar separadamente los refuerzos de pilares y los de vigas.

Pilares

En pilares se da algunas veces el caso de que por mala calidad del hormigón, por aumentar las cargas a que han de estar sometidos, etc., se hace preciso reforzarlos con respecto a la primera causa. Hemos tenido ocasión de estudiar la reparación

de una estructura de edificio, que se había calculado para un hormigón de 350 kgf/cm^2 ($34,32 \text{ MPa}$) de resistencia característica y cuyos pilares daban en una investigación esclerométrica, resistencias que oscilaban de 150 a 425 kgf/cm^2 ($14,7$ a $41,6 \text{ MPa}$) pero además, con el agravante de que los pilares de más bajas resistencias eran los de arranque, con lo que no cabía la posibilidad de demoler la planta sin demoler todo el edificio. Ante esta situación tan gravosa, no sólo desde el punto de vista económico, sino también por la demora que suponía demoler y reconstruir la estructura, amén del efecto psicológico en los compradores de las viviendas (prácticamente todo el edificio estaba vendido), se pensó en realizar su reparación a base de resinas epoxi, debido a la rapidez y seguridad con que se podía efectuar el esfuerzo.

El refuerzo de pilares es siempre una operación delicada y lo es, no sólo por la perfecta unión que debe existir entre el elemento reforzante y el primitivo pilar, sino porque el comportamiento elástico de estos dos elementos ante las cargas debe ser el mismo, ya que en el caso de que no fuera así, al llegar a un determinado límite de carga se produciría irremisiblemente la separación de los dos elementos. El problema es tan delicado, que antes de adoptar un sistema de reparación, es conveniente efectuar ensayos de laboratorio sobre pilares de características idénticas a los que se trata de reforzar.

Los refuerzos sobre pilares pueden realizarse de varias formas:

- a) Mediante un revestimiento de mortero epoxi adherido a todo el contorno del pilar.
- b) Mediante refuerzo metálico.
- c) Mediante hormigón unido al primitivo pilar con resinas epoxi.

El primer sistema lo hemos aplicado con éxito, después de haber hecho ensayos de laboratorio a escala natural que nos aseguraron de su eficacia.

En esencia este procedimiento consiste en descarnar todo el contorno del pilar hasta llegar a las armaduras. Una vez descarnado se limpia perfectamente de polvo, se da una película de imprimación epoxi, se colocan los encofrados (preferentemente metálicos) y por tramos de $0,50$ a $1,00 \text{ m}$ se va colocando entre el espacio que queda entre el pilar descarnado y las paredes del encofrado, un mortero epoxi. El espesor del mortero epoxi a colocar es conveniente que sea superior a los 2 cm .

El mortero epoxi empleado en el refuerzo no debe ser muy seco a fin de que penetre perfectamente en este espacio. Es muy empleada la dosificación formulación-árido igual a $1/5$. El módulo de elasticidad de este mortero debe ser lo más parecido al del hormigón del pilar, a fin de que le siga en sus deformaciones bajo carga. Algunas veces para mayor eficacia del refuerzo, lo hemos zunchado con un simple alambre que envolviendo todo el pilar quede embebido en el mortero. Este sistema es muy conveniente emplearlo cuando difieren no excesivamente los módulos de elasticidad del mortero y del hormigón y con objeto de evitar posibles efectos de pandeo en la capa de revestimiento.

Con respecto a la eficacia de este revestimiento, hay que decir, que haciendo

trabajar el mortero a 450 kgf/cm^2 (44,13 MPa), (la carga de rotura del mortero epoxi está en 850 kgf/cm^2 (83,36 MPa)), un revestimiento de 2,0 cm de espesor de un pilar de 40 x 40 cm soporta por sí solo 145 ton.f (1422 KN).

El segundo sistema se ha aplicado también con éxito en varias obras y consiste en descarnar ligeramente el pilar para quitarle la capa débil de mortero superficial, adosar a cada esquina un angular y unir éstos por medio de presillas soldadas a ellos y separadas de 40 a 50 cm. La disposición constructiva correspondiente se observa en el esquema de la Fig. 9.

Los cuatro angulares de las esquinas terminan en sus extremos superior e inferior en su capitel y una base realizada también con angulares y que son los elementos que transmiten las cargas del forjado a los angulares verticales.

Como el asiento de estos capiteles al forjado debe ser perfecto a fin de que el refuerzo entre en carga con el pilar, se recurre normalmente y así lo hemos hecho en nuestras obras, a colocar una formulación epoxi de unión de acero a hormigón entre el capitel y el forjado.

El tercer sistema se ha empleado también con éxito, consiste en descarnar ligeramente el hormigón del pilar, limpiar, dar una película de resina epoxi para unión de hormigones de distinta edad y proceder a recrecer el pilar mediante hormigón de buena calidad.

En este sistema, en primer lugar debe emplearse un hormigón de similar resistencia a la del pilar que se ha quedado en el núcleo. Si esto no se cumple, se tiene el inconveniente antes apuntado de diferencias notables del módulo de elasticidad que dan lugar a que el primitivo pilar prácticamente no trabaje. Como inconveniente se tiene que el recrecido suele ser grande, y con facilidad un pilar que se proyectó para unas dimensiones de 40 x 40, pasa a convertirse en otro de 60 x 60.

Como se ve esta solución es relativamente feliz y no es de extrañar que sea poco afortunada y nos incline más, mucho más por la primera y segunda, a pesar de su mayor costo, pero que tiene entre otras la ventaja de dar pilares iguales en dimensiones a los proyectados ó, como en el segundo caso, de dimensiones muy ligeramente superiores.

Algunas veces la parte superior de los pilares queda debilitada por sobrenadar la lechada y mortero que tiende a acumularse en la parte alta de los mismos, dando zonas de baja resistencia. En este caso un refuerzo como se muestra en Figs. 10 y 11, por medio de collarines de acero unidos al hormigón con resina epoxi puede ser una solución.

Vigas y forjados

El refuerzo de vigas y forjados también es un hecho que se presenta cada vez con más frecuencia y del cual hemos tenido ocasión de hacer uso en algunas obras.

Hay casos en que por errores, más en la ejecución que en el cálculo, o porque se ha pretendido afinar demasiado, nos encontramos con vigas que están fisuradas.



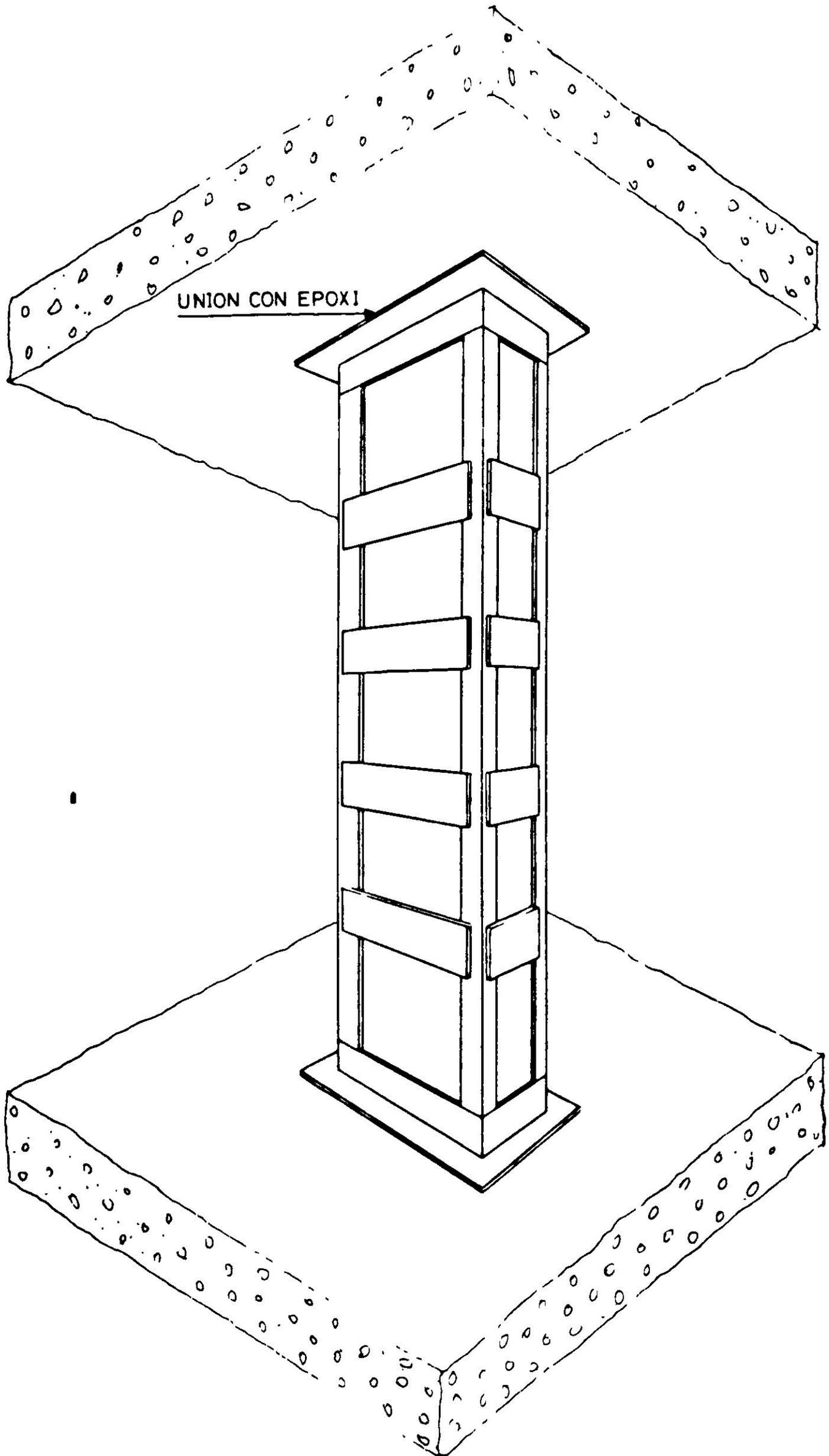


Fig. 9. Esquema de refuerzo de un pilar con fierros ángulos.

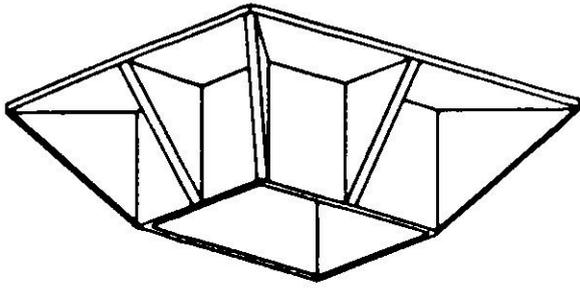


Fig. 10. Collarín de acero para refuerzo de pilares.



Fig. 11. Collarín de refuerzo de la parte superior de un pilar, unido al hormigón con resinas epoxi.

Estas fisuras pueden ser de varios tipos, de acuerdo con el esfuerzo que las producen.

En primer lugar, tenemos las fisuras de flexión. Estas se inician en la armadura, progresan un poco en vertical hacia el eje neutro y luego se encorvan más o menos buscando el punto de aplicación de la carga y deteniéndose al alcanzar la cabeza de compresión. Este es un proceso lento y que avisa con tiempo. En general; al fisurarse una viga por flexión, aparece no una sola fisura sino varias y bastante juntas; sobre todo, si se ha empleado acero de alta adherencia. Estas fisuras aparecen bajo carga y desaparecen al retirar ésta. Son perpendiculares al eje de la pieza deteniéndose en la fibra neutra ó progresando más o menos inclinadas según el valor del esfuerzo cortante.

En segundo lugar, tenemos las fisuras de cortante. Estas pueden aparecer en el alma de la viga, progresando hacia la armadura y llegando luego hasta la carga, dividiendo la viga en dos partes. Esta fisuración se realiza en un proceso rápido y de ahí su peligrosidad.

En tercer lugar, tenemos las fisuras debidas a torsiones que aparecen inclinadas a 45° . Los efectos de torsión se olvidan a veces, sobre todo en estructuras sencillas del tipo de las de edificios, en las cuales puede suceder que crujías de luz

muy descompensadas con respecto a las adyacentes provoquen torsiones importantes que lleguen a fisurar las vigas si no se han previsto cercos suficientes para absorber estos esfuerzos de torsión.

Hay un tipo de fisuración en vigas que muchas personas suelen confundir con fisuras de flexión y no lo son realmente, estas fisuras son las que aparecen cuando hay una concentración excesiva de ganchos de anclaje en una misma sección. En estos casos se produce un desgarramiento del hormigón en forma de fisura a 45° , debido precisamente a que los esfuerzos de anclaje que aparecen en esa sección son excesivos. En el proyecto se evita este defecto decalando los ganchos de anclaje, o bien, envolviéndolos con barras finas transversales que cesan la eventual grieta.

En la Fig. 12 se representan esquemáticamente estos cuatro tipos de fisuración.

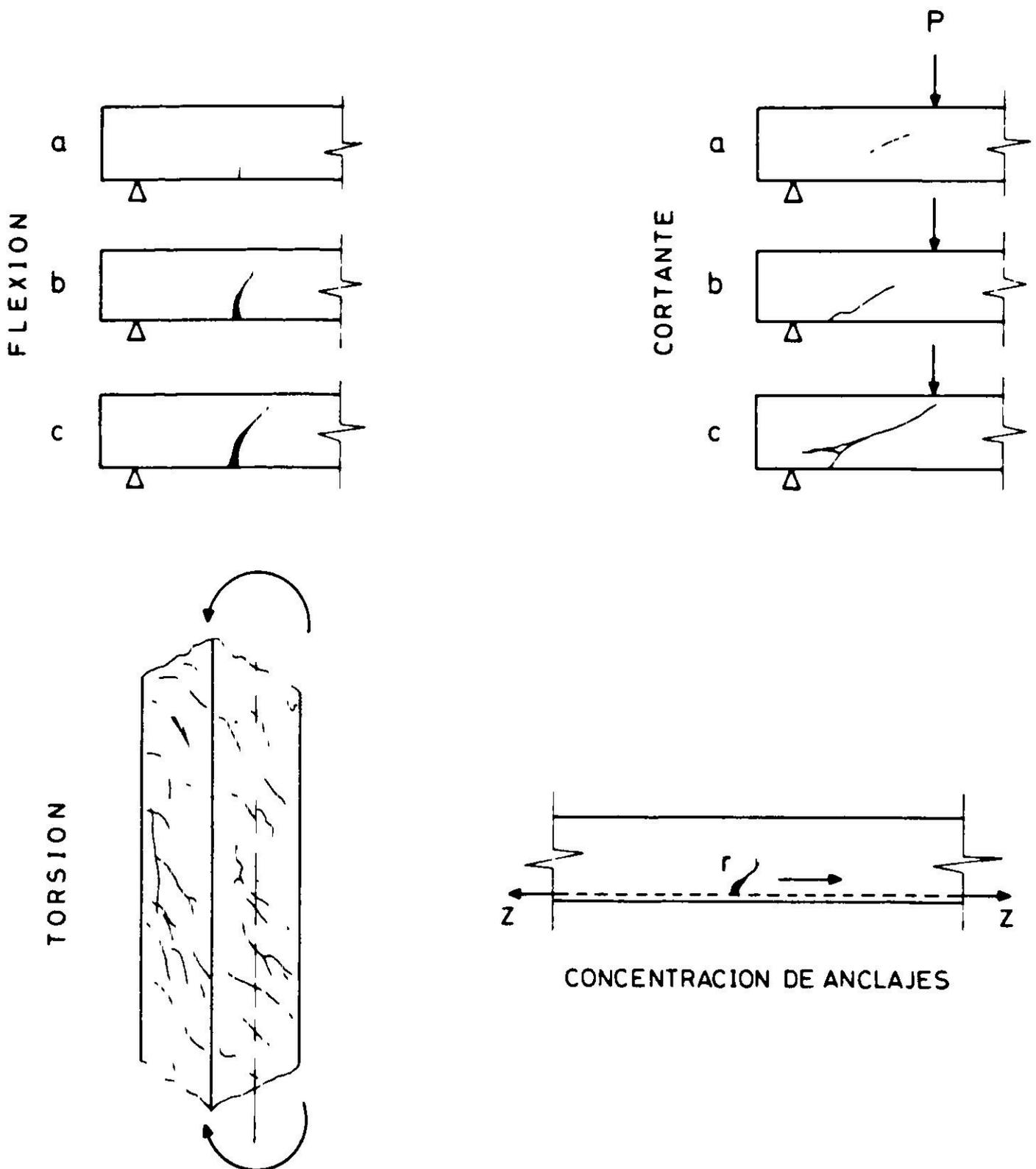


Fig. 12. Esquema de la distribución de grietas para diferentes solicitaciones.

Las reparaciones de estas deficiencias en vigas es delicada, pero actualmente mediante el empleo de formulaciones epoxi para la unión de acero a hormigón, el éxito de la reparación es total, siempre que se tenga un conocimiento exacto de las causas que han producido estas fisuras.

Una vez determinadas las causas que han motivado la fisuración de las vigas, se procede a reforzarlas mediante la unión a las mismas por medio de formulaciones epoxi de bandas de acero, que habrán sido calculadas para determinar sus dimensiones y el lugar en que habrán de colocarse.

En muchas ocasiones, la necesidad del refuerzo viene como consecuencia de haber tenido que aumentar la sobrecarga de uso de una planta, y la solución suele ser idéntica, es decir, colocar platabandas de acero adosadas al hormigón en las vigas o en los nervios seleccionados, si los forjados son planos.

Otras veces el refuerzo de una zona de forjado es consecuencia de haber tenido que cambiar la estructura, eliminando parte de ella, con lo cual otras zonas quedan sobrecargadas, aquí la solución es idéntica, unión de acero a hormigón.

Cuando existe un defecto en la armadura de cortante o en las que han de absorber torsiones, la solución radica en colocar unidas por medio de resina unas bandas adosadas a los costados de las vigas. La sección y separación de estas bandas hay que calcularlas previamente, pero en general, tomando bandas de 30 x 3 mm se tiene sección suficiente, máximo si tenemos en cuenta que los cercos de las vigas siguen trabajando. Esta cifra de 30 x 3 mm es para edificios de viviendas de crujeas normales, por supuesto que si las vigas son importantes hay que calcular estos estribos exteriores. La forma de las bandas no es recta, sino que forman una L cuyo lado corto se une al hormigón de la base de la viga.

Hay que tener en cuenta que si han aparecido fisuras de cortante en las vigas, conviene, previamente al refuerzo, inyectarlas con resinas para cerrarlas y unir al hormigón.

Como se ve, las formulaciones epoxi para unión de acero a hormigón son una solución ideal para realizar refuerzos de vigas y forjados, y aquí lo difícil no es la preparación de los elementos y la aplicación del refuerzo, operaciones que habrán de ser muy esmeradas, sino el tener unos conocimientos de cálculo estructural suficiente para saber porqué hay que reforzar, dónde hay que reforzar y en qué cuantía hay que reforzar y cómo queda trabajando el conjunto después del refuerzo.

Aplicaciones importantes de este sistema de unión de acero a hormigón en vigas, las tenemos en los trabajos de estudio de L'Hermite y Bresson, en los que han llegado a construir y ensayar con pleno éxito vigas de hormigón con armaduras planas de flexión y cortante pegadas exteriormente con resinas epoxi, hasta aplicaciones prácticas importantes, como la de las vigas de un puente grúa de una nave de almacenamiento de clínker de una fábrica de cemento francesa. Este puente grúa se había quedado pequeño y había que reemplazarlo por otro de doble potencia, sin detener el funcionamiento normal de la fábrica. Se recalculó la viga y se vio que el hormigón podía soportar el incremento de tensiones previstas,

por lo que se eligió la solución de añadir mediante pegado el acero longitudinal y transversal necesarios para absorber los momentos adicionales y el sobrante de cortante. La armadura longitudinal de flexión estaba formada por una sola chapa de acero pegada bajo la cara inferior de la viga y las de esfuerzo cortante, habían sido divididas en varios elementos unidos por los bordes para facilitar así la ejecución. Las chapas se apretaron fuertemente contra las superficies de hormigón por medio de dispositivos de presión.

Al terminar el refuerzo se hicieron pruebas de carga y se comprobaron por medio de strain gages las tensiones a que estaba trabajando el acero, observando que el comportamiento era perfecto y la reparación había sido eficaz y rápida.

La Fig. 13 muestra una viga experimental lista para ser ensayada y la Fig. 14, un caso de refuerzo de placa de piso con platabandas de acero pegadas con resinas epoxi.

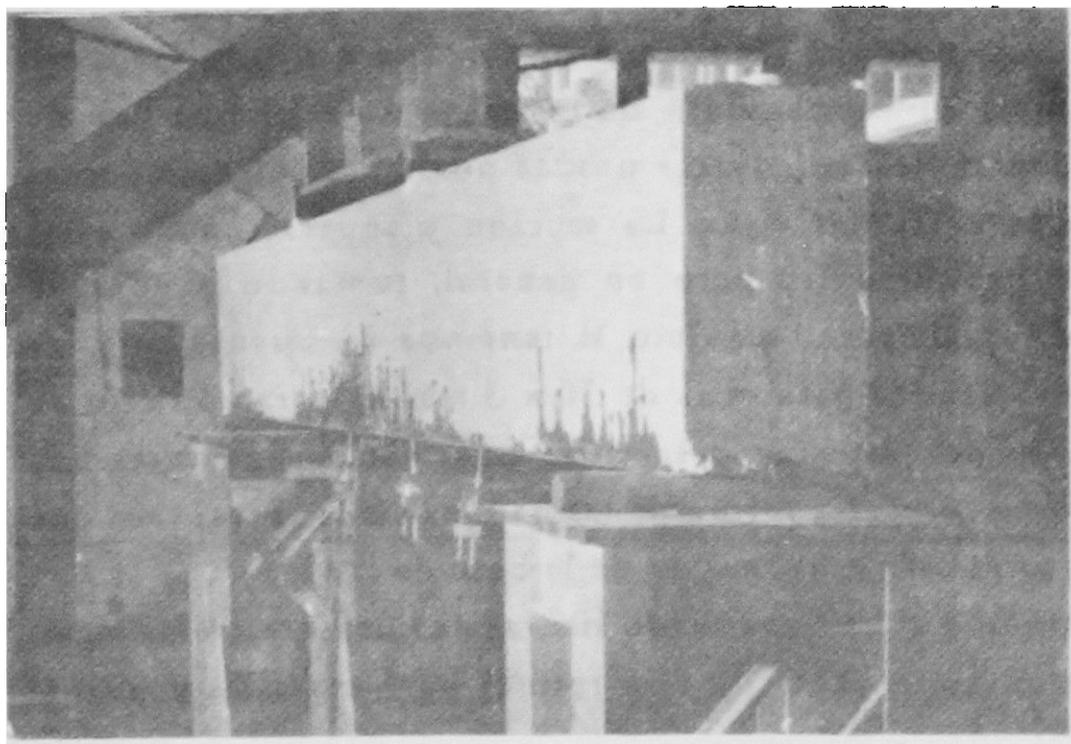


Fig. 13. Viga de hormigón a la que se le ha colocado la armadura exteriormente en forma de banda de acero unida con resinas epoxi.

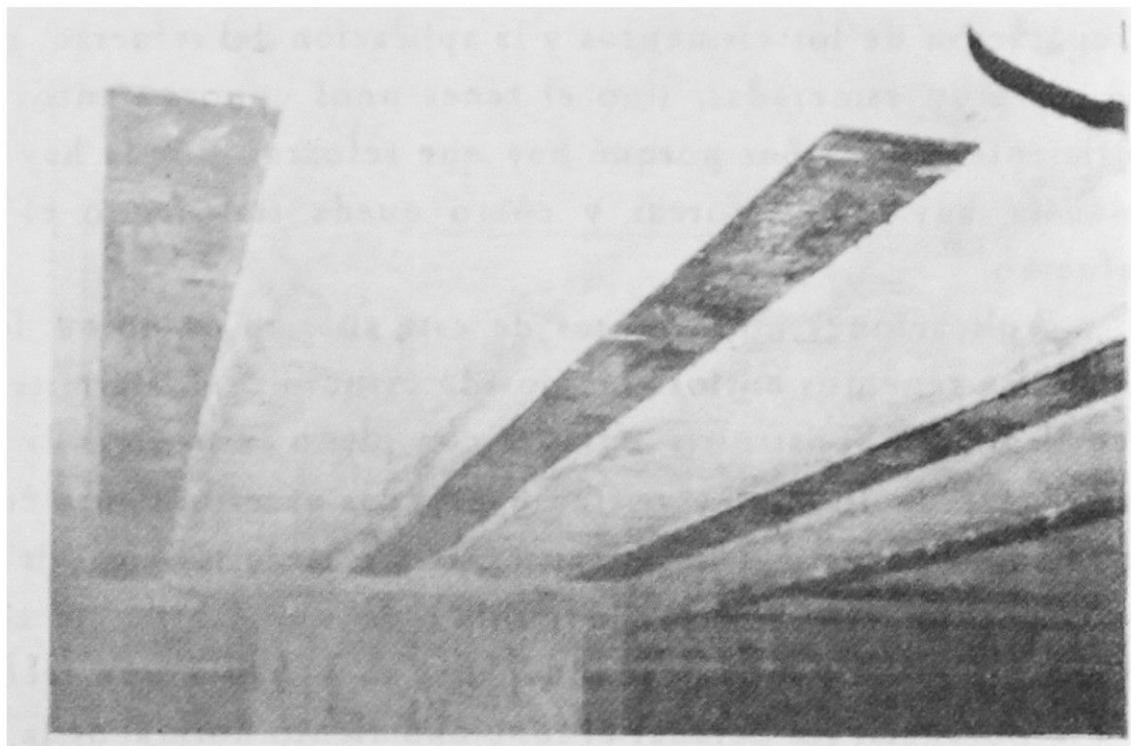


Fig. 14. Bandas de acero unidas a una placa de piso mediante resinas epoxi.

La aplicación más importante realizada hasta la fecha se ha llevado a cabo en un puente realizado con seis vigas pretensadas de 28 m de luz. El puente había sido puesto en servicio en Francia en 1960. Presentaba deformaciones muy considerables debido a fenómenos de fatiga. Este puente es de la autoruta del Sur, CD 126.

En estas uniones de acero a hormigón, la seguridad de la unión depende aparte de la calidad de la resina empleada del tratamiento previo de las piezas de acero a pegar, puesto que superficies que a simple vista aparecen exentas de óxido, pueden estarlo en el sentido químico-molecular, reduciendo la eficacia de la unión, por esta razón es recomendable realizar el pegado inmediatamente después del chorreado con arena o pase de la muela de esmeril, de esta forma, se evita también el que estas superficies limpias puedan ser tocadas con las manos, pues la grasa o el simple sudor de los dedos pueden contaminar el acero impidiendo su unión.

La resina aplicada sobre las chapas antes de colocarlas en su lugar ha de estar mordiente, es decir, no haber endurecido.

Finalmente, la Fig. 15 presenta una solución de refuerzo de un pilar al que se le agregó un capitel que se pegó con resina tanto al pilar como al forjado de piso y por otra parte, el forjado se reforzó con bandas de acero pegadas con resina.

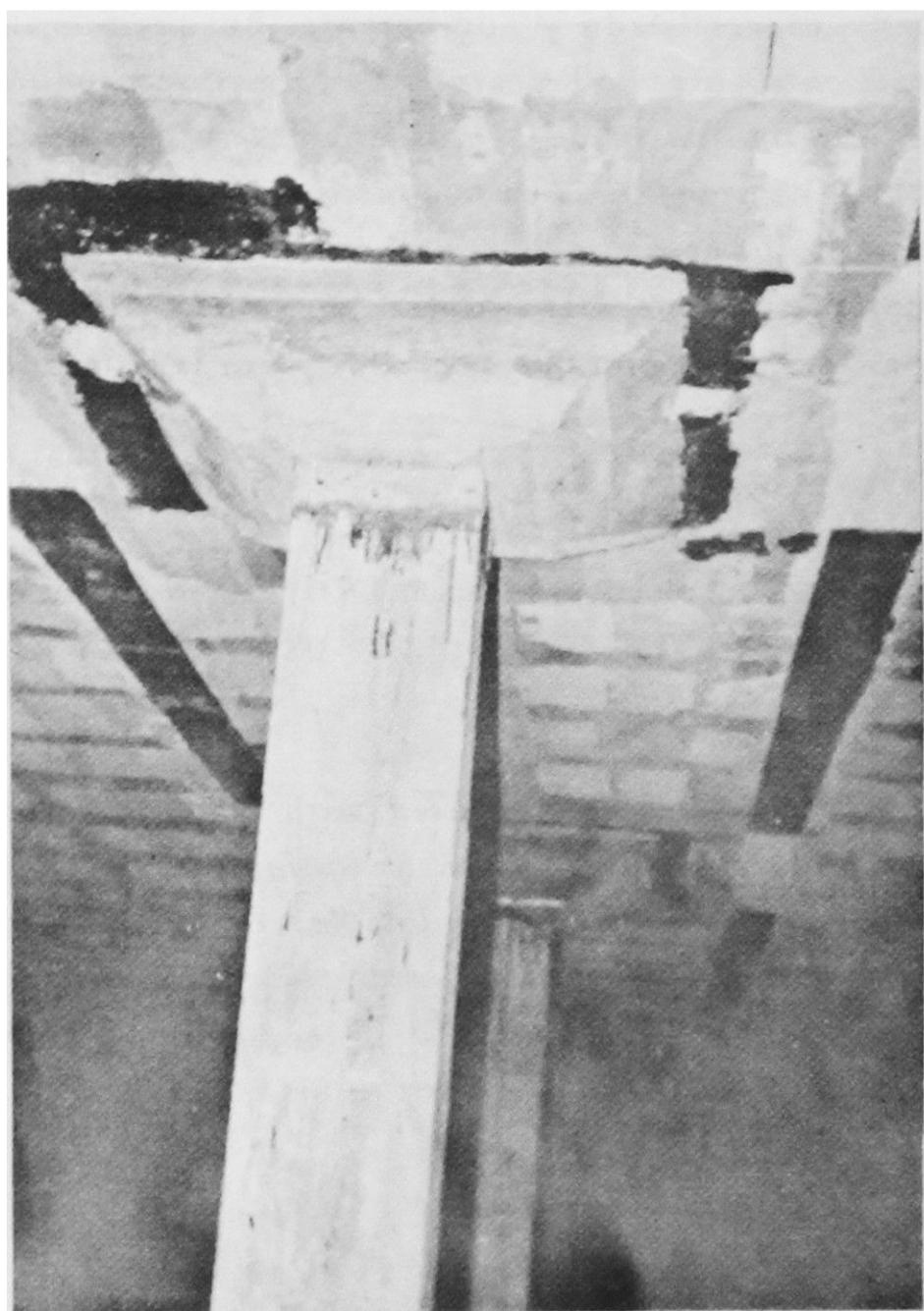


Fig. 15. Capitel de hormigón unido a un pilar y a un forjado de piso, mediante resinas epoxi, para evitar el efecto de punzonamiento. Al fondo se aprecian bandas de acero pegadas con las mismas resinas al forjado para aumentar su capacidad resistente.

PUNTO FINAL

Quiero cerrar este trabajo haciendo dos advertencias.

En primer lugar, que si hay algún fracaso en reparaciones y refuerzos importantes, no debemos achacarlos a las resinas epoxi en sí, sino a la mala aplicación que se haya hecho de ellas. Al principio del artículo veíamos la similitud existente entre el proceso de estudio de un defecto estructural y su reparación. Ahora bien, para curar seres humanos hay que tener una serie de conocimientos básicos imprescindibles de anatomía, biología, patología, medicina, etc., y para curar estructuras hay que tenerlos de elasticidad, resistencia de materiales, cálculo estructural, materiales, etc. El embarcarse en realizar una reparación importante sin estos conocimientos, es tan arriesgado como el ponerse en manos de un curandero para que nos opere de una simple apendicitis.

En segundo lugar, que la gama de resinas epoxi es amplísima y cada una de éstas tiene un cuadro de indicaciones para las que son plenamente eficaces y otro cuadro de contraindicaciones que hay que respetar para lograr no tener contratiempos. Esto nos obliga a estar en contacto con las casas suministradoras que conocen perfectamente lo que se puede esperar de cada resina y que es fruto de muchos ensayos en laboratorios muy bien equipados y dirigidos por un personal muy especializado y competente. Busquemos siempre esta colaboración y asesoramiento antes de lanzarnos a emplear un producto que no conozcamos bien.

Por último, pensemos que las resinas han venido a solucionar muchos problemas importantes en la construcción y que a pesar de su aparente costo elevado, este no lo es realmente, ya que en muchos casos haciendo números veremos que compensa con creces su empleo por la seguridad que se tiene en la reparación, por la rapidez con que se realiza y por la comodidad de uso.

REPAIRS AND STRENGTHENING OF CONCRETE STRUCTURES USING EPOXY RESINS

SUMMARY:

Epoxy resins could be used with advantage to repair and strengthen reinforced concrete structures. They are suitable for sealing concrete fissures and cracks, to ascertain monolithic bonding in concrete construction joints and to repair and strengthen reinforced concrete columns and beams. For each of these cases details are given of recommended procedures and examples are presented of successful actual applications of epoxy resins.