

Aspectos particulares que condicionan la efectividad de los refuerzos de pilares

Upgrading reinforced concrete columns. Particular aspects that determine the design and execution

David Fernández Montes^{a,*} y Elena Díaz Heredia^b

^a Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor de la ETS Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

^b Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. INTEMAC (Madrid, España). Profesor de la ETSI Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

Recibido el 12 de septiembre de 2016; aceptado el 19 de abril de 2017

Disponible en Internet el 29 de mayo de 2017

Resumen

Los refuerzos de pilares de hormigón armado más comunes, con hormigón o estructura metálica, han sido el zunchado o el encamisado del pilar existente. En los últimos años, en el caso de zunchado se ha incorporado el empleo de materiales compuestos (FRP) como material de refuerzo. En general, el dimensionamiento de cualquiera de estos refuerzos no es complejo, sin embargo, la resolución de sus detalles condiciona su efectividad. Aspectos aparentemente sencillos, como pueden ser el paso del axil al refuerzo o la continuidad de este, deben ser cuidadosamente evaluados. El presente artículo ilustra con ejemplos concretos algunos detalles de refuerzo que han sido obviados, poniendo en entredicho la validez del mismo. © 2017 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Palabras clave: Refuerzo; Pilares; FRP; Encamisado; Zunchado

Abstract

The upgrading techniques of reinforced concrete columns conventionally have been jacketing or confinement of the existing column using concrete or steel. In recent years the use of composite materials, or fibre-reinforced plastic (FRP), has been incorporated as an alternative material in upgrading solutions by confinement. Although there is no problem in the dimensioning of any of these solutions, the resolution of details has often influenced its effectiveness. Thus, apparently simple aspects, such as transmission of the axial force to the upgrading system, must be carefully evaluated. Using particular examples, this article illustrates some reinforcements that have been overlooked by calling its validation into question. © 2017 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords: Upgrading; Column; FRP; Jacketing; Confinement

1. Introducción

Las actuaciones de mantenimiento, reparación y refuerzo de estructuras son actividades cada vez más relevantes, bien por la degradación de las propias estructuras existentes, bien por la introducción de nuevas solicitaciones en las mismas, o incluso

por reparaciones frente a acciones accidentales que se han producido.

Como indica [1] de manera previa a la definición del refuerzo, el Proyecto debe establecer si el objeto de la actuación es reparar y/o reforzar, para lo cual se debe evaluar la estructura existente [2]. Dicha evaluación, entre otras actuaciones, puede incluir la revisión de toda la documentación disponible, la inspección detallada de la estructura, la caracterización del elemento mediante calas y ensayos del material (destruyentes y/o no destruyentes).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: david.fernandez.montes@upm.es
(D. Fernández Montes).

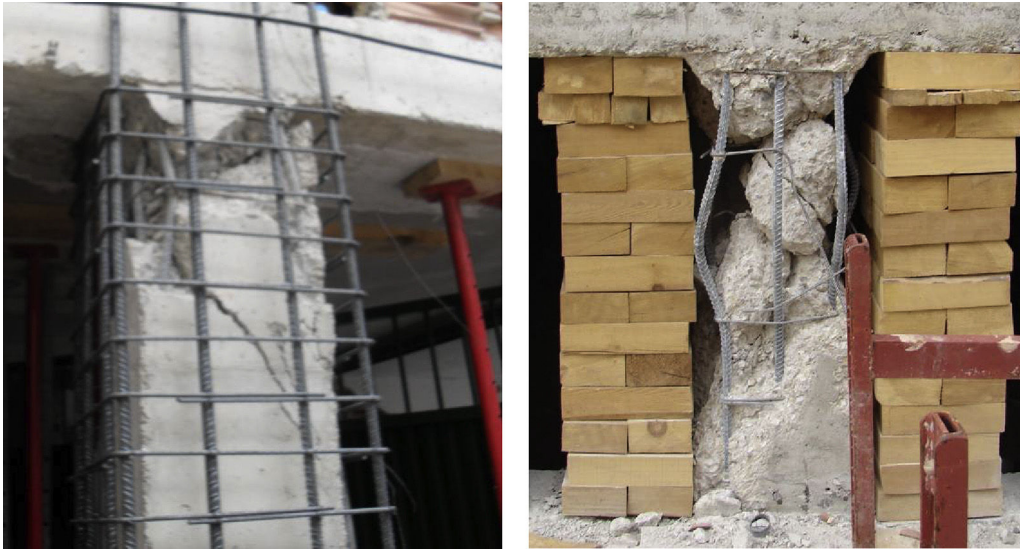


Figura 1. El daño en los pilares requiere la sustitución de los mismos (fotos tomadas en Lorca).

Una vez se dispone de los datos necesarios, se han de realizar los análisis y/o las comprobaciones de cálculo necesarias para evaluar las condiciones de seguridad de la estructura [3], y consecuentemente decidir si el refuerzo es necesario o no.

Los autores han tenido acceso a ejemplos de Proyectos de refuerzo de pilares para cada una de las tipologías habituales. Sin embargo, en muchos de ellos se observa que aspectos fundamentales han sido omitidos, y en especial la necesidad del refuerzo y el nivel de capacidad portante a asumir no han quedado suficientemente justificados.

2. Aspectos generales del refuerzo de pilares

La evaluación estructural del elemento existente ha de conducir a un diagnóstico que permita establecer la necesidad o no de refuerzo, y en caso de que sea necesario, el siguiente paso debería ser determinar si el fin es mejorar las propias características de la sección que ya existe (confinamiento) o llegar a sustituir la capacidad resistente del elemento, sustitución que puede ser total en casos en los que el soporte haya colapsado (Fig. 1).

En cualquiera de las actuaciones, confinamiento o sustitución de la capacidad (total o parcial), es imprescindible considerar la carga actuante sobre el soporte original, el mecanismo de entrega de las cargas al refuerzo y las condiciones de rigidez de la estructura.

La carga actuante —rara vez se descarga la estructura— ha de ser analizada, así como se ha de tener en cuenta que en los refuerzos por sustitución los incrementos de carga, si no se toman las medidas oportunas, actuarán sobre la sección compuesta con un reparto de cargas (a justificar) que de manera general incrementará la sollicitación en la sección original.

El reparto de cargas entre la sección original y el refuerzo está condicionado por el mecanismo de entrega de las cargas al refuerzo. Como indica [4], la entrada en carga puede ser directa o indirecta; si es directa el refuerzo trabaja en toda la altura como sección compuesta y si es indirecta entra en carga por las tensiones tangenciales que se movilizan en la interfaz

entre hormigones (antiguo y nuevo) a lo largo de la longitud de transferencia.

Garantizar una entrada directa requiere asegurar el contacto entre el contorno del refuerzo y la losa o forjado superior (en el caso de refuerzos con hormigón se produce una discontinuidad a rellenar como consecuencia del asentamiento y retracción del material) y comprobar que el nudo entre el forjado y el pilar es capaz de movilizar la biela de compresión y tirante que se genera.

En el caso de entrada indirecta [5] se ha de contar que en el contorno superior el axil en el refuerzo es nulo (resiste el soporte original). Se requiere una importante cuantía de armadura transversal en la longitud de transferencia y la presión lateral en la superficie de contacto no es uniforme en todo el perímetro si la sección tiene forma cuadrada o rectangular.

Este último aspecto (forma de la sección) es fundamental en la eficacia de cualquier refuerzo de confinamiento.

Con objeto de no tener que justificar el reparto entre el soporte existente y el refuerzo, por tratarse de un mecanismo de transferencia que presenta importantes lagunas y que requiere de un comportamiento dúctil del soporte original y del refuerzo [6], es habitual que se justifique el dimensionamiento del refuerzo para la totalidad de la carga. De acuerdo con lo indicado anteriormente, es esta entrada en carga del refuerzo para la totalidad de las cargas el detalle que en muchos de los casos analizados no ha quedado suficientemente justificado, a pesar de que las actuaciones en los nudos en ocasiones responden a soluciones muy complejas, e incluso innecesarias si el refuerzo responde a un zunchado (Fig. 2).

En actuaciones en las que es imprescindible la transmisión de cargas al refuerzo, no es difícil encontrar ejemplos en los que la entrada en carga del encamisado no es evidente (Fig. 3).

De manera análoga no se puede obviar la posterior entrega de dicho esfuerzo resistido por el refuerzo a la cimentación [7] u otro elemento que lo soporte. Por ello, resulta difícil entender la necesidad de un encamisado cuya transmisión a cimentación es a través del apoyo del refuerzo sobre una solera (Fig. 4).



Figura 2. Ejemplos de actuaciones en nudos para encamisado y zunchado de pilares (fotos tomadas en Lorca).



Figura 3. Zunchado y empresillado parcial sobre tramo de pilar dañado (fotos tomadas en Lorca).

Se han de definir las acciones frente a las cuales se ha previsto reforzar y, aunque los refuerzos frente a cargas verticales son los más habituales, en ocasiones será necesario reforzar frente a acciones horizontales, o mejorar su ductilidad y/o capacidad a flexión. En cualquier caso, se ha de evaluar la afección del refuerzo frente al resto de acciones para las que no se ha definido. Además, la nueva rigidez y ductilidad del soporte reforzado influirá en el resto de elementos de la estructura, incluso en los que no se haya intervenido, en especial con relación al reparto de cargas entre ellos a partir de la ejecución del refuerzo, y en especial frente a sismo.

Se ha de indicar que hay que tener en cuenta qué secciones se han de reforzar. Así los refuerzos para cargas gravitatorias por ser constantes a lo largo del soporte deberían abarcar toda la longitud del pilar, y en los casos de refuerzos a flexión deberían

aplicarse a los dos extremos del pilar. Por ello, y tal y como se indica en [8], refuerzos como el de la figura 5, en los que el refuerzo tan solo se aplica en la cabeza del pilar, no estarían justificados incluso si se hubiera pensado en la formación de una rótula plástica en la citada cabeza del pilar, sin proceder al análisis de su influencia en el comportamiento del resto de elementos estructurales del edificio.

Hay que destacar que con el planteamiento de zunchado ha sido habitual el refuerzo parcial del fuste, si bien este aspecto [8], tal y como se ha indicado anteriormente, no es muy adecuado, e introduce una discontinuidad evidente en la inercia del tramo que puede multiplicar las solicitaciones sobre el resto del fuste.

De manera adicional a lo anterior, detalles específicos como consecuencia de esfuerzos de sismo, o en relación con las protecciones (durabilidad, fuego, rayos ultravioleta, etc.) que puedan



Figura 4. Apoyo de refuerzo sobre solera (foto tomada en Lorca).

ser necesarias para garantizar la estabilidad del refuerzo, deberán quedar definidas en el Proyecto.

3. Mejora de las características de la sección existente. Zunchado

El primer aspecto que destaca del análisis de ejemplos en los que se ha aplicado esta tipología de refuerzo, independientemente del material empleado (hormigón, acero o FRP), es que, por basarse en la mejora de las características resistentes del hormigón del soporte sin recibir ninguna carga, no requiere que el refuerzo tope con los forjados. Es más, con objeto de evitar el contacto y por tanto la posible entrada en carga del refuerzo para los sucesivos incrementos de carga, es recomendable que exista

la holgura suficiente como para que la estructura horizontal se deforme sin topar con el refuerzo.

Lo que sí resulta en este caso imprescindible es que el refuerzo envuelva el perímetro completo de las secciones y se asegure el contacto entre la camisa y la sección resistente del pilar existente. Para ello, en todos los casos se recomienda la retirada de los acabados, sanear el soporte y preparar la superficie de modo que queden a la vista los áridos constitutivos del hormigón sin que la profundidad sea excesiva para evitar la inestabilidad de estos. Tal y como se observa en la [figura 6](#), no siempre se lleva a cabo dicha preparación, y en algún caso incluso ni se retira el revestimiento del soporte.

Es decir, es decisivo que exista pleno contacto (sin holgura) del encamisado con el perímetro de la sección resistente y un buen estado del soporte (sigue siendo el elemento resistente principal), por lo que de manera previa a la ejecución del refuerzo se ha de verificar que dicho perímetro se encuentre sin daños que reduzcan su resistencia residual considerada, así como saneado, limpio y seco.

Sin embargo, no es difícil encontrar ejemplos de actuaciones en los que no se han cuidado estos aspectos ([fig. 6](#)).

En el estado del conocimiento actual el planteamiento se adapta muy bien a secciones circulares pero resulta menos eficaz en cuadradas, estableciéndose en toda la bibliografía consultada precauciones (redondeo de aristas que como se observa en la [figura 7](#) no se respeta) y limitaciones en la colaboración del refuerzo en secciones rectangulares, indicándose de manera expresa que no se emplee si los lados de la sección son muy desiguales.

3.1. Zunchado con hormigón

El artículo 40.3.4.de [9] recoge el procedimiento de cálculo de este tipo de refuerzos, de modo que define la resistencia



Figura 5. Actuaciones en cabeza de soportes (fotos tomadas en Lorca).



Figura 6. Pilares sin tratamiento del soporte (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).



Figura 7. Pilares sin tratamiento del soporte (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).

del hormigón a considerar a partir de la armadura de confinamiento, la cuantía mecánica volumétrica de confinamiento, así como un factor, α , que tiene en cuenta la separación entre cercos, el tipo de hormigón y la efectividad de la armadura transversal dispuesta. Esta armadura transversal es la «responsable» de la mejora en la resistencia del soporte, por lo que su diámetro (8 mm mínimo), así como las condiciones de anclaje y solape de la misma (estribos cerrados terminados en ganchos de por lo menos 135° , por ejemplo), son determinantes para asegurar el correcto funcionamiento del refuerzo.

La armadura fundamental es la armadura transversal, por lo que la armadura longitudinal será la mínima necesaria para el

montaje y el control de la fisuración. El espesor total del encamisado ha de garantizar unas adecuadas condiciones de durabilidad de estas armaduras, y permitir el hormigonado. Por ello, los espesores habituales son de 7 a 10 cm, aunque se ha llegado a espesores de 5 cm, para lo que se requiere un estudio detallado del hormigón a emplear y su puesta en obra de modo que se garantice la correcta colocación, compactación y curado, evitando la formación de coqueas y garantizando el espesor de recubrimiento de las armaduras.

Si el hormigón del interior del cerco dispuesto quiere considerarse como parte de la sección resistente, el mismo puede tenerse en cuenta si se ha tomado la precaución de que su resistencia sea igual o superior a la del soporte original.



Figura 8. Detalles incorrectos en zunchado de pilares (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).

3.2. Zunchado con estructura metálica

Este tipo de refuerzos no queda regulado por ninguna normativa y suele considerarse de aplicación lo recogido en la Instrucción EAE [10] y Eurocódigo 3 [11].

Es evidente que para movilizar las tracciones circunferenciales que producen el efecto de zunchado es necesario garantizar la continuidad de la capacidad resistente de las chapas que constituyen las caras del refuerzo, por lo que si dicho refuerzo se configurara mediante la unión de varios perfiles, estos han de soldarse correctamente. Sin embargo, esta condición no siempre se cumple, tal y como se recoge en los ejemplos de la figura 8, en los que no solo no se sueldan correctamente las chapas, sino que incluso se interrumpen en el perímetro.

Además, se han de adoptar las medidas oportunas para no dañar el mortero de relleno entre el zunchado y el soporte (encargado del contacto en el perímetro y por lo tanto garante de la efectividad del confinamiento) si las soldaduras de las uniones entre chapas se llevan a cabo con posterioridad.

En ocasiones se han analizado refuerzos mediante empresillados como solución de zunchado, considerando que el efecto del confinamiento no es continuo a lo largo de toda la longitud del soporte, si bien de acuerdo con [8] se duda de un procedimiento constructivo realista que garantice el correcto funcionamiento de los mismos como zunchado del soporte.

Por último, se ha de indicar que dado que se trata de un elemento metálico no puede obviarse la disposición de un mortero de protección frente a fuego que, en función del espesor necesario, además puede requerir la disposición de una armadura de atado.

3.3. Zunchado con FRP

El material que más se está empleando en los últimos años en las soluciones de zunchado de pilares sometidos a compresión centrada o con excentricidades de carga reducida es el FRP.

El empleo de este material no está regulado por ninguna normativa, si bien existen guías de aplicación [12–16] que recogen la posibilidad de emplear estos materiales para incrementar la ductilidad de las secciones o bien incrementar su capacidad resistente mediante confinamiento. Aunque las mismas todavía presentan algunas lagunas, la investigación realizada en los últimos años ha permitido definir modelos de comportamiento del hormigón confinado con FRP.

Si bien la formulación propuesta para evaluar el efecto del confinamiento en las distintas guías [12–16] e investigaciones [17,18] es distinta, todas coinciden en indicar que en estos refuerzos se requiere el contacto continuo entre el FRP y el soporte en todo el perímetro, así como la necesidad de redondear las esquinas con objeto de mejorar la efectividad del refuerzo [19–22]. Aunque establecen un radio de redondeo mínimo de 20 mm, para que la presión de confinamiento sea uniforme y se evite la rotura de las fibras de FRP por concentración de tensiones, no es difícil encontrar ejemplos en los que dicha indicación no se respeta (Fig. 9).

Cabe destacar, y con relación a las lagunas de conocimiento que todavía presenta el empleo de estos materiales como material de refuerzo, que estas mismas guías [12–16] indican que, en los ensayos en rotura, la deformación última de la fibra (que se denomina deformación última efectiva $\varepsilon_{f,eff}$) es mucho menor que la deformación obtenida en ensayos de tracción normalizados del FRP, proponiendo que la deformación última efectiva considerada no supere de manera general el 1% [12–15], o incluso el 0,4% [16], lo que es una condición muy restrictiva en relación con el aprovechamiento del material.

Por último hay que indicar que estos materiales se adhieren con resina epoxy, por lo que una vez colocados se ha de prescindir de su colaboración ante la solicitación accidental de fuego, sin que hasta la fecha se haya documentado algún sistema de protección que permita protegerlo del incremento de temperatura y mantenerlo colaborante.



Figura 9. Refuerzos en los que no se respetan las indicaciones en relación con el tratamiento de la superficie y redondeo de esquinas (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).

Además, como las resinas pierden parte de sus características resistentes a partir de valores de temperatura inferiores a 60°C , en el caso de refuerzos que puedan estar sometidos al soleamiento, y dado que en la mayoría de los casos el material es de color negro, se ha de tomar la precaución de evitar que puedan alcanzar dicha temperatura, en algunos casos simplemente revistiéndolos con un acabado de color blanco.

4. Refuerzos por sustitución

En esta tipología de refuerzo, el propio material de refuerzo ha de recibir parte, o incluso la totalidad [1,3], de las cargas que previamente bajaban por la sección original del pilar. Como se ha indicado, el reparto de cargas entre el refuerzo y el soporte existente presenta numerosas incertidumbres [23], por lo que, en diseño, es habitual disponer de los detalles constructivos adecuados para que, en caso de fallo de la estructura, su carga sea totalmente transferida a la estructura de refuerzo [24], aunque dado que no es habitual descargar el 100% de la estructura (al menos el peso propio por ejemplo seguirá estando soportado por el soporte original, salvo colapso de este último), el soporte original seguirá cargado.

Si, como es habitual, no existe conexión mecánica a lo largo del fuste con el «nuevo» pilar, pudiendo incluso no estar en contacto, para que las cargas del pilar a reforzar se transfieran al refuerzo, se requiere de algún mecanismo que entregue las cargas al «nuevo» pilar en su cabeza y le permita a su vez transmitir las en la base, siendo este mecanismo un aspecto determinante. Los mecanismos habituales son:

- Capiteles. Este mecanismo transferiría la carga del forjado superior al «nuevo» pilar (o del refuerzo a la cimentación del mismo), si bien se han de tomar las precauciones necesarias

para evitar la concentración de tensiones en zonas puntuales. Además, si el refuerzo también ha de recibir las cargas del tramo superior, y no solo del forjado, es necesario evaluar la capacidad del nudo, siendo bastante habitual que el mismo no tenga capacidad suficiente para transferir la tracción en la parte inferior del mismo (Fig. 10 [8]).

- Transmisión a través de distintas plantas por el mecanismo de adherencia. Si, para transmitir las cargas al «nuevo» pilar, el nudo no tiene la capacidad resistente necesaria, se han de desviar las fuerzas que bajan por los tramos superiores, lo que siempre es complicado y no siempre posible. Normalmente, es necesario extender el refuerzo a los tramos superiores e inferiores siendo, por ello, obligado a través de los forjados intermedios de modo que se garantice la continuidad del refuerzo. Este mecanismo de transferencia puede afectar a tan solo la planta inmediatamente superior e inferior, o a más plantas, siendo necesario en todas aquellas en las que se produzca transferencia garantizar el contacto entre el refuerzo y el soporte con objeto de movilizar el esfuerzo rasante requerido.

4.1. Refuerzos por sustitución metálicos

Este tipo de refuerzos no se suelen definir con chapas continuas en toda la longitud del soporte, sino que la tipología más habitual corresponde a angulares o UPN dispuestos en las esquinas del pilar a reforzar unidos entre sí mediante presillas.

Como hemos indicado, lo habitual es que el refuerzo se calcule para la totalidad de la carga, si bien este aspecto conduce a secciones pesadas, pero hacer colaborar al soporte existente con el refuerzo presenta incertidumbres de cálculo (reparto de solicitaciones, balance de rigideces,...) que desaconsejan tal asunción de comportamiento conjunto [25].

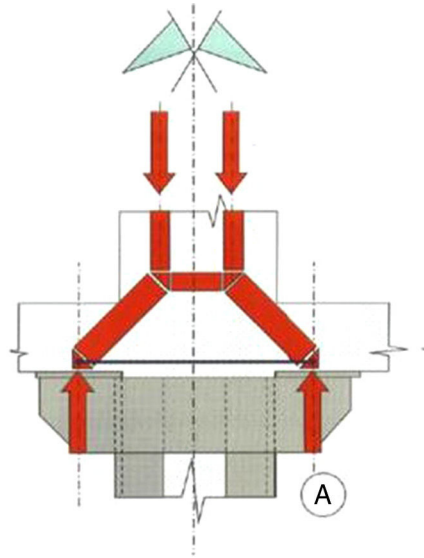


Figura 10. Detalle de refuerzo de capitel [8].

En la mayoría de los casos, para la entrada en carga del «nuevo» pilar, no es suficiente con la disposición de capiteles, sino que es necesario movilizar la transmisión de esfuerzos desde las plantas superiores a través del mecanismo de adherencia entre los distintos tramos de soporte y refuerzo. En estas circunstancias, en todos los tramos a través de distintas plantas se ha de asegurar el contacto, así como se ha de asegurar la transmisión en el nudo, lo cual conlleva ejecuciones complicadas en la mayoría de los casos (Fig. 11).

De manera general, los «nuevos» pilares se montan a partir de piezas que se sueldan en obra siendo necesario verificar la correcta ejecución de las uniones con objeto de garantizar el correcto comportamiento como sección compuesta. Esta ejecución ha de cumplir los mismos requisitos de ejecución en obra que cualquier elemento de estructura metálica, destacando que se ha de evitar el precalentamiento de la soldadura, cuyo posterior enfriamiento podría provocar fisuración que dañase la resina, así como se han de evitar daños en la resina o mortero que pueda haberse dispuesto entre el soporte y el refuerzo y que permita el contacto para la transmisión de esfuerzos antes indicada.

4.2. Encamisado de hormigón

En este tipo de refuerzo se define un pilar de hormigón en torno al existente que sea el encargado de transmitir los esfuerzos como si de un «nuevo» pilar se tratase. Los espesores de recrecido vienen fijados por razones constructivas y difícilmente bajan de 7 a 10 cm y, si bien hay estudios que demuestran que se forma una sección compuesta [23], lo habitual es no contar con el pilar existente [3].

Garantizar la continuidad de las armaduras es más complejo en el caso de refuerzos que requieran la transmisión de tracciones, dadas las dificultades que plantea el solape de las armaduras en estos casos. Por ello, lo habitual es plantear este tipo de refuerzo principalmente frente a esfuerzos axiales, con soluciones que incluyen el paso de las armaduras por los forjados, la ejecución de una zapata en la que cimentar el «nuevo» pilar, así como el tratamiento de la interfaz y la forma de hormigonado, entre otros aspectos.

Inicialmente, para lograr que el recrecido reciba las cargas será necesario, como se ha indicado, disponer capiteles o bien



Figura 11. Ejemplos de transmisión de cargas (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).



Figura 12. Continuidad de la armadura (refuerzos ejecutados tras el sismo en Lorca).

actuar sobre las plantas superiores, con la longitud de transferencia necesaria en cada caso, si la transmisión es por tensiones tangenciales.

Las tensiones tangenciales [23] en el contacto se pueden movilizar [10] por distintos mecanismos, con distinta magnitud, según se disponga de armadura cosiendo la junta o no. Si, como es habitual, se evita disponer armadura de cosido, el fallo es frágil y la tensión rasante de agotamiento será función, entre otros aspectos, de la rugosidad del contacto, por lo que será determinante el tratamiento de la superficie de contacto con objeto de reducir las longitudes de transferencia, así como llevar a cabo el tratamiento de dicha interfaz (habitualmente, tratamiento con

chorro de arena o chorro de agua, dejando el árido grueso a la vista) para garantizar la rugosidad considerada [26]. Cabe destacar que, normalmente, la longitud de transferencia es inferior a la altura libre del pilar en los niveles superior e inferior, por lo que suele ser suficiente comprobar que extendiendo el refuerzo en una planta superior e inferior al tramo reforzado las tensiones tangenciales son moderadas.

Si la sección tiene armadura de cosido eficazmente anclada, se incrementa la tensión rasante a movilizar y la ductilidad. Esta armadura puede considerarse en el cálculo siempre y cuando la misma cumpla las limitaciones de cuantía mínima y separación entre armaduras de cosido recogidas en la Instrucción [9].

Para garantizar el contacto entre el refuerzo y el soporte es también necesario estudiar el hormigonado, condicionado por los reducidos espesores habituales antes indicados, así como las condiciones de ejecución y accesibilidad existentes en estas actuaciones de refuerzo.

Será necesario reducir la retracción con objeto de garantizar que se mantiene el contacto del recrecido con el soporte, de modo que, antes del vertido, el estado de humedad de la superficie del soporte debe ser de masa saturada pero con superficie tendiendo a seca y, en cualquier caso, evitando el encharcamiento de la superficie.

En relación con el vertido, hay que destacar que se plantea como alternativa ejecutar dicho recrecido mediante proyectado [8], lo cual ha permitido en distintas realizaciones reducir el espesor del recrecido a valores de 5 cm, siendo necesario en este caso tomar las precauciones necesarias para evitar que se queden zonas sin proyectar, zonas en sombra, por detrás de las armaduras en el espacio existente entre la armadura y el soporte. Indica [8] que el empleo de microhormigón de altas prestaciones elimina alguno de los condicionantes de ejecución citados.

Este «nuevo» pilar tendrá armadura que ha de cumplir los criterios de cuantía mecánica y geométrica mínima así como solaparse y anclarse de manera adecuada, por lo que, con objeto de garantizar la entrada en carga del refuerzo desde plantas superiores, normalmente requerirá ser continua a través de los forjados (Fig. 12).

Tal y como se ha indicado anteriormente, se habrá de cuidar la terminación de dicha camisa al llegar a la cimentación, siendo necesario garantizar la correcta transmisión de cargas a la cimentación [24].

5. Conclusiones

La resolución de detalles en los refuerzos de pilares de hormigón armado condiciona su efectividad. Si bien la mayoría de las distintas normas y guías de aplicación recogen las comprobaciones a realizar y detalles a cumplir, hemos encontrado ejemplos de refuerzos cuya justificación no parece encuadrarse dentro de las especificaciones antes indicadas. En este sentido, son numerosas las actuaciones en las que la ejecución no ha respetado los detalles específicos que se requieren para la correcta entrada en carga del refuerzo.

En nuestra opinión, es necesario que todo refuerzo parta del análisis de la estructura existente, de modo que, evaluado este y establecidas las acciones de cálculo, se proyecte el mismo de acuerdo con la normativa actual y se ejecute con un control riguroso que permita verificar el cumplimiento de todos los detalles que una actuación tan singular como un refuerzo requieren. Solo la aplicación de esta metodología permitirá que dichos refuerzos se encuentren justificados y sean efectivos.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su gratitud a INTEMAC y a la ETS Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid por el acceso a la bibliografía y documentación gráfica facilitada.

Bibliografía

- [1] Grupo de Trabajo 5/12 de ACHE, Refuerzo de pilares de hormigón armado, Monografía M-29 ACHE, 2016.
- [2] F. Gómez-Martínez, A. Pérez-García, F. de Luca, G.M. Verderame, Comportamiento de los edificios de HA con tabiquería durante el sismo de Lorca de 2011: aplicación del método FAST, *Informes de la Construcción* 67 (2015) e065, <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.110>.
- [3] D. Domínguez, F. López-Almansa, A.F. Benavent-Climent, Comportamiento, para el terremoto de Lorca de 11-05-2011, de edificios de vigas planas proyectados sin tener en cuenta la acción sísmica, *Informes de la Construcción* 66 (2014) 533.
- [4] A. Espeche, J. León, H. Corres, H., Refuerzo de pilares con encamisado de hormigón. Un enfoque distinto, Grupo Hormigón Estructural, ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2016.
- [5] F. Regalado, Los Pilares: Criterios para su Proyecto, Cálculo y Reparación, Biblioteca Técnica, 2001.
- [6] J.L. Ramírez, J.M. Bárcena, J.L. Urreta, J.A. Sánchez, Efficiency of short steel jackets for strengthening square section columns, *Constr. Build. Mater.* 11 (1997) 345–352.
- [7] M. Martín, L. Peset, P. Chico, Mejora y ampliación de la estación de Sants, *Hormigón y Acero* 62 (2011) 259.
- [8] R. Álvarez, E. Díaz-Pavón, R. Rodríguez, El Terremoto de Lorca. Efectos en los Edificios, Consorcio de Compensación de Seguros, España, 2013.
- [9] EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural, Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2008.
- [10] EAE Instrucción de Acero Estructural, Ministerio de Fomento, Gobierno de España, 2011.
- [11] UNE-EN 1993-1-1:2013. Eurocódigo 3: Proyecto de Estructuras de Acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios, AENOR, 1, 2013.
- [12] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, ACI 440R.2R-08, 2008.
- [13] FRP Reinforcement in RC structures, *Fib Bulletin* 14, 2007.
- [14] Retrofitting of concrete structures by externally bonded FRPs with emphasis on seismic applications, *Fib Bulletin* 35, 2006.
- [15] TR55. Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite materials: Acceptance, inspection and monitoring, Technical report n° 55 of the Concrete Society, UK, 2003.
- [16] CNR-DT 200 R1, Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 2013.
- [17] L. Lam, J.G. Teng, Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete, *Constr. Build. Mater.* 17 (2003) 471–489.
- [18] L. Lam, J.G. Teng, Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete in rectangular columns, *J. Reinf. Plast. Compos.* 22 (2003) 1149–1186.
- [19] A. De Diego, A. Arteaga, J. Fernández, R. Perera, D. Cisneros, Behaviour of FRP confined concrete in square columns, *Mater. Construcc.* 65 (2015), <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2015.05414>.
- [20] R. Perera, A. Recuero, A. de Diego, C. López, Confinamiento de pilares cuadrados de hormigón armado con encamisado prefabricado de material compuesto, *Hormigón y Acero* 235 (2005) 43–52.
- [21] G. Karam, M. Tabbara, Corner effects in CFRP-wrapped square columns, *Mag. Concrete. Res.* 56 (2004) 461–464.
- [22] T. Vincent, T. Ozbakkaloglu, Influence of fiber orientation and specimen end condition on axial compressive behavior of FRP-confined concrete, *Constr. Build. Mater.* 47 (2013) 814–826.
- [23] B. Navarete, Transferencia de carga en pilares de hormigón con encamisados del mismo material. Un estudio experimental, *Cuadernos INTEMAC* (50) (2003) 1–43.
- [24] Seismic assessment and retrofit of reinforced concrete buildings, *Boletín* n° 24, CEB FIP, 2003.
- [25] Refuerzo de estructuras de Hormigón en masa, armado y pretensado, Curso INTEMAC, 2007.
- [26] J. Calavera, *Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado*, 2.ª ed., INTEMAC, 2005.