

ANCLAJE/SOLAPE DE BARRAS CORRUGADAS CON RESINA

Eduardo Gimeno Fungairiño y Daniel Bianchi Munuera - Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. NB35 Ingeniería.
Simao Pedro Fonseca - Hilti Española, S.A.

Como continuación al artículo de grifado de barras, publicado en el número 25 de la revista, se va a abordar otro de los procedimientos de reparación realizados comúnmente en obra. Se trata de los anclajes de barras al hormigón, más comúnmente conocido como “pinchado de barras” y el uso de la resina comercial.

Se van a distinguir entre los casos en los que su uso es estrictamente necesario y aquellos otros, que aunque evitables, se procede de forma cotidiana a su ejecución.

ANCLAJES HABITUALES

Anclaje de barras verticales

Es habitual que en la ejecución de muros y pilares se produzcan problemas derivados de un fallo en el replanteo de las armaduras, de forma que las correspondientes esperas quedan, o muy separadas de su barra solapada, o fuera de replanteo. En el artículo anterior (Zuncho nº 25) nos centramos en el grifado de barras destacando la forma correcta de efectuarlo y los riesgos que implica una mala ejecución del mismo.

El grifado de barras tiene unos límites admisibles, de forma que cuando no es factible su ejecución, por ejemplo por quedar seriamente comprometida la integridad de la barra o la continuidad de los esfuerzos, ha de procederse necesariamente al “pinchado de barras con resina”.

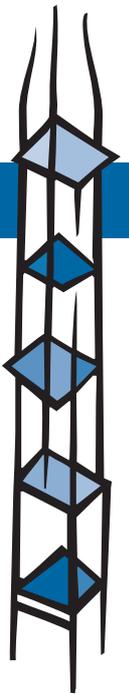
En función de la solución técnica a aplicar, se puede proceder a realizar tanto un anclaje de barras, como un solape de las mismas.

Esta solución es una respuesta a una mala ejecución y, por lo tanto, el primer paso de todo técnico es implantar las medidas necesarias para intentar evitarlo o, en el caso de que ya se haya producido, para que no vuelva a repetirse a lo largo de la obra (replanteos adecuados, intensificación de los controles de ejecución, disposición de separadores efectivos, procesos de hormigonado, etc.).

En el caso de que se produzca, se debe analizar cuidadosamente si la ejecución del anclaje es necesaria o puede emplearse otra solución. A este respecto, es conveniente recordar que según el artículo 69.5.2.2 de la EHE-08 en armaduras comprimidas la separación entre barras solapadas puede llegar a ser, como máximo, de hasta $4 \varnothing$, lo que habrá que tener en cuenta a la hora de estimar la conveniencia o no de “enresinar barras”.

Como puede verse en la Figura 1, tanto en el caso de solapes o anclajes de barras es preciso efectuar una perforación en el hormigón con una profundidad suficiente para asegurar que se alcanza la longitud de solape o de anclaje de la barra. En el caso de solapes es conveniente respetar una cierta separación con relación a la barra existente, para evitar dañar el hormigón adherido a la misma, debiendo procurar que el taladro quede lo más vertical posible.

En la Figura 2 se presenta una mala práctica, común en la obra, fruto del escaso conocimiento de lo que se pretende hacer con





SOLUCIONES TÉCNICAS



Figura 1.- Solape y anclaje de barras verticales.

dichas soluciones tanto en el aspecto estructural, como de ejecución. En la fotografía podemos ver pares de barras en los que no habría sido necesaria la adopción de ninguna medida especial al ser la distancia existente entre las mismas inferior a $4 \varnothing$. En este caso, no sólo se ha procedido al grifado de las barras, sino también a la fijación mediante resina de una barra suplementaria para garantizar la continuidad en el solape.

ANCLAJE DE BARRAS HORIZONTALES.

Los anclajes de barras horizontales es una solución muy común en uniones de forjados de sótano a muros pantallas, pudiéndose

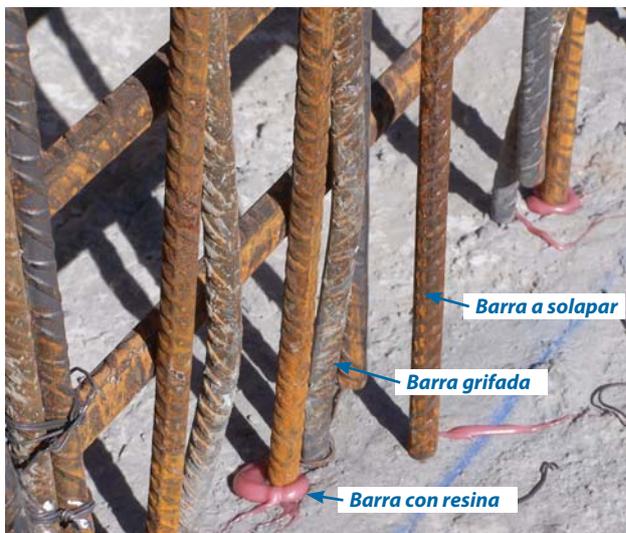


Figura 2.- Práctica errónea ejecutada frecuentemente en obra.

realizar uniones articuladas o uniones empotradas, en función de los anclajes que se realicen y de la disposición de éstos.

De igual forma, se podrían realizar dichas uniones en muros de hormigón, pero presenta una problemática algo mayor ya que en numerosas ocasiones los espesores de los muros son inferiores a las longitudes necesarias de empotramiento.

En ambas uniones, tanto en pantallas como en muros, es conveniente realizar una roza en la unión muro/losa para aportar cohesión y fricción suficiente entre los dos elementos.

En forjados horizontales podría también intentarse buscar solapes de barras mediante anclajes de tipo químico, pero es una práctica poco aconsejable por la multitud de problemas a los que puede dar lugar, como por ejemplo la realización de una perforación de profundidad comprometida y en horizontal, en general en una zona próxima al recubrimiento, en la que podrían inducirse fisuraciones ocultas del hormigón como consecuencia de movimientos del taladro, falta de espacio para una correcta ejecución, etc. En la Figura 5 se incluye un detalle tipo, para el caso de

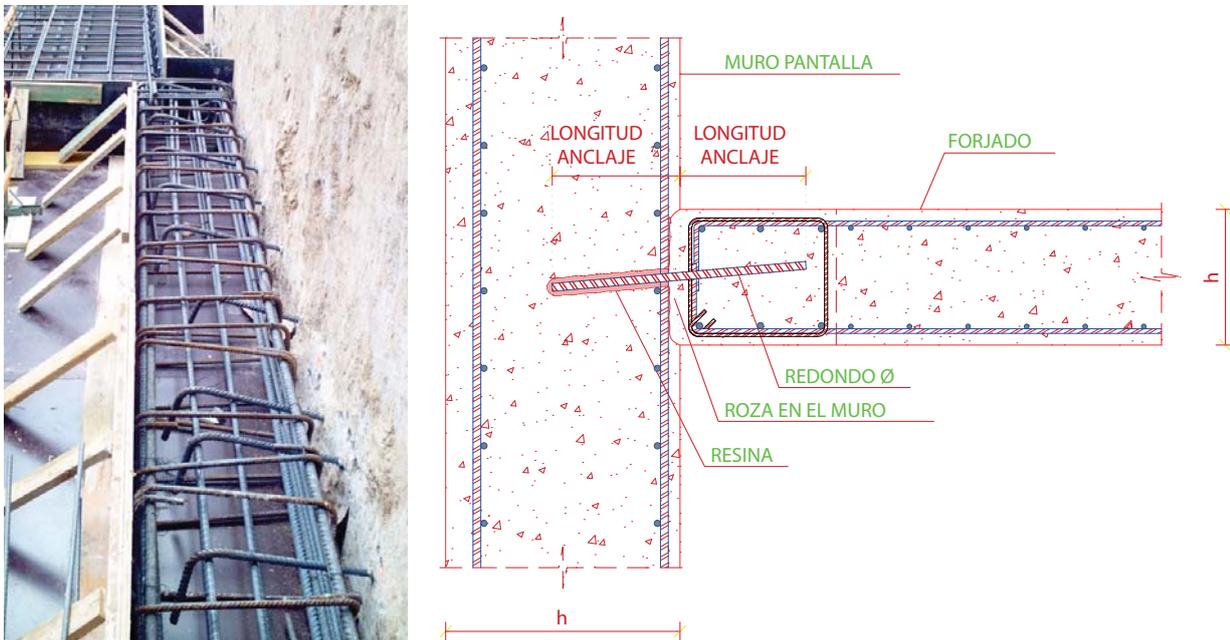


Figura 3.- Anclaje horizontal de barras en muros/pantallas.

que no quedase más remedio que llevarlo a cabo. Una solución alternativa consistiría en el picado de la losa en torno a los 10 \varnothing de la barra a solapar para proceder a efectuar un solape mediante soldadura resistente.

Anclaje de placas

Otra de las soluciones comúnmente empleada en obra es la ejecución del anclaje de los pernos de placas, tanto verticales como horizontales.

REQUISITOS DE DISEÑO

En todos los casos, las barras ancladas en el hormigón por medio de resinas han de dimensionarse como si se tratara de barras embebidas en el hormigón fresco ancladas por prolongación recta, debiendo cumplir todos los requisitos establecidos por la Instrucción EHE-08 en material de recubrimientos, separación entre barras, etc.

Adicionalmente, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones contenidas en el Informe Técnico de la EOTA-TR023 "Assesment of post-installed rebar



Figura 4.- Pantalla con rozas preparadas para la unión con los forjados.

connections". Este Informe Técnico cubre los casos en los que los anclajes se efectúan sobre hormigones no carbonatados con resistencias a compresión de hasta 50 N/mm², en los que se emplean aceros corrugados de los tipos S y SD. Quedan fuera de su alcance cuestiones relativas a la resistencia de los anclajes en situación de fuego, fatiga o tensiones producidas por acciones dinámicas o sismos.



SOLUCIONES TÉCNICAS

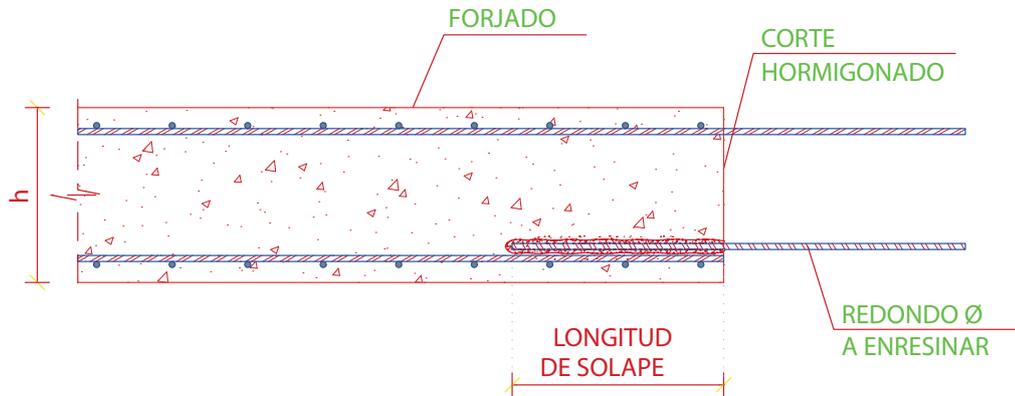


Figura 5.- Solape de barras horizontales con esperas cortas.

A) Recubrimiento mínimo

Para prevenir el posible daño que pudiera producirse en el hormigón durante el proceso de taladro, se debe asegurar un recubrimiento mínimo, c_{\min} , que será función de la longitud de empotramiento necesaria, l_v , del diámetro de la barra, \varnothing , y de un coeficiente α que tiene en cuenta las desviaciones asociadas al sistema de perforación.

Taladro con broca:

$$c_{\min} = 30 + \alpha \cdot l_v \geq 2 \varnothing$$

Taladro con aire comprimido:

$$c_{\min} = 50 + \alpha \cdot l_v \geq 2 \varnothing$$

El coeficiente α adopta un valor de 0,06 para taladros con broca y de 0,08 para taladros con aire comprimido, pudiendo reducirse en el caso de que se utilicen dispositivos especiales que garanticen la estabilidad del sistema de perforación.

B) Separación mínima entre barras ancladas

$$a = 40 \text{ mm} \geq 4 \varnothing$$

C) Longitud de anclaje

La longitud mínima de anclaje y solape se debe incrementar en un 50 %, a menos que se efectúen ensayos¹ en los que se compruebe que no existen diferencias entre la tensión de adherencia

de una barra anclada a posteriori y una barra embebida en el hormigón (considerado en estado fisurado con una abertura de fisura $w = 0,3 \text{ mm}$).

CONDICIONES DE ADHERENCIA

La adherencia con el hormigón se puede conseguir por medio de morteros sintéticos, morteros de cemento o mezcla de ambos, en los que se pueden incorporar fillers y/o aditivos. En todos los casos, han de respetarse las indicaciones técnicas de los productos de inyección utilizados, tanto en lo referente al diámetro de la perforación y su limpieza, como a las condiciones de aplicación de los mismos.

Para evaluar las condiciones de adherencia obtenidas con el sistema de anclaje empleado el Informe Técnico TR023 contempla un procedimiento que permite realizar el diseño de conformidad con el Eurocódigo 2 y, por consiguiente, con la Instrucción EHE-08 (artículo 69.5.1.2) para el caso en el que las características de adherencia de las barras se comprueba a partir del área proyectada de corrugas $f_{R'}$.

En la Tabla 1 se recogen los valores que deberían obtenerse en un ensayo de adherencia, conforme con el procedimiento descrito en la ETAG 001, parte 5, para considerarse que no existe diferencia alguna, a efectos

¹ Ensayo de tracción con confinamiento, descrito en la ETAG 001 – Parte 5.

Tabla 1.- Resistencia exigible a barras ancladas al hormigón (TR023).

Resistencia del hormigón (N/mm ²)	Tensión de adherencia, τ_{bd} , en posición I de hormigonado (N/mm ²)	Requisito de adherencia para barras ancladas a posteriori al hormigón, (N/mm ²) ⁽¹⁾
20	2,3	10,0
25	2,7	11,6
30	3,0	13,1
35	3,4	14,5
40	3,7	15,9
45	4,0	17,2
50	4,3	18,4

(1) Ensayo conforme a las condiciones establecidas en el Informe Técnico TR023.

de cálculo, entre una barra anclada a posteriori y una barra embebida en el hormigón fresco.

Para evaluar un determinado producto o procedimiento de anclaje es suficiente con efectuar los ensayos sobre la base de hormigones de 20 N/mm² y 50 N/mm² de resistencia característica a compresión. Si los resultados obtenidos son iguales o superiores a los indicados en la Tabla 1, el producto o procedimiento puede emplearse sin limitación alguna para todo el rango de resistencia de hormigones.

Si los resultados fuesen inferiores, se aplica un procedimiento en el que se corrigen las tensiones de adherencia a considerar en función del tipo de hormigón. Estas tensiones de cálculo deben venir especificadas en el documento de idoneidad técnica europea (ETA) que acompaña al producto o sistema. En la Figura 6 se recoge un ejemplo en el que los ensayos de adherencia efectuados no han alcanzado los valores especificados en la Tabla 1. En ordenadas se representan las tensiones medias de adherencia, τ_{bm} , del ensayo de anclaje tipo, mientras que en abscisas se representa la tensión de cálculo, τ_{bd} , a utilizar para calcular la longitud de anclaje en posición I de hormigonado. Como se ve, éstas últimas son

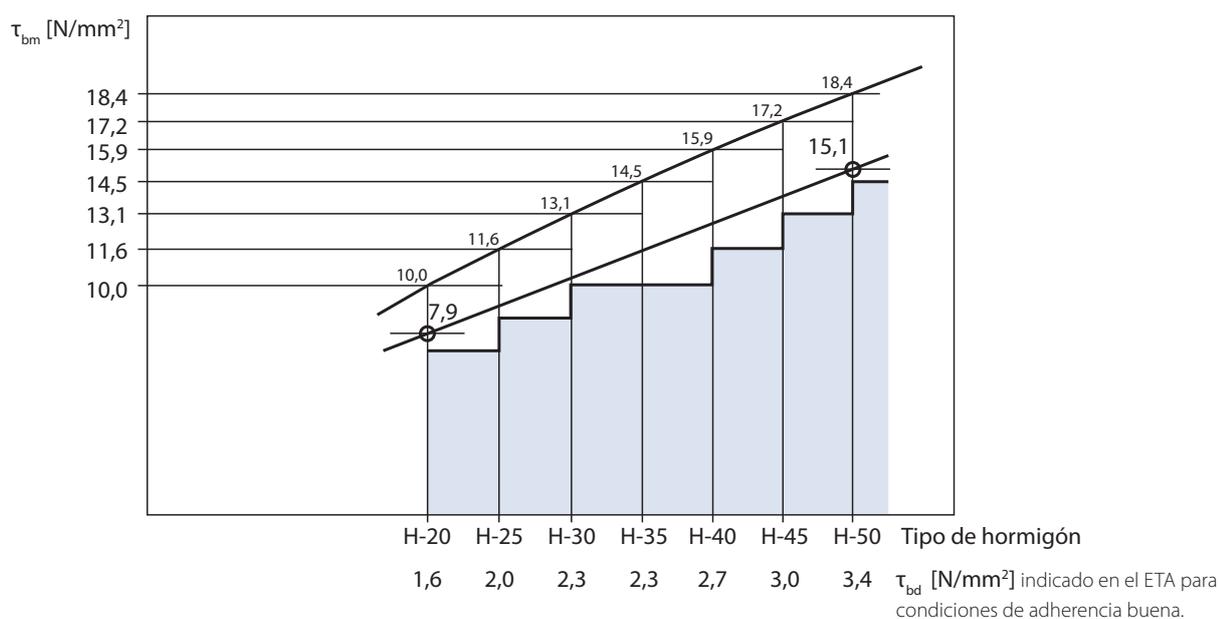


Figura 6.- Ejemplo de un sistema de anclaje que no alcance las condiciones de adherencia exigidas por el TR023.



SOLUCIONES TÉCNICAS

inferiores a las que tendría una barra embebida en el hormigón y por lo tanto las longitudes resultantes han de ser necesariamente mayores.

En el caso de las resinas químicas, los ensayos efectuados de acuerdo con el TR023 demuestran que alcanzan con facilidad los valores prescritos para poder considerar que desarrollan las mismas tensiones de adherencia que las que se obtendrían en el caso de las barras embebidas en el hormigón, considerando las condiciones más desfavorables de instalación: recubrimiento mínimo, separación mínima entre barras y armadura trasversal mínima.

FORMAS DE FALLO

Las formas de fallo de una barra anclada a posteriori al hormigón pueden agruparse de la siguiente forma:

- fallo por el acero,
- fallo por cono de hormigón,
- fallo por adherencia y/o fisuración .

Fallo por acero

El fallo por acero ocurre cuando la tensión a la que está sometida la barra sobrepasa su carga de rotura. En esta situación no se han superado las tensiones de adherencia del acero con el hormigón. La carga que soporta el anclaje depende, por tanto, del tipo de acero y de la sección transversal del mismo.

Rotura por cono de hormigón

Este modo de fallo se produce en aquellos casos en los que la profundidad de anclaje de la barra es insuficiente para resistir las cargas a las que está sometida. Las tracciones a las que se ve sometido el hormigón son muy grandes, de manera que se desarrolla una superficie de rotura con una típica forma cónica de la que toma nombre este de fallo.

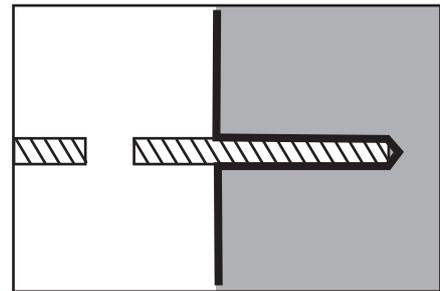
Interacción de los modos de fallo por adherencia "pull-out" y fisuración "splitting"

La transferencia de esfuerzos de las barras corrugadas al hormigón se hace a través del apoyo de las corrugas contra éste. Se asume que la fuerza de reacción en el hormigón forma una biela

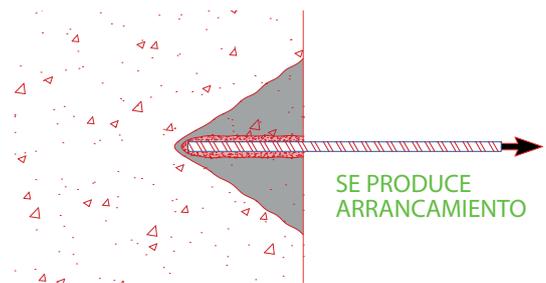
de compresión con un ángulo de 45°. Las fuerzas de fisuración resultantes son perpendiculares a la barra, y están controladas por el recubrimiento de hormigón, la separación entre barras, y la disposición de armaduras transversales de refuerzo.

Si el confinamiento de la barra corrugada es suficiente para prevenir la fisuración del hormigón, el fallo de la unión se da por el fallo de la barra en estado límite último. Tendríamos así la forma de fallo por acero.

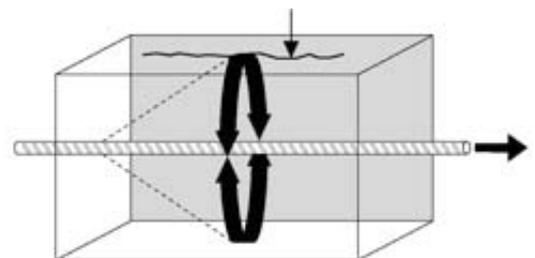
Si se comienzan a producir fisuras transversales desde los extremos de las corrugas, se forman pequeñas mén-



a) Fallo por acero.



b) Fallo por cono de hormigón.



c) Fallo por adherencia y/o fisuración.

Figura 7.- Diversas formas de fallo.

sulas de hormigón entre cada dos fisuras consecutivas, que transfieren la carga al hormigón no fisurado y experimentan una cierta flexión que contribuye al deslizamiento relativo entre el acero y el hormigón. En el caso de que se produjese el agotamiento de la resistencia al corte de estas ménsulas, se produciría un fallo por adherencia o "pull-out".

Si, por el contrario, no se produce el fallo de esta ménsula, las grietas radiales se propagan a lo largo del recubrimiento dando lugar a la aparición de fisuras longitudinales, indicativas de que se ha producido un fallo por fisuración o "splitting". En este caso, la tensión de adherencia máxima está controlada por la resistencia a tracción del hormigón.

El mecanismo de transferencia de esfuerzos en barras corrugadas ancladas a posteriori es similar a la de las barras corrugadas embebidas. La eficiencia de la adherencia depende de la tensión de adherencia de la resina en oposición a los esfuerzos próximos a las corrugas, y de la capacidad de transferencia de esfuerzos en el interfaz de las paredes del taladro. En muchos casos, los valores de tensión de adherencia de las barras instaladas a posteriori son más elevados que los de las barras embebidas, no solamente porque la capacidad de adherencia de la resina química es superior a la del hormigón, sino también porque tiene más facilidad en envolver toda la superficie de la barra y del hormigón circundante.

Para distancias a borde pequeñas y/o separación entre barras reducidas, las fuerzas de fisuración son decisivas, una vez más porque la resistencia a tracción del hormigón es baja.

EJECUCIÓN DEL TALADRO

Por la relevancia que presenta en el comportamiento final de cualquier anclaje, es preciso efectuar algunos comentarios sobre el procedimiento de ejecución del taladro.

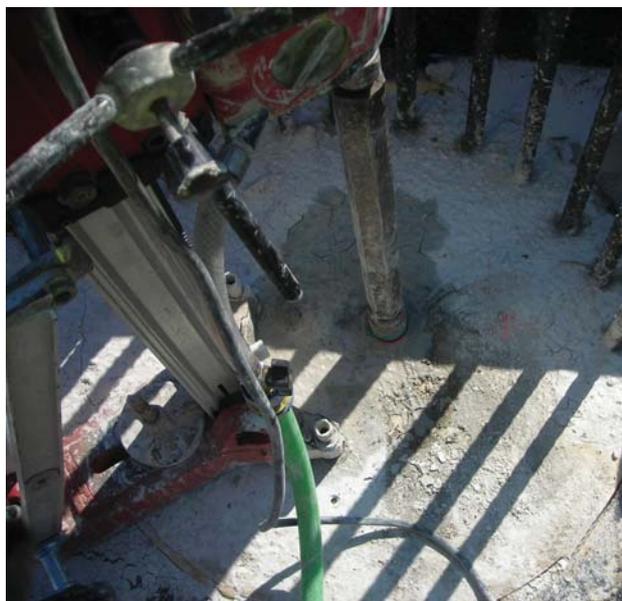


Figura 8.- Taladro por perforación.

En el mercado, se dispone de varios tipos de maquinaria para la ejecución de los taladros; por un lado el taladro manual con broca y por otro los taladros de perforación con corona refrigerada con agua. Con los primeros la profundidad de taladro está muy limitada pero no se afecta a las armaduras, mientras que con los segundos se puede eliminar no sólo el hormigón sino también las armaduras que se vean afectadas por el corte, pudiendo llegar a profundidades considerables.

En ambos casos, es muy recomendable, por no decir imprescindible, que la ejecución de estos trabajos se realice por parte de personal cualificado y formado, puesto que en el resultado final van a influir numerosos factores, como por ejemplo el diámetro y profundidad de la perforación, su limpieza, la cantidad de resina a emplear o la colocación del propio corrugado.

Alguno de los errores más frecuentes que se detectan en la ejecución de los anclajes con resina son los siguientes:

1. En el caso de taladros horizontales la aplicación de la resina es complicada, pudiendo producirse derrames de manera que la barra no queda adecuadamente recubierta, existiendo un elevado riesgo de que el anclaje sea parcial o que la barra quede prácticamente suelta (Figura 9 a)).



SOLUCIONES TÉCNICAS

2. Una limpieza insuficiente del taladro puede hacer que se mantenga una acumulación de polvo, lo que puede tener dos consecuencias inmediatas. La primera es que el taladro no tenga la profundidad total necesaria y la segunda que se vean afectadas

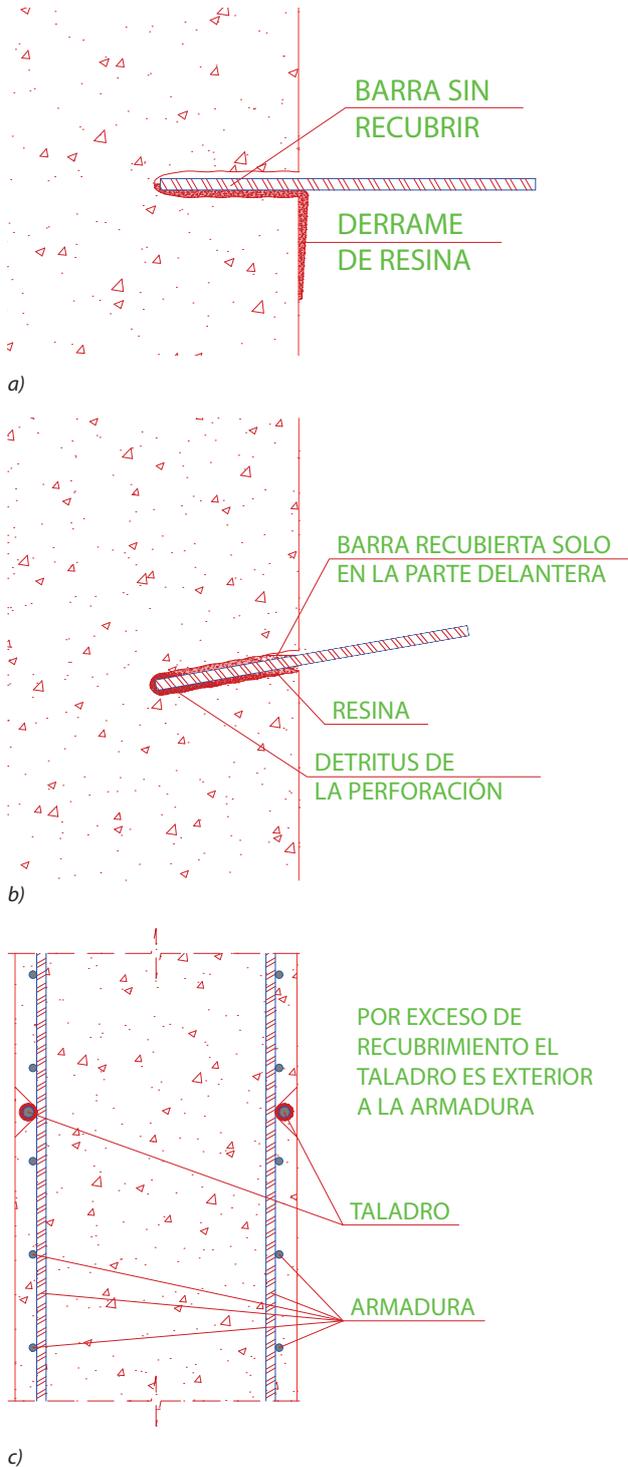


Figura 9.- Errores más frecuentes en la ejecución de anclajes.



Figura 10.- Fallo en una placa de anclaje por mala ejecución.

las condiciones de adherencia de la resina con las paredes del taladro como consecuencia de esta suciedad. Para evitarlo, es imprescindible que cuando la limpieza se efectúe con aire comprimido la boquilla se introduzca hasta el fondo del taladro para expulsar la mayor parte del polvo existente y que posteriormente se proceda a su limpieza con agua para eliminarlo totalmente (Figura 9 b)).

3. En la colocación de placas de anclaje en muros o pilares existentes es frecuente que al hacer los taladros para la colocación de los pernos se realicen por fuera de la armadura, dando lugar a un anclaje falso de muy poca resistencia y rotura frágil (Figura 9 c)).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GIMENO, E. y BIANCHI, D. "Grifado de barras". Zunchos nº 25, Septiembre 2010.
- [2] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. Technical Report TR023 "Assessment of post-installed rebar connections". November 2006.
- [3] EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. ETAG 001 "Guideline for european technical approval of metal anchors for use in concrete. Part 5: bonded anchors". February 2008.