

RIESGOS

DEL SISTEMA ACTUAL DE REPARACIÓN DE
HORMIGÓN ARMADO

NUEVOS

PLANTEAMIENTOS CON ACERO CORRUGADO

INOXIDABLE

Antonio SALMERÓN MARTÍNEZ
Miguel SALVADOR LANDMANN

RebarinoX

Editor



Asociación para el Desarrollo y
la Investigación del Acero Inoxidable
Santiago de Compostela, 100
28035 Madrid, España
T +34 91 398 52 31 - 32 - 33
cedinox@acerinox.com
www.cedinnox.es

Aviso legal

Cedinnox se ha esforzado en ofrecer una información técnicamente correcta. Sin embargo, se hace notar que el contenido de este material tiene un carácter informativo. Cedinnox, sus miembros, personal y asesores rechazan cualquier compromiso o responsabilidad por pérdida, daño o lesión provocado por el uso de la información contenida en esta publicación.

Editorial

Riesgos del Sistema actual de reparación del Hormigón Armado.
Nuevos Planteamientos con ACERO CORRUGADO INOXIDABLE
Primera edición, 2020

© Madrid, Asociación para la Investigación y Desarrollo del Acero
Inoxidable. Cedinnox 2020. Todos los derechos reservados.

Depósito legal: M-7485-2020

Cedinox es la Asociación Española para el Desarrollo y la Investigación del Acero Inoxidable. Creada en 1985 por los productores de acero inoxidable de España y uno de los principales suministradores de materias primas del mundo, nuestros principales fines son:

- Promover la creatividad, difusión, empleo y puesta al día de los aceros inoxidables.
- Organizar visitas, jornadas, cursos y exposiciones que promuevan aplicaciones del acero inoxidable.
- Comunicar todas las novedades técnicas y dar asistencia a las empresas interesadas.
- Contactar con otras organizaciones similares en el extranjero y específicamente con las de la Unión Europea.
- La creación de un centro de documentación tanto técnica como estadística.
- La publicación de documentos, revistas, manuales o cualquier edición de interés, que contribuya al desarrollo del mercado de los aceros inoxidables.

Autores

SALMERON y LANDMANN Arquitectura es un estudio de arquitectura formado por Miguel Salvador Landmann y Antonio Salmerón Martínez, especializado en el diagnóstico de daños en la edificación y en su reparación con una experiencia acumulada superior a los 25 años.

Mantiene un talante investigador siendo pioneros en la utilización de acero inoxidable en reparación, al igual que de inhibidor de corrosión. Dicha investigación tiene como seña de identidad surgir siempre desde los problemas de la realidad construida.

Agradecimientos

Los siguientes agentes han proporcionado soporte técnico para la edición de esta publicación, y su colaboración dentro del convenio con la Universidad de Alicante de estudio sobre la reparación de hormigón armado con corrugado inoxidable en obras, es altamente agradecida:

- La UNIVERSIDAD de ALICANTE(*)
- SALVADOR IVORRA CHORRO, Catedrático y Director del departamento de Ingeniería Civil en la Universidad de Alicante.
- MIGUEL ÁNGEL CLIMENT LLORCA, Catedrático. Departamento de Ingeniería Civil. Tecnología de la corrosión.
- ÁNGEL BENIGNO GONZÁLEZ AVILÉS, Subdirector en Grado de Arquitectura
- SALMERÓN Y LANDMANN Arquitectura SL

Agradecer también la participación de las siguientes entidades y profesionales:

- AKRA Rehabilitación SL.
- EI INSTITUTO TECNOLÓGICO del METAL
- MANUEL ARACIL CADENAS

(*) Informe técnico disponible en: www.cedinox.es ▶ Publicaciones ▶ Documentos online ▶ Categoría "Rehabilitación"

CARTA ABIERTA AL PRESCRIPTOR

Te supongo con un ejemplar de la publicación que hemos realizado para CEDINOX en tus manos y entre la multitud de razones por las que has acabado con un ejemplar, una de ellas es que alguien te ha dicho que lo de usar acero inoxidable corrugado es un tema interesante que conviene considerar, sobre todo cuando se usa en reparación.

Pero...¿Tú quién eres?

Permíteme que me presente. Soy Miguel Salvador Landmann, arquitecto, que junto a Antonio Salmerón Martínez, también arquitecto dirigimos un estudio de Arquitectura en Alicante. Nos hemos especializado en la elaboración de dictámenes de lesiones y proyectos de reparación. Estamos con este tipo de actividad unos 25 años, lo que nos ha permitido tener una fuerte experiencia en este sector.

¿Qué es lo que quieres de mí?

Dado que tienes la publicación en tus manos quisiera comentarte un par de cosas sobre ella. Y he pensado que el mejor modo de hacerlo sería mediante una hipotética conversación entre tú y yo, tu arquitecto prescriptor y yo uno de los arquitectos autores de la publicación.

¿Eso me permitirá hacer preguntas? ¿Incluso interrumpiendo?

Digamos que sí.

Entonces adelante

Empecemos. Te habrás dado cuenta que los elementos constructivos que más destacan a efectos de reparación son los estructurales y concretamente los de hormigón armado.

Por supuesto.

En la zona costera mediterránea, con alto grado de humedad, temperaturas medias altas y presencia elevada de cloruros, las estructuras de hormigón armado se están viendo afectadas por la corrosión de sus armaduras y dada la situación, el problema no ha hecho más que empezar. Esta no es una situación reciente, lleva pasando hace algún tiempo, de hecho CONREPNET. . . .

¿CONREP qué? . . . ¿Eso qué es?

CONREPNET es un programa de investigación con fondos europeos especializado en el seguimiento de las reparaciones de elementos de hormigón afectados por la corrosión. Esta red temática se lanzó en Madrid en el 2003. Anunció en el 2007 que casi el 50% de las reparaciones e intervenciones muestran signo de fallo en el intervalo de los 5 primeros años y de ellos un porcentaje significativo se debe a errores imputables al prescriptor. ¿Qué te parece?

Me parece increíble.

De ese estudio, cuando lo lees con atención, te darás cuenta que se puede concluir que el sistema tradicional de reparación del hormigón armado conlleva una serie de riesgos importantes en su ejecución, algunos de ellos inherentes al sistema.

¿Inherentes?

Sí, inherentes, totalmente inherentes. Quiero decir que, por la propia geometría de las barras y su entrelazado, existen puntos, más bien recovecos que no son accesibles desde la práctica común de la construcción. Tal vez planteados desde una óptica de minuciosidad que quedaría fuera del ámbito

de la construcción podrían ser resueltos, pero este planteamiento no cabe tenerlo en consideración en el medio que nos movemos. O sea, se quedan sin resolver.

Es cierto que se está avanzando en la regulación del sistema de reparación tanto en normativa como en estudios al respecto y una buena utilización de esa normativa y estudio nos puede ayudar a minimizar los riesgos, pero lo que no pueden resolver son esos puntos negros inherentes del sistema.

Y claro, la "solución" de hacer la vista gorda, solo te asegura que si hay demanda te toca seguro.

En definitiva, la situación no se resuelve aumentando el control.

Te has quedado de piedra, ¿verdad?

Sí, por supuesto.

Pues créete lo que te digo. El libro analiza estos riesgos haciendo ver con todo detalle donde se encuentran y cuál es su causa.

Entonces ¿cuál es la salida?

Proponemos un sistema de reparación diferente basado en la utilización de un material que no se altere durante la vida del edificio, que no se corroa, porque si no hay corrosión no hay problema, o sea, acero inoxidable.

Comprobaremos que en su utilización no existen los riesgos propios del sistema actual y por lo tanto no pueden cometerse sus fallos derivados.

Bueno, ¿te parece que te puede interesar el tema?

Todo lo que me has comentado me parece interesante, pero falta información vital, sin ella todo esto puede ser un sueño de una noche de verano.

Ante ese comentario dos ideas te habrán asaltado de inmediato. Deja que me aventure a suponer las que son, a riesgo de una fuerte equivocación. Podrías haber pensado lo siguiente:

1. Seguro que funciona de cine, las prestaciones del acero inoxidable están fuera de toda duda.
2. Pero el inoxidable es prohibitivo. Solo para casos donde la imagen es esencial compensaría el gasto.

No has ido nada desencaminado.

Te propongo analizar estos dos comentarios.

Muy bien

Las prestaciones del inoxidable están fuera de toda duda, por supuesto. Comparto esta afirmación, pero todos sabemos más o menos sobre el AISI 316, AISI 304, y ahí se acaba. Conviene saber que hay un acero específico para las armaduras, el Dúplex que además es más económico que los mencionados.

Pero pasemos a la segunda consideración: la de que es prohibitivo.

Aquí está la clave para su posible utilización

El capítulo 1 de esta publicación tiene por título "Cálculo de costes de mantenimiento y retorno de la inversión". Este capítulo, el 1º, lo hemos dedicado a dejar claro que en reparación salen los números. Tiene una explicación muy sencilla, la cantidad de mano de obra que se ahorra al poner acero inoxidable hace viable la operación. Y eso sin contar con la garantía y calidad que supone poner una barra de acero inoxidable en lugar de una de acero al carbono. Y además la tranquilidad de que está a prueba de demandas.

Hombre si eso es como dices no habría duda alguna sobre su utilización.

Bueno pues te dejo con la lectura de la publicación y que disfrutes.

Capítulo 1

Cálculo de costes de mantenimiento y retorno de la inversión	10
1. Consideraciones previas	15
1.1. Obras de reparación	16
1.1.1. La reparación	18
1.1.2. Colaterales	24
1.1.3. Otros	28
1.2. Actuaciones más habituales	30
2. Reparación del hormigón	33
2.1. Tipos de reparación	34
2.1.1. Elementos	36
2.1.2. Grados de intervención	42
2.2. Rendimientos	44
2.3. Repercusión de la reparación	48
3. Estimación de durabilidad	51
3.1. Cálculo simplificado de durabilidad	52
3.1.1. Método de cálculo simplificado	54
3.2. Estimación de vida útil	64
3.2.1. Estimación de vida útil	66
3.2.2. Plan de intervención	68
3.2.3. Costes de mantenimiento	70
3.2.4. Retorno de la inversión	72

Capítulo 2

Guía de prescripción	74
4. Fase de prospección	77
4.1. Datos iniciales	78
4.1.1. Toma de datos	80
4.1.2. Catas y ensayos	100
4.2. Diagnóstico	104
4.2.1. Origen de la afección	106
4.2.2. Ejemplo de análisis	108
4.3. Evaluación de la situación	112
4.3.1. El elemento	114
4.3.2. Exigencias programáticas	116
5. Fase de prescripción	119
5.1. El acero inoxidable	120
5.1.1. Tipos de acero inoxidable	122
5.1.2. Precios	136
5.2. Propuesta de intervención	138
5.2.1. Sistemas de reparación	140
5.2.2. Estimación inicial de obra	144
5.3. Descripción del proceso de ejecución	146
5.3.1. Temas previos	148
5.3.2. Procedimiento de cambio	150

6. Fase documental	161
6.1. Aspectos sobre el presupuesto	162
6.1.1. Los precios	164
6.1.2. Estrategias presupuestarias	166
6.2. Aspectos sobre la ejecución	168
6.2.1. Materiales específicos	170
6.2.2. Especificaciones de ejecución	172
6.3. Otros aspectos	176
6.3.1. Sobre el control	178
6.3.2. Sobre la documentación	180

Capítulo 3

Riesgos en la ejecución	184
7. Recepción de materiales	187
7.1. Documentación	188
7.1.1. Fichas técnicas	190
7.1.2. Etiquetado	192
7.1.3. Albarán	194
7.1.4. Certificados	196
7.1.5. Trazabilidad	198
7.2. Inspección	200
7.2.1. Inspección in situ	202
7.2.2. Ensayos de composición	204
8. Puesta en obra	207
8.1. Procesos	208
8.1.1. Paso 1. Picado del hormigón	210
8.1.2. Paso 2. Limpieza de las armaduras	214
8.1.3. Paso 3. Aplicación de protección	218
8.1.4. Paso 4. Aplicación del puente de adherencia	224
8.1.5. Paso 5. Aplicación del puente de unión	226
8.1.6. Paso 6. Aplicación de mortero	228
8.2. Evaluación de riesgos	232

Capítulo 4

Seguimiento post-obra	236
9. La reparación tradicional	239
9.1. Plan de control	240
9.1.1. Ensayos a realizar	242
9.1.2. Evaluación de resultados	244
9.2. Actuaciones de mantenimiento	246
9.2.1. Actuaciones de protección	248
9.2.2. Actuaciones de reparación	250

Capítulo 5

Conclusiones	252
---------------------------	-----

Capítulo 1 **CÁLCULO DE COSTES DE MANTENIMIENTO Y RETORNO DE LA INVERSIÓN**

Parece evidente la idea de que el uso de corrugado inoxidable para las reparaciones de elementos de hormigón armado es una solución ideal por la garantía de larga durabilidad que proporciona, pero que no todo tipo de obras pueden permitírselo. Existe una inercia en el hacer de los técnicos prescriptores que les induce a pensar en un coste demasiado elevado del corrugado inoxidable. Esto es cierto, para algunos de los tipos de mayor aleación, hasta 7 y 8 veces más caro que el acero al carbono habitual, pero el desarrollo de los tipos de acero inoxidable DÚPLEX nos plantea un nuevo escenario, desde el punto de vista económico, no solo por su coste más reducido y estable en el tiempo sino también por el importante ahorro que proporciona su uso en otros costes de la reparación, que es necesario analizar en profundidad.

En este capítulo bajaremos al detalle de las situaciones habituales que podemos encontrar en una obra de reparación e intentaremos evaluar con precisión la incidencia económica que supone el uso del corrugado tipo Dúplex frente a la reparación tradicional.

Con independencia del punto de vista estrictamente económico, se intentarán mostrar los riesgos inherentes al proceso de reparación, desde los primeros trabajos de Prospección del edificio hasta la Dirección de las obras proyectadas, de modo que cada uno pueda valorar adecuadamente la idoneidad del corrugado inoxidable en el conjunto de la obra y sus garantías.

En este documento sólo se compararán los costes de ejecución quedando a valoración del prescriptor si resulta interesante eliminar los riesgos propios de la ejecución con acero al carbono y el incremento de durabilidad que supone el corrugado inoxidable.

El capítulo se estructura en 4 grandes apartados:

1. [Consideraciones previas.](#)
2. [Tipos de reparación del hormigón.](#)
3. [Estimación de Durabilidad.](#)
4. Comparativa y [Retorno de la Inversión.](#)

En el apartado 1, se exponen las bases para poder establecer una comparativa efectiva entre la utilización del acero al carbono y corrugado inoxidable.

Se describe de manera resumida qué se entiende por reparación de las armaduras en un hormigón estructural, concretando los elementos que se suelen oxidar y dar una idea con el grado de afección que se puede uno encontrar.

En el apartado 2, se describe la intervención en sí, a los elementos que afecta y los pasos que componen esas intervenciones.

Tengamos en cuenta que para establecer una comparativa lo más cercana a la realidad, resulta necesario establecer con detalle suficiente las actividades a realizar que requiere el proceso de reparación que se quiere comparar económicamente.



Una vez comparados los costes de reparación entre ambos aceros conviene tener una idea estimada de lo que puede suponer esa diferencia de costes en la globalidad de la obra.

En el apartado 3 se propone a consideración del prescriptor un método aproximado que permita evaluar la gravedad de la situación que se encuentra cuando se enfrenta a la reparación de un edificio, sobre todo de aquellas zonas en que todavía la corrosión no ha dado la cara.

Somos conscientes que este cálculo no resulta nada fácil y está fuera del alcance de los arquitectos el aplicarlo a elementos concretos. Por ello se presenta un método de cálculo simplificado de durabilidad, de modo que se dispongan de los datos suficientes para poder plantear un plan de intervención con garantías y un argumentario suficiente para justificarlo ante el cliente.

El apartado 4, plantea indicaciones para evaluar, desde el punto de vista práctico, el alcance y retorno de la inversión que supondría el uso del acero corrugado inoxidable frente a la Reparación Tradicional.



1. CONSIDERACIONES PREVIAS

En este apartado trataremos de analizar los diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de afrontar una obra de reparación de hormigón armado afectado por corrosión.

Comentaremos los puntos críticos de este tipo de actuaciones, desde la propia reparación del elemento afectado, hasta los gastos indirectos e inconvenientes inherentes al proceso para poder llevar a cabo la reparación, pasando por todos aquellos otros gastos ineludibles y que posibilitan la realización de los trabajos de reparación, como por ejemplo medios auxiliares de andamios, etc. . .

1.1. OBRAS DE REPARACIÓN

En este apartado trataremos de hacer un breve recorrido por las singularidades de una obra de reparación, desde el punto de vista global.

Comentaremos los aspectos a tener en cuenta desde el enfoque general de un escenario que por definición está descontrolado. Cabe destacar que habitualmente la situación en la que los técnicos encontramos el edificio en particular que se pretende reparar, es fruto de 30 o 40 años de convivencia con cada uno de los propietarios, por lo que la diversidad y las rarezas están servidas.

En este sentido es muy importante acotar la incertidumbre de todas las escalas de la intervención a realizar, desde el/los elemento/s concreto/s objeto de reparación, hasta la situación global del edificio en fase de obra, pasando por las distintas viviendas, plantas, fachadas, etc...

A continuación nos centraremos en aspectos como el ámbito de la propia reparación, actuaciones colaterales, y otros, cuyo mayor o menor control pueden llegar a influir de manera determinante en el planteamiento económico de la obra y los objetivos de mantenimiento a corto y medio plazo.



Fig 1. Vista general de reparación de frentes de forjado

1.1.1. La Reparación

Los aspectos propios de las actuaciones de reparación de elementos de hormigón afectados por corrosión, pasan directamente por las siguientes fases de ejecución en la mayoría de las situaciones:

- Picado de hormigón hasta dejar al descubierto las armaduras afectadas en todo su perímetro.
- Eliminación de restos de corrosión en la barra afectada.
- Reconstrucción de la situación inicial, o en su caso cualquier incremento de prestaciones que fuere necesario.

Esta última actuación, es la más susceptible de cualquier tipo de error o deficiencia que conlleva inequívocamente a una nueva situación de



Fig 2. Fase de picado de hormigón en frente de forjado



Fig 3. Fase de limpieza de restos de oxidación en barras

corrosión al cabo de algunos años.

En cualquier caso, vamos a suponer que dicho error humano se haya controlado con una fuerte inspección y seguimiento en obra, cosa que es suficientemente difícil si no se tiene una presencia continuada en obra. Ante esta situación nos encontramos con un segundo nivel de incertidumbre, en cuanto al correcto diagnóstico al respecto del origen de la afección.

Normalmente el diagnóstico no responde a una situación única y aislada, sino que nos encontramos ante una serie de aspectos que confluyen inexorablemente a, que bien desencadenan, desprotegen o aceleran los procesos de corrosión.

A. Elementos de hormigón afectados

En la gran mayoría de los casos siempre nos encontramos que el elemento afectado está en contacto con otros elementos, que dificultan o encarecen la reparación que tenemos que realizar.

A modo de ejemplo mostraremos a continuación situaciones reales

Resumen de fases de ejecución de la reparación tradicional de elementos de hormigón afectado por corrosión de sus armaduras.

Cabe destacar que inmediatamente después del proceso de limpieza de restos de corrosión, el acero ha de ser protegido dentro de la misma jornada de trabajo pues de lo contrario el riesgo de que la reparación falle de manera prematura es alto.

Esta situación es realmente conflictiva en obra desde el punto de vista de la dirección Facultativa puesto que la mayoría de veces es imposible la verificación de una limpieza suficiente.



Fig 4. Fase de protección anticorrosión



Fig 5. Reconstrucción de volúmenes con mortero de reparación

En el momento de evaluar la situación de la reparación que se pretende llevar a cabo, es muy importante plantearse las exigencias de carácter geométrico-físico que cada actuación va a requerir en los elementos contiguos.

En muchas ocasiones el coste económico de una reparación puede verse superado por la dificultad de acceder al propio elemento en condiciones óptimas para poder ser reparado con garantías.

objeto de intervención, que, si bien no es suficiente para resolver todas las situaciones posibles, sí que configuran un amplio espectro de cara a tener representado un alto porcentaje de posibilidades.

B. Grados de Afección

Cuando nos enfrentamos a la reparación de un elemento de hormigón afectado por corrosión de sus armaduras, es importante conocer el grado de afección, en cuanto al ámbito a reparar y en cuanto a la intensidad de la reparación.

Dentro de las situaciones más habituales nos enfrentamos a que el origen de la corrosión existente en un elemento de hormigón, no se encuentra en el propio elemento, sino que existen agentes desencadenantes de la corrosión y aceleradores de carácter externo, como por ejemplo zonas con presencia de humedad continuada, o zonas con una exposición fuerte a niebla salina, etc...

Por este motivo, entre otros, nos encontramos que la afección prácticamente nunca es homogénea, sino que varía en ámbito e intensidad



Fig 6. Ejemplo de pilar aislado objeto de reparación



Fig 7. Losa de escalera exterior con anclajes de barandilla



Fig 8. Estado de la armadura con grado de corrosión elevado

Obsérvese en la Fig. 9 cómo la corrosión va afectando a zonas completas aunque aún pueda apreciarse la corruga original de las barras de acero.

En este caso entendemos que estamos ante una situación en plena fase de propagación que requiere de intervención, por lo que se debe ampliar el picado hasta alcanzar una zona sana de unos 50 cm a cada lado.

dentro de un mismo elemento de hormigón, y entre unos elementos y otros de similares características.

Ante esta situación, caben dos posibilidades, la primera describir con precisión meridiana en el proyecto la reparación específica de cada elemento (cosa que necesitaría de una inspección previa pormenorizada que normalmente está fuera del alcance del proyectista), y la segunda, que supone el gran porcentaje de actuaciones, es prescribir un protocolo de intervención sobre cómo actuar cuando en obra encontramos una afección concreta.

Los parámetros propios de este “protocolo” guardan relación con el grado de corrosión, la pérdida de sección resistente del acero, los recubrimientos existentes, etc. . . , por lo que finalmente el ámbito de la afección y la intensidad en cada elemento se acaba decidiendo en obra, y como la Dirección Facultativa no puede tener una presencia ininterrumpida, gran parte de los mismos queda a merced del criterio de interpretación del operario.



Fig 9. Grado de oxidación medio

En la Fig. 10 observamos cómo la corrosión no ha generado pérdida de sección alguna al ser reconocibles las corrugas originales de la barra.

Normalmente ese grado de corrosión no genera daño visible, sin embargo se encuentra en fase de propagación por lo que debe ser objeto de intervención en obra, y no dejar sin reparar este tipo de casos durante la obra, ocasionaría gastos desproporcionados en un futuro próximo solamente por los medios auxiliares que se deberían volver a colocar para acceder a ella.

Se recomienda que los trabajos de inspección no se limiten a la fase de redacción de proyecto, sino que se amplíen durante la ejecución de la obra.

Si observamos la Fig. 11 podemos ver una afección por corrosión muy diferenciada apenas en unos 4 cm de frente de forjado, pasando de una corrosión avanzada a una barra en perfecto estado.



Fig 10. Grado de corrosión bajo



Fig 11. Corrosión no homogénea

1.1.2. Colaterales

En ocasiones, salvar todas las dificultades comentadas en el apartado anterior para llevar a cabo la reparación concreta del elemento afectado, puede llegar a suponer una repercusión económica de una entidad más que considerable.

A estos costes adicionales e inherentes a la intervención, les llamamos costes colaterales, y en caso de no ser debidamente previstos en el proyecto de reparación, pueden llegar a suponer desviaciones excesivas en la obra.

La mejor manera de prever estos costes es la simulación de algunos procesos de reparación durante la redacción del proyecto, de manera que se puedan activar en una fase temprana una gran parte de los problemas que nos vamos a encontrar durante la obra.

Los costes directos habituales no forman parte de estos costes, estos costes colaterales son independientes de los relacionados con medios auxiliares, andamios, apuntalamientos, etc..., son singulares y propios de cada actuación, de hecho, pueden llegar a ser determinantes a la hora de proponer un tipo de intervención concreta.

Como ejemplo de estas situaciones podemos comentar los siguientes casos extraídos de obras reales:

CASO 1. Supongamos un caso habitual en el que hay que actuar en pilares afectados por oxidación de sus armaduras, y dichos pilares se encuentran dentro de viviendas. Analicemos las posibilidades que nos encontramos:

- Pilares adosados a fachada. Para poder llevar a cabo la reparación, tendremos que romper la parte de cerramiento que rodea al pilar, tanto interior como exterior. En el interior seguramente nos toque volver a pintar la estancia completa y en el exterior dependiendo del revestimiento de fachada podemos tener una situación más o menos complicada. Habrá algunos pilares que estén en zonas húmedas (aseos o cocina) con el consiguiente alicatado, si la edificación tiene cierta antigüedad es más que probable que no encontremos la misma pieza cerámica, y nos toque cambiar toda la estancia. Y, ¿el mobiliario de cocina?...



Fig 12. Daño estructural sobre carpintería



Fig 13. Afección generalizada en frente de vivienda

Cuando encontramos una situación en la que es necesario actuar en el interior de una vivienda, con el posible desalojo de la misma, el coste colateral puede superar con creces el coste de alojar a la propiedad en otro sitio durante la obra.

Estas situaciones son especialmente sensibles a los posibles fallos de ejecución y consecuente reparación de daños a corto y medio plazo.



Fig 14. Corrosión en armado de alambre trenzado y hormigón de muy baja calidad

- Todos estos costes son los denominamos colaterales, y en este caso pueden llegar a suponer un coste más elevado que la propia reparación de pilares.
- Pilares interiores. Nos encontramos con una situación similar a la anterior, pero en este caso con la tabiquería en contacto con el pilar. También puede que sea necesario reparar en la base del pilar, por lo que rompemos algo del pavimento.

En los escenarios expuestos, primero tenemos que actuar en el contorno de los pilares por lo que se ven afectados elementos de particiones y acabados, pero, por otro lado, cuando reparamos pilares debemos establecer los medios necesarios de apuntalamiento que permitan trabajar con la seguridad requerida, por lo que es habitual que durante el periodo de la reparación esa vivienda no sea habitable y haya que realojar a los usuarios en otro sitio, con los costes que ello supone.



Fig 15. Ejemplo de zona con actividad industrial



Fig 16. Zona afectada en edificio industrial con puente grúa

CASO 2. Supongamos otro caso diferente en el que tenemos que reparar unas vigas de hormigón afectado por corrosión en el interior de una nave industrial.

La primera cuestión que se nos plantea es la altura a la que se encuentran, que requerirá un medio auxiliar más o menos especial, pero resulta que no se puede desarrollar ninguna actividad por debajo de la reparación que se esté llevando a cabo, por lo que es necesario paralizar un proceso de producción (dependiendo de la industria, esta situación por sí puede llegar a ser más costosa económicamente que la propia reparación).

Y si además hay que proteger toda la maquinaria próxima al ámbito de la reparación, y si solamente se puede trabajar de noche y festivos ... Este tipo de situaciones son las que de no ser previstas pueden llegar a suponer costes colaterales muy superiores a intervención a realizar.

CONCLUSIÓN PRELIMINAR. Ante estos escenarios, ¿cómo se cuantifica la seguridad de no tener que volver a intervenir por un error de ejecución?

Reparación de elementos estructurales en Instalación Industrial, afectando a los sistemas de producción y funcionamiento habitual.

En estos casos la obra debe ser lo más rápida y ágil posible pues cada día que siga la producción bloqueada, supone pérdidas importantes para la empresa, por lo que no es viable extender labores de inspección durante la obra.



Fig 17. Detalle de zona afectada sobre puente grúa



Fig 18. Elemento a reparar a unos 8 metros de altura

1.1.3. Otros

Una vez evaluados los costes propios relativos a la reparación a realizar, los costes que con independencia del daño suponen la causa y el origen por el cual se provocan procesos de corrosión, así como aquellos que hemos agrupado bajo el nombre de colaterales, ya estamos en disposición de tener una idea del montante de la obra necesaria para conseguir reparar las afecciones existentes.

Para el montante final de la intervención debemos considerar otros gastos comunes a cualquier obra, que suponen la reserva económica para:

- Las medidas de seguridad necesarias,
- El control de calidad de la obra y
- La gestión de residuos de la construcción que se produzcan

En situaciones habituales, estas suelen conllevar entre un 3 y un 5% aproximadamente del resto de gastos.

Habitualmente estos aspectos son objeto de estudio independiente de manera pormenorizada en los siguientes documentos:

- Estudio de Seguridad y Salud
- Plan de Control de Calidad del Proyecto
- Estudio de Gestión de Residuos

Aunque estos documentos pueden ir redactados por técnicos diferentes al titular del proyecto, estos deben formar parte del contenido del proyecto como anejos al mismo, y en este sentido la previsión económica de estos conceptos deben figurar en el presupuesto general de la obra.



Fig 19. Vista general de andamios en fachada



Fig 20. Andamios de cremallera en fachada

1.2. ACTUACIONES MÁS HABITUALES

A continuación, vamos a ejemplificar las actuaciones más habituales que nos encontramos y que pueden estar directamente relacionadas con la reparación del hormigón afectado por la corrosión de sus armaduras.

Aun a riesgo de incurrir inicialmente en una simplificación, podemos comenzar por agrupar las obras de reparación en función de:

- Elementos estructurales
- Fachadas
- Cubiertas e Interiores

En el primer grupo se encuentran la mayoría de los elementos de hormigón armado, como pilares, vigas, viguetas, frentes de forjado, pantallas, etc... Sin embargo en el litoral mediterráneo, nos encontramos con una tipología de fachadas ejecutadas con aplacados prefabricados de hormigón armado que tuvieron un gran desarrollo en los años 80 y que ahora están empezando a mostrar síntomas de corrosión. Si bien estos no afectan a la estabilidad del edificio, sí que suponen un riesgo de seguridad por desprendimientos a la vía pública.

Respecto a cubiertas e interiores, es importante enfocar la inspección a posibles vías de aportación de agua que alimenten los procesos de corrosión en cualquier elemento cercano.



Fig 21. Vista general torre de viviendas con fachada de hormigón prefabricado



Fig 22. Detalle de aplacados de hormigón prefabricado afectado por corrosión

2. REPARACIÓN DEL HORMIGÓN

A continuación iremos recorriendo el camino de la reparación tradicional del hormigón con el detalle suficiente para poder realizar un análisis económico por descompuestos de las actuaciones necesarias.

Para ello ejemplificaremos tres situaciones de reparación de las más habituales para poder hacernos una idea global de los aspectos que más influyen en el precio de cada uno de ellos, y así valorar las implicaciones económicas de la perfección de ejecución que presuponen las normativas actuales.

Describiremos los tipos de reparación desde el punto de vista de los elementos a reparar, su grado de afección y su dificultad. Se evaluarán los rendimientos económicos de cada actuación de modo que podamos efectuar una comparativa económica entre la reparación tradicional y la sustitución de la barra afectada por otra nueva de acero corrugado inoxidable tipo Dúplex.

2.1. TIPOS DE REPARACIÓN

Desde el punto de vista económico, o mejor dicho, presupuestario de obra, podemos encontrar una gran disparidad de precios de reparación en función de dos aspectos básicamente:

- El tipo de elemento en una ubicación concreta.
- El grado de afección en el que se encuentre.

Será importante poder evaluar la dificultad física a la hora de poder reparar un elemento concreto, por falta de espacio para trabajar, por la necesidad o no de un medio auxiliar importante, etc...

Parece evidente que no podrá tener el mismo precio la reparación de un metro de pilar, si este se encuentra exento en planta baja o si por el contrario se encuentra en una cámara sanitaria de 1 metro de altura en contacto con el terreno. Las actuaciones necesarias para poder reparar dicho elemento son las mismas pero los rendimientos que se obtienen en cada situación pueden ser determinantes.

Por otro lado, en función del grado de afección que nos encontremos, puede ser absolutamente inviable la reparación de la barra afectada y tenemos que proceder directamente a su sustitución.



Fig 23. Pilar exento objeto de reparación en planta 18

Uno de los problemas más habituales en los procesos de reparación tradicionales es la falta de picado de hormigón, o picado insuficiente.

Esta situación anula la eficacia de todos los pasos posteriores por los siguientes motivos: se deja hormigón contaminado en la proximidad de la barra, se impide que se pueda alcanzar el grado de limpieza que exige la normativa, se impide que se pueda llegar a proteger suficientemente en todo el contorno de la barra. Pero no todo son problemas, al final se ahorra mucho mortero de reparación en la reconstrucción, que casualmente es lo más caro.



Fig 24. Picado de frente de forjado



Fig 25. Resultado del picado dejando espacio entre hormigón y armadura

2.1.1. Elementos

Dentro de los tipos de elementos propios de las reparaciones más habituales que podemos encontrar, podemos hablar de los siguientes:

- Pilares
- Pantallas
- Vigas
- Viguetas

En este apartado entraremos al detalle de los criterios comunes de reparación que son susceptibles de cuantificación.

Pongamos el ejemplo de la reparación de un pilar, en este caso sin necesidad de incrementar su capacidad de carga con ningún tipo de refuerzo.

Para acometer esta reparación, lo primero que debemos hacer es asegurar la estabilidad del elemento y las cargas que reciben, mediante los procesos de apuntalamiento necesarios. Cabe destacar en este apartado la importancia de un buen apuntalamiento en colaboración con un experto en cálculo de estructuras, en aras de tener la situación perfectamente controlada y no modificar el sistema de transmisión de cargas de los elementos estructurales para el cual fueron diseñados.

Una vez asegurada la estabilidad se puede dar comienzo a los trabajos de reparación, que en condiciones normales son comunes para cualquier tipo de elemento.

A continuación pasamos a exponer el caso tipo de la reparación de un frente de forjado.

Si analizáramos los pasos a seguir para la reparación del mismo, nos encontraríamos con algo similar a esto:

- Picar el material de hormigón que esté afectado por deterioro, fisuración y/o disgregación del mismo, hasta alcanzar la armadura afectada.
- Una vez localizada la armadura, debemos facilitar el acceso completo a ella en todo su contorno para su evaluación y en su caso saneado.



Fig 26. Vista 1 y 2 de pilar en planta sótano con alto riesgo de colapso



Fig 27. Detalle de pilar afectado por corrosión severa en planta sótano

- En caso de que la armadura no haya perdido su capacidad resistente más allá de lo admisible, los sistemas tradicionales de reparación consisten en eliminar los productos de la corrosión hasta grado de limpieza Sa 2½ (según norma ISO 8501). Téngase en cuenta que este grado de limpieza solamente se consigue mediante granallado abrasivo, sistema que no siempre se puede utilizar por los inconvenientes que genera en espacios cerrados.
- Pese a la anterior exigencia de limpieza la práctica habitual es lijar mediante disco de lija o de puntas de acero. Dicha limpieza debe ser completa en todo el perímetro de la barra por lo que es necesario que se haya retirado hormigón suficiente para poder manipular con garantías.
- Una vez limpiada la barra, dentro de la misma jornada de trabajo, se debe realizar la protección con una pintura anticorrosión adecuada en función de la exposición existente y la durabilidad requerida (ver apartado de prescripción). En este punto es muy importante respetar las recomendaciones del fabricante en cuanto a la mezcla, capas, rendimientos, tiempos de espera entre capas, etc...



Fig 28. Vista general de pilar afectado

- Si la protección de la barra no tiene capacidad de puente de unión entre el acero y el mortero de reparación que se vaya a colocar, debemos colocar un puente de unión entre acero y mortero.
- La misma situación encontramos con el puente de unión entre hormigón existente y mortero de reparación, con la singularidad que este debe ser específico para el elemento de hormigón que se esté reparando, dejando clara la consideración de elemento estructural o no.
- Una vez superados todos los procesos anteriores se procede a la reconstrucción de volúmenes con mortero de reparación según UNE 1504, respetando las recomendaciones del fabricante en cuanto a la dosificación y modos de aplicación. Desde este momento, alcanzadas las resistencias suficientes, podemos proceder al desapuntalamiento con seguridad.

A lo largo de este proceso de reparación tradicional de un elemento de hormigón, aparecen numerosas variables que dificultan un control exhaustivo de la reparación. A modo de resumen tenemos el siguiente listado de actuaciones que intervienen en la reparación:

- Picado de hormigón
- Limpieza de restos de corrosión
- Protección anticorrosión y puente de unión entre acero y mortero
- Puente de unión estructural entre hormigón y mortero de reparación
- Aplicación de mortero de reparación

El conjunto de estas actividades se puede cuantificar económicamente mediante el sistema de conceptos descompuestos, es decir, enumerar todos los materiales que intervienen, la mano de obra, maquinaria..., etc. Una vez cuantificados todos estos conceptos, aplicamos los siguientes costes repercutidos:

- Costes directos complementarios
- Costes indirectos
- Gastos generales
- Beneficio industrial
- IVA
- Estos conceptos no son específicos de las obras de reparación por lo que no entraremos a su explicación detallada, considerándose conceptos asimilados por cualquier D. F.



Fig 29. Detalle de armadura afectada por corrosión severa

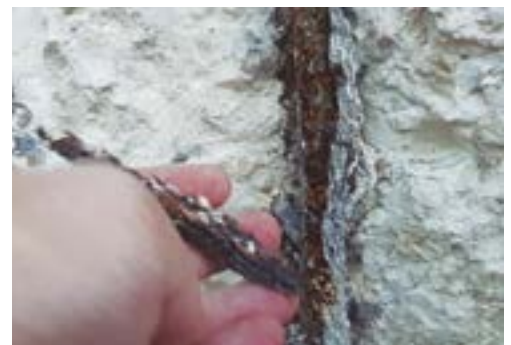


Fig 30. Desintegración de la armadura tras pellicarla



Fig 31. Resto de armadura totalmente corroída

Mediante este proceso de cuantificación podemos llegar a establecer el precio unitario aplicable a cada tipo de reparación. Cabe destacar que, para reparaciones estándar, hay disponibles bases de precios que pueden servir de orientación en una estimación inicial, pero en una fase posterior se debería proceder a adaptar la situación estándar a la realidad y singularidad de la reparación que se esté prescribiendo.



Fig 32. Disco de puntas de acero



Fig 33. Disco de puntas de acero



Fig 34. Detalle de protección de barra inferior de frente de forjado

2.1.2. Grados de intervención

A la hora de poder establecer una cuantificación del coste de la reparación a realizar, debemos tener claros los distintos grados de intervención que se pueden llegar a dar en elementos similares, por ejemplo, si vamos a necesitar incrementar capacidad mecánica del elemento o no.

En estos casos en los que la reparación mínima no es suficiente y tenemos que reforzar, hay que considerar el gran abanico de posibilidades disponibles en función de las necesidades y limitaciones que nos encontremos.

Las actuaciones de refuerzo, pueden ir desde la sustitución de la armadura existente por una nueva (dada la pérdida de capacidad), hasta la suplementación de elementos nuevos normalmente de acero encamados a incrementar la resistencia del elemento.

Este tipo de actuaciones debe ser minuciosamente estudiada en el conjunto de la estructura, pues una modificación inapropiada de rigideces puede suponer comportamientos anormales en situaciones de sollicitaciones horizontales como sismo o viento.

En el caso de suplementos metálicos, se recomienda evaluar la durabilidad de los mismos de manera que no se condene a la propiedad a unos gastos de mantenimiento desproporcionados.



Fig 35. Restos de corrosión en elementos de hormigón

2.2. RENDIMIENTOS

A modo de ejemplo adjuntamos a continuación precios reales de reparaciones realizadas en distintos elementos, detallando en qué consiste la reparación, la cantidad aproximada total y el precio unitario de la partida.

De cara a aligerar este apartado, se propone analizar tres tipos de reparaciones:

- Reparación tradicional
- Reparación mediante sustitución por armadura de corrugado galvanizado
- Reparación mediante sustitución por armadura de corrugado inoxidable

Para cada una de estas reparaciones, se expondrán tres tipos de elementos a reparar muy habituales, a saber:

- un pilar
- una viga
- un frente de forjado

Para cada uno de estos elementos se descompone el coste con todos los aspectos cuantificables que intervienen en la reparación.

Llegados a este punto y de cara a aclarar las diferencias entre las diferentes soluciones, podemos adelantar diferentes conceptos.

De cara a la reparación de elementos de hormigón armado afectados por corrosión, cabe destacar que los agentes desencadenantes de la corrosión, como los cloruros, se sitúan en la masa de hormigón expuesta. Por ello, es fundamental realizar un picado generoso en las zonas a reparar y más cuando la reparación consiste en sanear las barras originales o sustituir por armadura de acero galvanizado, este último susceptible de ser afectado por picadura.

En estos dos casos, la liberación de espacio entre las barras a sanear o a sustituir y la masa del hormigón es fundamental, permitiendo la correcta protección de las armaduras en el mortero de reparación.

Al reparar con acero inoxidable y debido a sus características químicas, la afección a cloruros es mínima como para volver a generar daño por corrosión, permitiendo un picado menor de hormigón.

Además, el acero inoxidable ofrece mayores prestaciones de resistencia que otro tipo de aceros, permitiendo minorar la cuantía del acero, utilizando diámetros de armaduras inferiores a las armaduras originales de las zonas a reparar.

Los precios utilizados en este análisis, son obtenidos de bases de precios y obras reales propias y ajenas. Cabe destacar que el objeto del presente estudio de costes es el de ofrecer una comparativa entre la reparación tradicional y la sustitución con corrugado inoxidable tipo dúplex, por lo que no es determinante el precio unitario concreto sino el % de desviación entre ambas.

En los supuestos que se analizan, se ha considerado que nos encontramos en edificios de zona costera, en ambiente con presencia de cloruros, y que el tipo de acero corrugado inoxidable más apropiado por precio y con una resistencia suficiente a este tipo de agentes, es el REBARINOX 915. Debido a la volatilidad de precios de coste de los distintos elementos que forman parte de las aleaciones de los aceros inoxidable, este precio utilizado para el cálculo en estas tablas, corresponde a un precio de referencia de entregas en enero de 2020, y deberá ser actualizado en cada momento con el precio correspondiente para el suministro en la fecha necesaria de cada proyecto.

A continuación, exponemos los resultados obtenidos.

Algunos datos utilizados para calcular los rendimientos vienen dados por diferentes ensayos realizados en la [UNIVERSIDAD de ALICANTE](#), concretamente en los laboratorios "CARMEN ANDRADE", donde se ha podido contrastar los diferentes procesos de ejecución aquí mencionados.

Con los precios estimativos anteriores, y la repercusión que supondría el corrugado inoxidable en la reparación de cada tipo de elemento podemos estimar la repercusión final en cada tipo de obra (T1, T2, T3).

Podemos ver que el incremento de precio para la reparación de un pilar mediante sustitución de armadura con corrugado inoxidable es de 3,54%.

Podemos ver que el incremento de precio para la reparación de una viga mediante sustitución de armadura con corrugado inoxidable es de 4,53%.

Podemos ver que el incremento de precio para la reparación de un frente de forjado mediante sustitución de armadura con corrugado inoxidable es de 3,94%.

Si bien estos precios pueden llegar a ser discutibles individualmente, pues dependen de la singularidad de la obra, de su situación geográfica, de la estabilidad del mercado, etc..., no lo es tanto la desviación en % cuando comparamos un mismo tipo de reparación con o sin corrugado inoxidable, por lo que entendemos que los incrementos propuestos son bastante adecuados a la realidad.

Pese a ello cabe destacar que estos datos han sido contrastados en pruebas hechas a pie de obra y en taller encontrando una correlación con un error aproximado de $\pm 8\%$ de dichos incrementos, por lo que en el peor de los casos podríamos estar en unos incrementos que oscilan entre el 3,82% ($3,54\% \times 1,08$) y el 4,89% ($4,53\% \times 1,08$).

Precio descompuesto. REPARACIÓN PILAR

ud	concepto	Reparación TRADICIONAL			Sustitución con INOXIDABLE			Sustitución con GALVANIZADO		
		rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe
m	Reparación tipo de pilar de hormigón de dimensiones 30x30 en las cuatro caras, sin incremento de capacidad									
h	Mano de obra Oficial 1ª	1,14	19,33	22,04	0,95	19,33	18,36	1,14	19,33	22,04
h	Mano de obra Peón especializado construcción	0,94	17,14	16,11	0,85	17,14	14,57	0,94	17,14	16,11
h	Martillo neumático rompedor	0,45	2,59	1,17	0,32	2,59	0,83	0,45	2,59	1,17
h	Radial eléctrica	0,24	1,20	0,29	0,08	1,20	0,10	0,08	1,20	0,10
ud	Disco de lija	1,20	2,45	2,94	0,20	2,45	0,49	0,20	2,45	0,49
kg	Protección anticorrosión	0,42	6,84	2,87	0,10	6,84	0,68	0,10	6,84	0,68
l	Puente de unión entre hormigón y mortero	0,36	18,45	6,64	0,36	18,45	6,64	0,36	18,45	6,64
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada de acero galvanizado	0,00	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	8,10	1,20	9,72
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada inox dúplex 2304	0,00	3,20	0,00	7,40	3,20	23,68	0,00	3,20	0,00
kg	Mortero de reparación según UNE 1504	82,00	1,05	86,10	74,00	1,05	77,70	82,00	1,05	86,10
%	Costes directos complementarios	2,00	138,16	2,76	2,00	143,05	2,86	2,00	143,05	2,86
%	Costes indirectos	3,00	138,16	4,14	3,00	143,05	4,29	3,00	143,05	4,29
%	Gastos generales	13,00	145,06	18,86	13,00	150,21	19,53	13,00	150,20	19,53
%	Beneficio industrial	6,00	145,06	8,70	6,00	150,21	9,01	6,00	150,20	9,01
TOTAL		172,63			178,75			178,74		
					incremento por inoxidable 3,54%			incremento por galvanizado 3,54%		

Tabla 1.Reparación del pilar

Precio descompuesto. REPARACIÓN VIGA

ud	concepto	Reparación TRADICIONAL			Sustitución con INOXIDABLE			Sustitución con GALVANIZADO		
		rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe
m	Reparación tipo de viga de hormigón de dimensiones 25x40 en 3 de sus caras, sin incremento de capacidad									
h	Mano de obra Oficial 1ª	0,76	19,33	14,69	0,68	19,33	13,14	0,76	19,33	14,69
h	Mano de obra Peón especializado construcción	0,68	17,14	11,66	0,56	17,14	9,60	0,68	17,14	11,66
h	Martillo neumático rompedor	0,32	2,59	0,83	0,24	2,59	0,62	0,32	2,59	0,83
h	Radial eléctrica	0,28	1,20	0,34	0,06	1,20	0,07	0,06	1,20	0,07
ud	Disco de lija	1,25	2,45	3,06	0,20	2,45	0,49	0,20	2,45	0,49
kg	Protección anticorrosión	0,54	6,84	3,69	0,15	6,84	1,03	0,15	6,84	1,03
l	Puente de unión entre hormigón y mortero	0,24	18,45	4,43	0,24	18,45	4,43	0,24	18,45	4,43
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada de acero galvanizado	0,00	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	8,10	1,20	9,72
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada inox dúplex 2304	0,00	3,20	0,00	7,40	3,20	23,68	0,00	3,20	0,00
kg	Mortero de reparación según UNE 1504	71,00	1,05	74,55	62,20	1,05	65,31	71,00	1,05	74,55
%	Costes directos complementarios	2,00	113,24	2,26	2,00	118,37	2,37	2,00	117,46	2,35
%	Costes indirectos	3,00	113,24	3,40	3,00	118,37	3,55	3,00	117,46	3,52
%	Gastos generales	13,00	118,91	15,46	13,00	124,29	16,16	13,00	123,33	16,03
%	Beneficio industrial	6,00	118,91	7,13	6,00	124,29	7,46	6,00	123,33	7,40
TOTAL		141,50			147,90			146,77		
					incremento por inoxidable 4,53%			incremento por galvanizado 3,72%		

Tabla 2. Reparación de la viga

Precio descompuesto. REPARACIÓN FRENTE DE FORJADO

ud	concepto	Reparación TRADICIONAL			Sustitución con INOXIDABLE			Sustitución con GALVANIZADO		
		rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe	rendimiento	precio	importe
m	Reparación tipo de frente de forjado de hormigón de canto 30 cm, sin incremento de capacidad									
h	Mano de obra Oficial 1ª	0,32	19,33	6,19	0,28	19,33	5,41	0,32	19,33	6,19
h	Mano de obra Peón especializado construcción	0,30	17,14	5,14	0,26	17,14	4,46	0,30	17,14	5,14
h	Martillo neumático rompedor	0,18	2,59	0,47	0,16	2,59	0,41	0,18	2,59	0,47
h	Radial eléctrica	0,16	1,20	0,19	0,05	1,20	0,06	0,05	1,20	0,06
ud	Disco de lija	1,05	2,45	2,57	0,20	2,45	0,49	0,20	2,45	0,49
kg	Protección anticorrosión	0,38	6,84	2,60	0,10	6,84	0,68	0,10	6,84	0,68
l	Puente de unión entre hormigón y mortero	0,12	18,45	2,21	0,12	18,45	2,21	0,12	18,45	2,21
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada de acero galvanizado	0,00	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	4,10	1,20	4,92
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada inox dúplex 2304	0,00	3,20	0,00	3,50	3,20	11,20	0,00	3,20	0,00
kg	Mortero de reparación según UNE 1504	27,34	1,05	28,71	23,85	1,05	25,04	27,34	1,05	28,71
%	Costes directos complementarios	2,00	48,08	0,96	2,00	49,97	1,00	2,00	48,87	0,98
%	Costes indirectos	3,00	48,08	1,44	3,00	49,97	1,50	3,00	48,87	1,47
%	Gastos generales	13,00	50,48	6,56	13,00	52,47	6,82	13,00	51,31	6,67
%	Beneficio industrial	6,00	50,48	3,03	6,00	52,47	3,15	6,00	51,31	3,08
TOTAL		60,07			62,44			61,06		
					incremento por inoxidable 3,94%			incremento por galvanizado 1,64%		

Tabla 3. Reparación del frente de forjado

2.3. REPERCUSIÓN DE LA REPARACIÓN

De los datos obtenidos en el apartado anterior, disponemos de varios incrementos económicos en las partidas de reparación por el uso de corrugado inoxidable, que oscilan entre el 3,82% y el 4,89%.

Vamos a realizar una simulación para tratar de encontrar un entorno aproximado en el que estaría la repercusión de este incremento en el conjunto de la obra, utilizando para ello, del lado de la seguridad, el mayor incremento calculado, es decir, el 4,89%.

Por otro lado, cualquier tipo de obra, desde el punto de vista económico, la podemos simplificar de la siguiente manera:

- Costes de reparación.
Se trata de los costes específicos de las actuaciones propias de reparación, es decir, el coste que suman las partidas de reparación concretas.
- Otros costes.
Dentro de este punto se considerarían desde costes de andamios y medios auxiliares, hasta cualquier otro tipo de actuaciones distintas a las específicas de reparación, es decir, las que serían comunes a las dos situaciones consideradas a estudio, con o sin corrugado inoxidable.

Con este planteamiento es muy cómodo analizar, por ejemplo, tres tipos de obras que permitan representar los entornos económicos donde podríamos encajar prácticamente cualquier obra concreta, y de este modo obtener conclusiones sobre la repercusión económica que puede llegar a suponer el uso de acero corrugado inoxidable.

Para ello representamos tres tipos de obra en función de la distribución de costes y a continuación procedemos a aplicar el incremento comentado anteriormente del 4,89% al coste de las reparaciones, para obtener de qué orden sería la repercusión al total de la obra.

Es decir, para la gran mayoría de obras de reparación que nos podemos encontrar, el incremento económico del presupuesto de la obra invertido en el uso del acero corrugado inoxidable oscilaría entre un 1,46% y un 3,42%.

Tipo de obra	% de costes de Reparación	% de otros costes	% Repercusión en obra del uso de inoxidable
obra TIPO 1	70 %	30 %	3,42% (4,89% x 70%)
obra TIPO 2	50 %	50 %	2,44% (4,89% x 50%)
obra TIPO 3	30 %	70 %	1,46% (4,89% x 30%)

Tabla 4. Distribución de costes según tipo de obra

Con este análisis hemos querido acotar el extremo superior de las situaciones que podemos encontrar, considerando que hay que reparar pilares, vigas y frentes de forjado. Pero si consideramos una obra de reparación donde los elementos a reparar solo son pilares (caso bastante habitual), aplicaríamos el incremento de 3,82% (3,54% x 1,08), por lo que obtendríamos un entorno aproximado de entre un 1,14% y un 2,67%.

Evidentemente, esta inversión que supone inicialmente el uso de corrugado inoxidable, se traduce en mayores garantías y mayor durabilidad, pero, ¿cómo podemos cuantificar este aumento de calidad y valorar si merece la pena o no?

3. ESTIMACIÓN DE DURABILIDAD

Frente a la corrosión, la característica técnica más apreciada es la que permite validar o rechazar el material a emplear en una reparación considerando como factor clave la vida útil del elemento afectado.

La durabilidad es el factor determinante en el análisis ya que afecta claramente a la validez de la inversión, sobre todo en aquellos casos en los que el elemento analizado es la armadura de un elemento estructural que puede afectar a la edificación en su conjunto.

Pretendemos hacer ver en términos cuantitativos cuál es el orden de magnitud de la vida útil que se puede llegar a estimar en los elementos de hormigón armado.

En este apartado se ha utilizado la Instrucción del Hormigón EHE-08 en lo referente al cálculo de durabilidad. Si bien existe mucha bibliografía al respecto de este tema, entendemos que esta instrucción recoge suficientemente bien lo relacionado con la corrosión de armaduras embebidas en hormigón, al tiempo que se considera un documento ampliamente aceptado por los prescriptores.

Con independencia de esto, se deberán considerar cualesquiera aspectos que se recojan en la Instrucción de hormigón Estructural en vigor. A tal efecto se somete a consideración lo establecido en el presente CÓDIGO ESTRUCTURAL 2019.

3.1. CÁLCULO SIMPLIFICADO DE DURABILIDAD

Como comentábamos en apartados anteriores, la posibilidad de poder evaluar, aunque sea de modo estimado, un aspecto tan importante como la durabilidad del elemento constructivo en cuestión, nos permite un salto de escala a nivel cuantitativo desde el punto de vista del análisis de la situación.

Si tuviéramos la posibilidad de responder a preguntas como:

¿Cuánto durará esta o aquella solución...?

... y las zonas que tienen alguna fisuración mínima, si no actúo, ¿cuánto le queda para que sea necesario intervenir?,

¿Cómo puedo hacerme una ligera idea..., un orden de magnitud suficiente que permita poder tomar decisiones y para planificar la inversión a realizar de mi cliente?

Existen métodos de cálculo que permiten obtener una cierta cuantificación de la durabilidad de un elemento de hormigón. Si bien, estos métodos pueden llegar a ser de difícil utilización por los Arquitectos en un elemento concreto, a la hora de poder establecer algunas conclusiones básicas sobre el conjunto de un edificio que se pretende reparar, este se convierte en una meta tan inalcanzable que tiende a descartarse directamente incluso en los momentos iniciales de análisis.

Por este motivo hemos desarrollado una herramienta básica que permita identificar la situación existente con otras teóricas definidas a priori como casos tipo de referencia

El instrumento de Estimación simplificada que se propone y desarrolla en el presente manual, nace con referencia a los métodos de cálculo establecidos en el Anejo 9 de la EHE 08, en cuanto a Estados Límite de Durabilidad.



Fig 36. Armadura de corrugado inoxidable frente a armadura supuestamente saneada

3.1.1. Método de cálculo simplificado

El presente método tiene en consideración dos tipos de procesos para estimar los tiempos en los que el elemento de hormigón armado dejaría de ser capaz de satisfacer las exigencias para las que fue proyectado.

Estos dos procesos responden básicamente a la carbonatación del hormigón y a la contaminación por iones cloruro (Cl⁻).

Si estamos atendiendo a este manual es seguramente porque la situación que se precisa evaluar se encuentra prácticamente en las situaciones más extremas de cada tipo de corrosión, por lo que con ánimo de facilitar al lector una referencia de carácter práctico, hemos procedido a la simulación de 3 tipos de situaciones en función de los siguientes parámetros:

- Exposición a la lluvia del elemento en cuestión.
- Resistencia media del Hormigón.
- Espesor de recubrimiento real, es decir, profundidad a la que se encuentran las armaduras.
- Contenido de ión cloruro en peso de hormigón.
- Velocidad de Corrosión (Icorr).

Si bien metodológicamente hablando, por cada parámetro corresponderían una serie de combinaciones desproporcionada, entendemos que, desde un punto de vista estrictamente práctico, lo más interesante es acotar los extremos, dando por supuesto que nos encontramos en una situación de corrosión en fase de estudio para su reparación.

Este método simplificado cobra todo su sentido práctico cuando nos enfrentamos a una reparación, puesto que el daño ya existe y lo único que necesitamos es evaluar la gravedad de la situación, sobre todo de aquello que todavía no ha dado la cara.

En caso de que tuviéramos que evaluar la durabilidad de una obra nueva, el cálculo de durabilidad forma parte de la fase de diseño, por lo que directamente deberíamos remitirnos al Anejo 9 de la EHE 08 o cualquier otro método de cálculo reconocido.

Analicemos los parámetros descritos anteriormente ante una situación en la que nos encontramos con daños de corrosión de armaduras en elementos de hormigón armado.

A. Exposición a la lluvia

Analizado este concepto en su forma literal, puede que queden fuera muchas situaciones en las que encontramos problemas de oxidación. Sin embargo, creemos importante proponer la siguiente interpretación.

Parece razonable pensar que, en una primera aproximación, se trata de identificar si el elemento va a estar expuesto a situaciones que permitan la existencia de un medio electrolítico en el hormigón que favorezca el que se puedan producir corrientes de corrosión.

Desde este punto de vista, un elemento no tiene por qué estar expuesto directamente a la intemperie y mojarse cuando llueve, sino que podemos encontrarnos con situaciones tan variopintas como por ejemplo:

- Supongamos un forjado sanitario sin ventilación, con una humedad relativa elevada. Este tipo de situaciones es muy habitual en edificaciones de unos 30 años de antigüedad, y suponen periodos de casi saturación de la cara inferior del forjado por efecto de condensación
En este caso el forjado no está expuesto a la lluvia, pero sí que lo está a periodos prolongados de contenido de agua en el propio hormigón, y por lo tanto a un medio electrolítico estupendo para que se desarrollen las corrientes de corrosión.
- Supongamos un pilar exento en planta baja protegido de la lluvia, cuyo arranque está en contacto con el terreno. Aquí podemos encontrarnos con el efecto de la capilaridad que puede ir saturando y desecando el primer tramo de pilar, generando otra vez un medio para que se desarrollen las corrientes de corrosión.

En paralelo a estos ejemplos, podemos hacernos una idea de qué pasaría en un forjado de cubierta en el que tenemos goteras por fallo de la capa estanca, una pantalla de medianería en contacto con el terreno, elementos afectados por rotura de instalaciones durante mucho tiempo, etc...

Cabe destacar que en todos estos casos, no hemos mencionado la contaminación del ambiente, sino simplemente la presencia de agua por el motivo que sea.

Parece razonable, que ante un elemento que precisa de reparación

por corrosión, consideremos que el valor de este parámetro ha sido expuesto y que además cabe la posibilidad de que vuelva a serlo una vez reparado a lo largo de su vida útil. Por este motivo proponemos fijar este parámetro para el análisis de extremos que pretendemos exponer.

De esta manera iremos completando la siguiente tabla, recorriendo los parámetros mencionados anteriormente relativos a 3 casos tipo.

CASOS	Exposición a la lluvia	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espesor de recubrimiento (mm)	%Cl ⁻ en peso de hormigón	Velocidad corrosión (µm/año)	Tiempo de iniciación (años)	Tiempo de propagación (años)
Situación A	EXPUESTO	--	--	--	--	--	--
Situación B	EXPUESTO	--	--	--	--	--	--
Situación C	EXPUESTO	--	--	--	--	--	--

Tabla 5. Tabla de durabilidad. Parámetro de exposición

B. Resistencia media del hormigón

Este parámetro no parece ser objeto de mucha interpretación, sin embargo se recomienda tener en cuenta la siguiente reflexión a la hora de establecerlo.

Aun a riesgo de incurrir en una simplificación importante, este parámetro intenta considerar la dificultad que presenta el hormigón a la contaminación atmosférica, bien sea CO₂, cloruros en dispersión por niebla salina, etc..., se trata de alguna manera aunque sea de modo indirecto, entre otras cosas, de considerar la porosidad del hormigón, la antigüedad, la relación agua/cemento y todo aquello que pueda influir en la calidad del hormigón como elemento protector del acero embebido en él.

En aras de un conocimiento más exhaustivo del hormigón al que nos enfrentamos, debemos recurrir a ensayos específicos, como por ejemplo:

- Determinación de densidad
- Determinación de porosidad
- Determinación de distribución de poros
- Determinación de resistencia a penetración de cloruros
- Ensayos de capacidad hidrófuga
- Etc...

Y además hacerlos de modo estadístico para poder ser lo suficientemente representativos.

Tenemos claro que esta situación no siempre es viable económicamente, pues supone un coste inicial en fase de estudio que no todos los promotores están dispuestos a asumir, y de hacerlo debería estar correctamente justificada, que puede suponer un ahorro importante a la hora de establecer la intervención a realizar.

Con ánimo de abarcar un amplio espectro de situaciones tipo, proponemos utilizar el valor característico de la resistencia a compresión del hormigón mediante dos niveles de aproximación:

- Resistencia de cálculo habitual para los hormigones de la época.
- Ensayos de resistencia en número representativo.

Solamente debemos recurrir al primero en caso de que conozcamos por la referencia que sea, la situación de diseño con la que fue construido el elemento, por ejemplo si disponemos del proyecto de ejecución original, si tenemos experiencia de casos muy similares de la misma época y tipología, etc...

En el segundo nivel, cabe destacar que estamos estimando la durabilidad de un elemento de hormigón armado, y en principio no estamos realizando ninguna comprobación de cálculo estructural. En este sentido nos interesa conocer cómo es el hormigón que envuelve a las armaduras desde el punto de vista de la capacidad para mantenerlas en estado pasivo, por lo que no nos interesa demasiado si el hormigón más allá de los primeros 5-6 cm es de una calidad excelente o no, sino más bien conocer cómo son estos primeros centímetros.

Para este caso, podemos recurrir a un método de ensayo no destructivo que nos puede dar una idea suficientemente buena de la situación del hormigón, mediante el esclerómetro de Schmidt (también llamado impactómetro o martillo de Schmidt). Se trata de un método indirecto que estima la resistencia del hormigón a través de la dureza superficial del mismo, determinando el índice de rebote de una barra de percusión que golpea la superficie de hormigón.

Parece evidente, que a menor resistencia del hormigón menor durabilidad frente a la corrosión, por lo que en aras de poder fijar unos entornos de partida razonables, proponemos considerar 3 casos diferentes, a saber:

- Situación A: 120 kg/cm²
- Situación B: 175 kg/cm²
- Situación C: 250 kg/cm²

Por lo que obtenemos el siguiente planteamiento.

CASOS	Exposición a la lluvia	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espesor de recubrimiento (mm)	%Cl ⁻ en peso de hormigón	Velocidad corrosión (µm/año)	Tiempo de iniciación (años)	Tiempo de propagación (años)
Situación A	EXPUESTO	120	–	–	–	–	–
Situación B	EXPUESTO	175	–	–	–	–	–
Situación C	EXPUESTO	250	–	–	–	–	–

Tabla 6. Tabla de durabilidad. Parámetro de resistencia a compresión

C. Espesor de recubrimiento real

Si bien los parámetros anteriores influyen en el resultado de la estimación de durabilidad, este lo hace de manera muy significativa, por lo que es importante considerar una buena inspección que identifique las situaciones más desfavorables, y en su caso zonificar las situaciones encontradas.

De cara a estimar la durabilidad de un elemento afectado por corrosión en caso de no intervenir, se recomienda considerar ante una amplia dispersión, la siguiente pareja de valores para disponer de un entorno adecuado:

- Espesor de recubrimiento mínimo encontrado
- Espesor de recubrimiento medio calculado

Con ánimo de representar en este manual los casos más habituales que permitan al prescriptor tomar postura ante la situación en la que se encuentre, se propone considerar valores entre 10 mm y 25 mm, por lo que de esta manera estaríamos ante el siguiente planteamiento:

CASOS	Exposición a la lluvia	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espesor de recubrimiento (mm)	%Cl ⁻ en peso de hormigón	Velocidad corrosión (µm/año)	Tiempo de iniciación (años)	Tiempo de propagación (años)
Situación A.1	EXPUESTO	120	10 mm	–	–	–	–
Situación A.2			25 mm	–	–	–	–
Situación B.1	EXPUESTO	175	10 mm	–	–	–	–
Situación B.2			25 mm	–	–	–	–
Situación C.1	EXPUESTO	250	10 mm	–	–	–	–
Situación C.2			25 mm	–	–	–	–

Tabla 7. Tabla de durabilidad. Parámetro de recubrimiento

D. Contenido de cloruros en peso de hormigón

Este dato es muy importante a la hora de poder evaluar la gravedad de la situación, puesto que de él depende el agotamiento de la vida útil del elemento en la mayoría de los casos. Como por ejemplo las exposiciones IIIa, IIIb, IIIc y IV definidas en la EHE08 o sus equivalentes en la instrucción de Hormigón Estructural que corresponda.

Para la obtención de este parámetro se proponen 2 opciones de cara a poder disponer de una idea aproximada de la afección por cloruros que tenemos, a saber:

- La más evidente es realizar ensayos de contenido de cloruros, o estimar en base a referencias externas.

La primera opción suele ser bastante viable puesto que tiene un coste relativamente admisible, pero tiene el inconveniente de que es necesario realizarlo mediante extracción de muestra, e incluso a veces puede ser recomendable sacar un pequeño testigo para averiguar el contenido de cloruros a varias profundidades. Debido a esto es preciso tener acceso a los elementos a inspeccionar y esto puede no ser siempre posible sin un mínimo medio auxiliar (como por ejemplo frentes de forjado en edificios altos).

La segunda opción puede llegar a suponer una simplificación excesiva para un estudio de rigor académico, pero en la mayoría de los casos prácticos suele ser suficiente para hacerse una idea aproximada de la durabilidad que queremos averiguar.

Como ya hemos comentado en otras ocasiones, el presente manual no pretende ser un tratado sobre la corrosión en hormigón armado y sus reparaciones, sino más bien ser una herramienta al servicio del prescriptor que le permita evaluar y controlar estimativamente la situación con la que se encuentra al afrontar un proyecto de reparación de un edificio con elementos de hormigón armado afectado por corrosión de sus armaduras, y considerar de este modo la idoneidad del uso del corrugado inoxidable como solución definitiva de garantías y económicamente rentable.

Desde este punto de vista, a la hora de estimar el contenido de cloruros, seguramente nos encontremos con la existencia de cloruros de origen marino en suspensión. Esta es la situación más habitual que nos encontramos día a día, y supone prácticamente la totalidad de la edificación dentro de los primeros 500m de costa.

En este tipo de casos, la instrucción EHE08 en su anejo 9 (tabla A.9.4) facilita una estimación de concentración de cloruros en superficie de aproximadamente 0,14% en peso de hormigón a los 10 años. La resistencia al ingreso de cloruros aumenta con el tiempo, por lo que podemos partir del siguiente planteamiento:

Antigüedad del hormigón en exposición IIIa	5 años	10 años	15 años	20 años	25 años	30 años
Concentración de Cloruros en superficie en peso de hormigón	0,10 %	0,14 %	0,18 %	0,20 %	0,23 %	0,25 %

Tabla 8. Estimación de contenido ion cloruro

Cabe destacar que el aporte de cloruros en estos casos se realiza mediante dispersión en el spray salino, por lo que se recomienda localizar aquellas orientaciones de exposición directa a los vientos y con poco soleamiento, y aplicar un coeficiente de mayoración de 1,5.

De cara a disponer de valores de comparación habituales que permitan al prescriptor situar su edificio dentro de un entorno razonable, hemos creído adecuado seleccionar 3 valores de contenido de cloruros: 0,14%, 0,20%, y 0,25%; quedando el cuadro anterior de la siguiente manera.

CASOS	Exposición a la lluvia	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espesor de recubrimiento (mm)	%Cl ⁻ en peso de hormigón	Velocidad corrosión (µm/año)	Tiempo de iniciación (años)	Tiempo de propagación (años)
Situación A.1.1	EXPUESTO	120	10 mm	0,14%	–	–	–
Situación A.1.2				0,20%	–	–	–
Situación A.1.3				0,25%	–	–	–
Situación A.2.1			25 mm	0,14%	–	–	–
Situación A.2.2				0,20%	–	–	–
Situación A.2.3				0,25%	–	–	–
Situación B.1.1	EXPUESTO	175	10 mm	0,14%	–	–	–
Situación B.1.2				0,20%	–	–	–
Situación B.1.3				0,25%	–	–	–
Situación B.2.1			25 mm	0,14%	–	–	–
Situación B.2.2				0,20%	–	–	–
Situación B.2.3				0,25%	–	–	–
Situación C.1.1	EXPUESTO	250	10 mm	0,14%	–	–	–
Situación C.1.2				0,20%	–	–	–
Situación C.1.3				0,25%	–	–	–
Situación C.2.1			25 mm	0,14%	–	–	–
Situación C.2.2				0,20%	–	–	–
Situación C.2.3				0,25%	–	–	–

Tabla 9a. Tabla de durabilidad. Parámetro % ion cloruro

Además de diferentes campañas de medidas a lo largo de un año, es necesario que se hagan en número de puntos suficientemente representativos de las zonas del edificio, teniendo en cuenta, orientaciones, vientos, zonas de aportación de humedad, etc...

E. Velocidad de corrosión

Este factor interviene en la fase de propagación de la corrosión hasta que se consuma la vida útil del elemento.

En caso de ser viable se recomienda obtener mediciones reales in situ a lo largo de un año para poder disponer de una aproximación del comportamiento de las corrientes de corrosión en un ciclo completo de ambientes húmedos y secos. Cabe destacar que este tipo de mediciones deben ir acompañadas de otras como potencial de corrosión y resistividad del hormigón para poder realizar una correcta interpretación de los resultados, y siempre por personal especializado.

En la mayoría de las situaciones, este despliegue de ensayos puede no ser viable, por lo que contamos con otras herramientas para considerar valores tipo de este parámetro.

Según se nos muestra en la tabla A.9.5 en el anejo 9 de la EHE08, la obtención del valor de Velocidad de corrosión es directa, entramos con el tipo de exposición y obtenemos el dato que buscamos. Como comentábamos en apartados anteriores, este parámetro depende de muchos factores que no quedan representados únicamente con la clase general de exposición del elemento analizado. En este sentido, es muy habitual encontrar situaciones en un mismo edificio, en el que siendo una exposición IIIa, nos encontramos valores de velocidad de corrosión similares a las propuestas para la clase IIIb, e incluso IIIc.

En línea con el enfoque de este manual mencionado en apartados anteriores, proponemos considerar los dos extremos de valores siguientes cuando hablamos de corrosión por cloruros:

- $V_{corr} = 20 \mu\text{m/año}$, para las zonas del edificio menos expuestas a los vientos y bien soleadas.
- $V_{corr} = 50 \mu\text{m/año}$, para las zonas del edificio más expuestas a los vientos y poco soleadas.

Si bien es cierto que podemos encontrarnos fácilmente situaciones con valores por encima de los $50 \mu\text{m/año}$, estos casos son objeto de intervención directa y no tiene ningún sentido predicción alguna de durabilidad puesto que ya se da por concluida su vida útil.

Con este planteamiento obtenemos el siguiente cuadro:

CASOS	Exposición a la lluvia	Resist. Compresión (kg/cm ²)	Espesor de recubrimiento (mm)	%Cl en peso de hormigón	Velocidad corrosión (µm/año)	Tiempo de iniciación (años)	Tiempo de propagación (años)		
Situación A.1.1.1	EXPUESTO	120	10	0,14%	20	15	15		
Situación A.1.1.2					50	—	10		
Situación A.1.2.1				0,20%	20	15	12		
Situación A.1.2.2					50	—	8		
Situación A.1.3.1				0,25%	20	15	10		
Situación A.1.3.2					50	—	6		
Situación A.2.1.1			25	0,14%	20	25	20		
Situación A.2.1.2					50	—	15		
Situación A.2.2.1				0,20%	20	25	17		
Situación A.2.2.2					50	—	13		
Situación A.2.3.1				0,25%	20	25	15		
Situación A.2.3.2					50	—	10		
Situación B.1.1.1			EXPUESTO	175	10	0,14%	20	15	15
Situación B.1.1.2							50	—	10
Situación B.1.2.1						0,20%	20	15	12
Situación B.1.2.2							50	—	8
Situación B.1.3.1						0,25%	20	15	10
Situación B.1.3.2							50	—	6
Situación B.2.1.1					25	0,14%	20	25	20
Situación B.2.1.2							50	—	16
Situación B.2.2.1						0,20%	20	25	18
Situación B.2.2.2							50	—	14
Situación B.2.3.1						0,25%	20	25	16
Situación B.2.3.2							50	—	12
Situación C.1.1.1	EXPUESTO	250			10	0,14%	20	15	15
Situación C.1.1.2							50	—	10
Situación C.1.2.1						0,20%	20	15	12
Situación C.1.2.2							50	—	8
Situación C.1.3.1						0,25%	20	15	10
Situación C.1.3.2							50	—	6
Situación C.2.1.1					25	0,14%	20	25	22
Situación C.2.1.2							50	—	17
Situación C.2.2.1						0,20%	20	25	20
Situación C.2.2.2							50	—	15
Situación C.2.3.1						0,25%	20	25	16
Situación C.2.3.2							50	—	14

Tabla 9b. Tabla de durabilidad. Parámetro de velocidad de corrosión

La EHE08 en su Anejo 9, propone a modo indicativo en la tabla A.9.5, una serie de valores en función de la clase de exposición. En nuestro ejercicio profesional reparando edificios, hemos tenido ocasión de contrastar de modo suficientemente representativo, situaciones reales de corrosión con los valores propuestos en esta tabla, concluyendo en que es necesario una cierta reinterpretación en caso de querer utilizarla como método predictivo.

3.2. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL

Como último apartado en el análisis de las diferencias significativas entre el acero inoxidable y el acero al carbono, conviene considerar las diferencias en el tiempo de ambos aceros. Aquí de nuevo comprobaremos que de cara al mantenimiento y a la durabilidad, el acero inoxidable nos ofrece unas ventajas de orden económico desde el punto de vista de la inversión a largo plazo que despejan cualquier duda sobre la utilización del inoxidable frente al acero al carbono.



Fig 37. Armaduras corrugadas de acero inoxidable y acero al carbono

3.2.1. Estimación de vida útil

Con las indicaciones comentadas en el apartado anterior, ya estamos en disposición de utilizar este método de cálculo simplificado de Durabilidad para estimar la vida útil de los elementos que se pretenden reparar, y poder así elaborar un plan de Intervención adecuado.

El escenario con el que siempre nos vamos a encontrar es el siguiente:

- Elementos aparentemente sanos
- Elementos con una fisuración inicial
- Elementos agrietados
- Elementos con desprendimientos

Parece evidente que aquellos elementos que ya se encuentran en estado de desprendimientos han visto culminada su vida útil, por lo que no procede ninguna estimación de durabilidad, sino que son objeto de reparación inmediata.

Aclarada esta situación podremos asemejar casi cualquier tipo de intervención a los tres primeros casos, calculando para cada uno de ellos la estimación de vida útil que les queda hasta que sea precisa su intervención.

Procedamos pues a simular una intervención en un edificio en el que nos encontramos con los tres casos anteriores:

- ZONA 1: Elementos aparentemente sanos
- ZONA 2: Elementos con una fisuración inicial
- ZONA 3: Elementos agrietados

En la mayoría de casos reales, si ya nos encontramos en esta situación, podemos afirmar con poco riesgo a equivocarnos que ya se ha consumido en todas las zonas el periodo de iniciación de la corrosión estando por tanto ya en fase de propagación.

En base a este supuesto, y siguiendo con la simulación, supongamos que el tiempo razonable para que los elementos de la zona 1 pasen a la

situación de la zona 2, y a su vez estos a la situación de la zona 3, estará aproximadamente entorno a los 5 años (esta situación dependerá de los valores obtenidos como aplicación del cálculo simplificado expuesto en el apartado anterior). De este modo podemos simular la vida útil de la siguiente manera:

- ZONA 1: 15 años
- ZONA 2: 10 años
- ZONA 3: 5 años

Siguiendo este procedimiento seremos capaces de acotar con bastante sencillez y del lado de la seguridad, cuál es la situación del edificio desde el punto de vista de la corrosión y poder así planificar la inversión económica más adecuada a los intereses de la propiedad.

3.2.2. Plan de intervención

Ahora disponemos de la información suficiente para centrar a nuestro cliente sobre las posibles alternativas de intervención, evaluando ventajas e inconvenientes, así como la viabilidad económica de cada una.

Con ánimo de aportar un ejemplo al prescriptor, que se deberá adaptar a cada caso concreto, procedemos a continuar con la simulación iniciada en el apartado anterior.

Si analizamos las posibles actuaciones de reparación en cada caso nos encontramos con las siguientes:

- La mínima actuación sería proteger, es decir, alargar en la medida de lo posible la vida útil del elemento antes de que sea necesario picar. Como ejemplo de esta protección podríamos aplicar un inhibidor de corrosión adecuado.
- El siguiente grado de intervención sería el de picar, eliminar el óxido, pasivar y reconstruir, es decir, la reparación tradicional.
- El siguiente sería la sustitución de la barra corrugada por otra de acero al carbono, es decir, la sustitución tradicional.
- Como variante a la anterior, estaríamos ante el caso de la sustitución de la barra por otra corrugada de acero inoxidable.

A continuación, procederemos a describir la durabilidad esperada sobre cada una de estas actuaciones para poder esbozar las alternativas del Plan de Intervención.

A. Proteger actuando en el hormigón

Dentro de las posibilidades de protección que existen en el mercado, entendemos como la más adecuada, en cuanto a su durabilidad y su bajo coste, la aplicación de un inhibidor de corrosión migratorio. Estudiados los tipos de inhibidores disponibles, el que ofrece mayor

durabilidad, garantiza mantener al elemento afectado por debajo del umbral de riesgo de corrosión durante 10 años.

B. Reparar barra existente

Como ya se explicaba en apartados anteriores, la eficacia de este tipo de reparaciones depende en gran medida de factores que difícilmente pueden ser controlados por la Dirección Facultativa de las Obras, por lo que no se dispone de ningún modelo matemático que pueda evaluar su durabilidad real. Sin embargo, sí se dispone de estudios estadísticos de casos reales en los que se ha monitorizado la eficacia de la reparación.

En este sentido la Organización CONREPNET nos facilita una orientación de la durabilidad esperada en este tipo de reparaciones, estimando que aproximadamente el 60% de las reparaciones falla a partir de los 10 años. Esta organización cuenta con numerosos miembros de reconocido prestigio de los que podemos destacar los siguientes:

- Building Research Establishment (BRE)
- Gifford & Partners
- Belgian Building Research Institute (CSTC)
- Institute of Construction Science "Eduardo Torroja"
- Freyssinet International

Se facilita un enlace web donde poder consultar un listado más exhaustivo y extenso de los miembros participantes de esta organización.
<http://projects.bre.co.uk/conreynet/pages/partners2.htm>

C. Sustituir barra por acero al carbono

Si hemos llegado a esta situación, es porque en el elemento de hormigón en cuestión se dan unas circunstancias singulares que propician los procesos de corrosión, por lo que no parece lógico sustituir la barra afectada por otra nueva sin tomar ningún tipo de protección adicional dada su singular exposición.

Reproduciríamos prácticamente la misma situación que la obra original en cuanto al cálculo de durabilidad. Siguiendo con la simulación podemos suponer como valor razonable entre los 15 y 20 años.

D. Sustituir barra por acero inoxidable

A efectos de durabilidad, el acero inoxidable queda por encima, por mucho, de los márgenes de seguridad de 50 años que establece la EHE para elementos estructurales, por lo que queda exento de asignación de costes de mantenimiento futuros en cualquier comparativa.

3.2.3. Costes de mantenimiento

Como resumen de los aspectos desarrollados en los apartados anteriores, disponemos de la siguiente información:

Zonas de actuación

- ZONA 1: Elementos aparentemente sanos
- ZONA 2: Elementos con una fisuración inicial
- ZONA 3: Elementos agrietados

Tipos de actuaciones

- Proteger
- Reparación tradicional
- Sustitución por Acero al carbono
- Sustitución por Acero inoxidable

Con esta información, desde el punto de vista de organizar un Plan de posibles intervenciones, solamente cobran sentido las siguientes combinaciones.

Opción A

- ZONA 1: Proteger
- ZONA 2: Reparación tradicional
- ZONA 3: Sustitución con Acero al carbono

Opción B

- ZONA 1: Proteger
- ZONA 2: Sustitución con Acero al carbono
- ZONA 3: Sustitución con Acero al carbono

Opción C

- ZONA 1: Proteger
- ZONA 2: Sustitución con Acero inoxidable
- ZONA 3: Sustitución con Acero inoxidable

Con el pronóstico de durabilidad establecido en los apartados anteriores, si simulamos el Plan de intervención previsto para los próximos 50 años del edificio, considerando las veces que se tendría que volver a actuar en cada caso, así como las diferencias económicas de cada inversión, obtendríamos un cuadro similar a este, donde cada color indica un tipo de actuación y la longitud de la barra, la entidad económica del coste de ejecución.

Evidentemente este cuadro dista mucho de cualquier rigor de carácter científico, pero es más que suficiente para interpretar y concluir que desde la globalidad de la vida del edificio compensa sin lugar a dudas la utilización de acero corrugado inoxidable en la reparación, aunque ello suponga un coste inicial algo superior.

Llegados a este punto, la gran pregunta es la siguiente:

- ¿Cuánto es ese coste adicional inicial?, y...
- ¿Cuándo se recupera esta inversión?

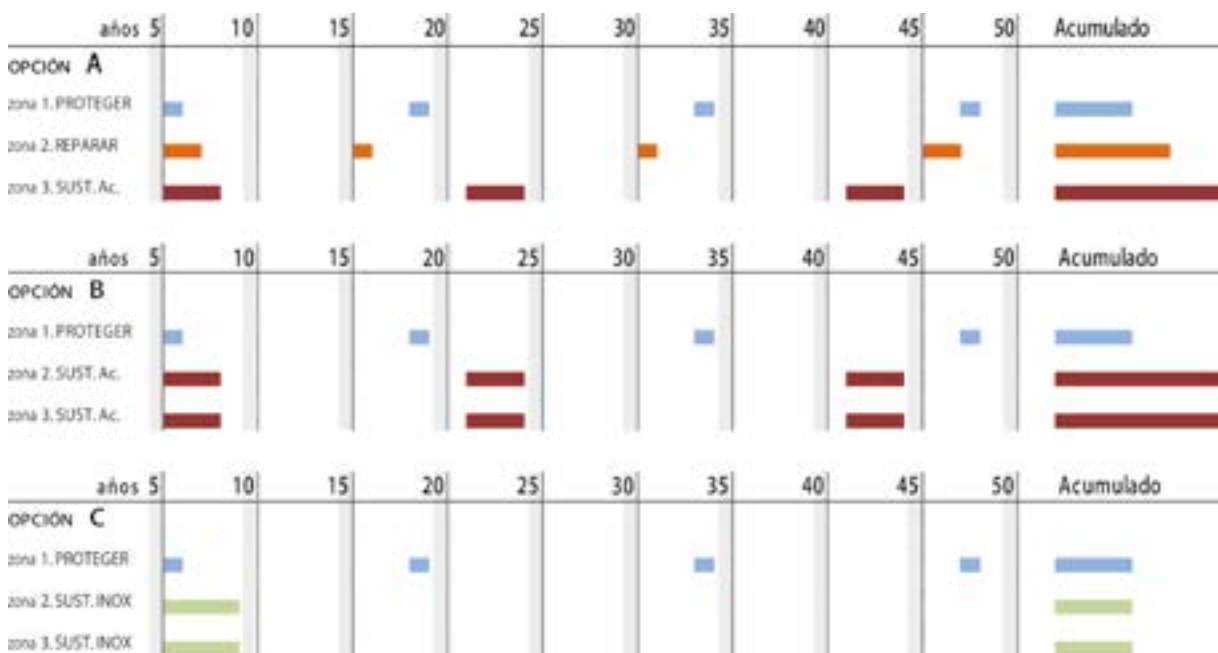


Tabla 10. Diagrama de acumulación de posibles intervenciones en el tiempo

3.2.4. Retorno de la inversión

En el [apartado 2.3](#), calculábamos una primera aproximación del incremento que podría llegar a suponer reparar con corrugado de acero inoxidable en el conjunto de una obra, obteniendo un entorno de entre un 1,66% y un 4,65% del coste, en el peor de los casos.

Podríamos proceder a un estudio económico exhaustivo en el que se analizara cómo evoluciona el coste de mantenimiento durante los 50 años de vida del edificio, y superponerlo con la evolución del gasto en caso de reparar con corrugado inoxidable, incluyendo conceptos como:

- Variaciones del IPC
- Gastos financieros
- Amortizaciones
- Variaciones impositivas
- Costes indirectos

Desde el punto de vista del rigor académico podríamos incorporar un sinfín de variables que darían como resultado un sinfín de alternativas posibles para poder precisar el retorno de la inversión realizada con el acero inoxidable, pero esto solo tendría sentido si estuviéramos hablando de incrementos muy superiores del orden de un 20% o 40%.

En el caso que nos ocupa, la conclusión es rotunda. Transcurrido el periodo de garantía de la obra, en el momento en que aparezca cualquier síntoma de corrosión en algún elemento reparado, ya habría sido rentable el uso del acero corrugado inoxidable en la reparación inicial.



Fig 38. Segunda reparación realizada en viguetas de sótano

Capítulo 2 **GUÍA de PRESCRIPCIÓN**

Este documento tiene como finalidad servir de apoyo al prescriptor a la hora de prescribir la utilización de un material novedoso para él, que no ha utilizado habitualmente e incluso nunca. Este es el caso de armaduras de corrugado de acero inoxidable en la reparación de elementos de hormigón armado afectados por corrosión de sus armaduras.

Se pretende incorporar dentro de esta guía aquellos aspectos fundamentales a tener en cuenta para la correcta elaboración y ejecución de proyectos de reparación de elementos de hormigón armado afectado por corrosión de sus armaduras.

Se incorporan recomendaciones y comentarios relacionados con la elaboración de la documentación de proyecto, de la dirección de obra, así como de la fase previa de recopilación de datos relacionada con la reparación de elementos de hormigón armado.

Se verán conceptos propios a todo proyecto de reparación y a su vez aspectos intrínsecos de la utilización de barras de corrugado inoxidable dentro del proceso de reparación.

El documento se estructura en tres fases:

- Fase de Prospección
- Fase de Prescripción
- Fase Documental

Cada fase representa un hito dentro de la elaboración global de un proyecto de reparación.

De cara a poder ilustrar cada concepto definido en las diferentes fases, se toma como referencia casos concretos de edificaciones objeto de reparación. Estas referencias permitirán generar un abanico amplio de ejemplos reales donde aplicar la utilización de acero corrugado inoxidable.



4. FASE DE PROSPECCIÓN

En esta primera parte de trabajo, el prescriptor ha de analizar la situación existente con el fin de recabar aquellos datos accesibles y pertinentes para permitir proponer una solución adecuada durante la fase de prescripción del proyecto.

En esta fase de prospección, se deberán llevar a cabo las actuaciones necesarias que nos permitan:

- Describir y cuantificar los daños
- Conocer el origen de los daños
- Conformar el cuerpo argumental adecuado que justifique las soluciones propuestas.

Para ello, hemos dividido esta primera fase en 3 apartados:

4.1 [Datos iniciales](#)

4.2 [Diagnóstico](#)

4.3 [Evaluación de la situación](#)

4.1. DATOS INICIALES

Previo al inicio de la toma de datos, la información que se posee del edificio objeto de estudio no es suficientemente amplia como para hacerse una idea de lo que pasa. No sabemos con qué nos vamos a encontrar.

Por ello, no siempre se tienen claros los datos a tomar y se plantean preguntas tan sencillas como:

- ¿Qué datos tengo?
- ¿Qué objeto tiene esta toma de datos?
- ¿Para qué quiero tomar datos?
- ¿Qué datos tengo que tomar?
- ¿Cómo lo tengo que hacer?

Este apartado pretende indicar al prescriptor qué preguntas hacerse para de ese modo aproximarse al edificio con unas ideas claras y una metodología de estudio.

Antes de ir a tomar datos, el prescriptor debe tener claro para qué quiere los datos y qué va a hacer con ellos, porque de lo contrario lo normal será que no alcancen los objetivos necesarios para avanzar en el desarrollo del proyecto.

Sabiendo desde el principio el uso y la finalidad que se pretende dar a los datos, el prescriptor los buscará con una intención concreta, cuando vaya a tomarlos.

Los datos que recaudamos pueden tener varias finalidades:

1. Tener claro lo que pasa – Lo necesario para diagnosticar

Para ellos será necesario ver distintos puntos o zonas dañadas, con catas o no dependiendo de la lesión.

2. Tener clara la entidad de lo que pasa

En este caso, la toma de datos tendría carácter de cuantificación de las reparaciones que son necesarias, sobre todo en aras de adelantar una primera estimación orientativa de presupuesto de obra.

3. Poder mostrar a terceros lo que pasa

Es importante no solo tomar datos para tener clara la reparación, también es muy importante que el cliente, quien paga, sea plenamente consciente de la gravedad de lo que pasa.

Lo normal es que por falta de información, tienda a pensar que el problema es de menor entidad de lo que es; se trata de que tenga suficiente información como para que sepa el porqué de lo que le va a costar.

4. Tener documentada la situación de manera exhaustiva.

De cara al futuro y a la ejecución de los trabajos previstos en el proyecto, la toma de datos permite generar un documento testigo del estado inicial del edificio objeto de intervención.

4.1.1. Toma de datos

Visto lo dicho anteriormente, queda claro que debemos decidir cuál es la finalidad o finalidades de la toma que queremos hacer.

En nuestro caso, queda claro que uno de nuestros objetivos es localizar los elementos de hormigón con armaduras afectadas por corrosión, desde diferentes escalas o puntos de vista.

La primera toma de contacto con el edificio debe permitirnos tener la posibilidad de recaudar toda la información necesaria para plantear un panorama de la situación suficientemente claro. Esto no evita el que sea necesaria una segunda visita, pero sí que permite un mayor aprovechamiento del tiempo empleado. Se genera, pues, un conocimiento previo, estimado, sobre los ámbitos de actuación previstos, sistemas de reparación y elementos susceptibles de intervención.

En cuanto a la cantidad y detalle de las afecciones para poder contar con una buena definición de ellas, dependerá de cada tipo de afección y lo detallaremos más adelante.

Aquí planteamos analizar la situación mediante dos escalas de trabajo, una escala global, a nivel del edificio, y otra escala más detallada, a nivel del elemento afectado, es decir:

- El edificio
- El elemento afectado

Este proceso de toma de datos puede ser más o menos complicado dependiendo del tipo de elemento a inspeccionar. Si se trata de pilares en planta baja puede llegar a ser relativamente sencillo por tener un acceso cómodo, pero en el caso, por ejemplo, de una fachada de aplacados de hormigón, la inspección puede requerir de medios auxiliares y personal especializado (ver Fig. 39).

Acto seguido, se aconseja grafiar y caracterizar las afecciones observadas dentro del conjunto edificado, de modo que puedan dar indicaciones sobre patrones de comportamiento, zonas sistemáticamente más dañadas, etc...

En el caso comentado de la fachada anterior, se marcaron en los planos de alzados del edificio, los tipos de lesiones encontradas, significando los distintos niveles de gravedad e intensidad (ver Fig. 40).



Fig 40. Grafiado de lesiones en plano

Esta imagen ilustra los posibles medios a utilizar para realizar una inspección masiva permitiendo una importante toma de datos.

Podemos adelantar que tras realizar este tipo de trabajos de prospección, el prescriptor consigue acercarse a la realidad construida del inmueble objeto de estudio y plantear con más claridad los procesos patológicos a los que se somete el edificio.



Fig 39. Inspección de fachada mediante personal descolgado

A. El edificio

Con independencia de las lesiones existentes, es muy importante poder interpretar la situación concreta del edificio, en cuanto a la tipología del mismo y en cuanto a las prestaciones que se le exigirá al elemento reparado.

Parece evidente que no es lo mismo una nave industrial que un edificio de viviendas, o un museo, como tampoco es lo mismo reparar un zuncho de borde de un forjado (ver Fig. 41), que una ménsula corta de un puente grúa (ver Fig. 42). El mismo grado de corrosión en ambos elementos puede tener consecuencias muy diferentes.

En este sentido, durante esta fase de toma de datos, se recomienda que el prescriptor ponga especial atención a las siguientes cuestiones:

- Tipología del edificio
- Prestaciones de la reparación

A continuación definiremos ambos conceptos.



Fig 41. Frente de forjado en edificio de viviendas

TIPOLOGÍA DEL EDIFICIO

En cuanto a la tipología del edificio, se recomienda poner atención sobre el tipo de edificio a nivel programático, en función de los usos que alberga: residencial, administrativo, industrial, mixto, etc.

También es recomendable identificarlo a nivel constructivo: en caso de que presente alguna singularidad en sus materiales o diseño arquitectónico, si responde a las características constructivas de una época concreta que puedan servir como referencia de antemano, o si presenta algún tipo de protección o catalogación por parte de alguna administración u organismo.

En definitiva, se debe llegar a poder hacer una Descripción funcional y constructiva del edificio, a estos efectos obtendríamos algo similar a esto:

- Descripción FUNCIONAL
En dicha descripción se deben aportar datos suficientes para valorar la entidad, volumen, tamaño del edificio.
Se recomienda una descripción sucinta de su estructura



Fig 42. Corrosión en soportes de puente grúa

arquitectónica (volúmenes y espacios) y las características formales del edificio. (Edificio entre medianeras, aislado, pareado; número de plantas, sótanos, tipología de cubiertas).

En cuanto a la documentación fotográfica, debe ser la necesaria para poder ver el edificio desde distintos ángulos como para hacerse una idea inicial de su aspecto, incidiendo con fotos de detalle en aquellas zonas que lo requieran.

Será necesario plasmar esa información en los llamados planos de plantas, alzados y secciones.

- Descripción CONSTRUCTIVA

Debe darse una idea sucinta sobre las características de los distintos elementos constructivos que constituyen el edificio, centrándose un poco más en los directamente afectados por la corrosión y sus consecuencias.

Esta descripción se centra en los elementos y sistemas constructivos afectados a intervenir. No son imprescindibles las particiones e instalaciones, salvo excepciones y casos concretos. Si bien es necesario describir la tipología de la estructura que conforma el edificio (porticada, muros, apantallada; tipología de los forjados, bi/unidireccionales; solo hormigón, uso mixto de hormigón y acero; etc) y detallar la exposición de elementos que la constituyen. [\[1\]](#) [\[2\]](#)

Gracias a la documentación hallada se podrá documentar cómo está hecha la estructura con sus correspondientes planos (Plantas, secciones, detalles del proyecto original).

PRESTACIONES DE LA REPARACIÓN

Otro punto a tener en cuenta en esta fase son las futuras prestaciones que el edificio deberá ofrecer tras la reparación. El objeto del encargo definirá el alcance de esas posibles nuevas prestaciones.

Se recomienda analizar las futuras solicitudes que soportarán los elementos existentes. Las intervenciones necesarias para dotar al edificio de esas nuevas prestaciones, pueden condicionar o superar las intervenciones de reparación específicas para cada afección. [\[3\]](#)

Ejemplos: Cambios de usos, ejecuciones de ampliación, aumento de

alturas, ejecución de nuevas instalaciones, etc.

Debe estudiarse los usos y las nuevas prestaciones que vaya a ofrecer el edificio tras la reparación, para conocer de qué forma pueden influir las nuevas prestaciones en la ejecución de la reparación.

B. El elemento afectado

En esta fase de toma de datos, es importante llegar a localizar e identificar los elementos de hormigón armado que se encuentran afectados por lesiones derivadas de la corrosión de las armaduras.

Aquí han de documentarse los elementos afectados en los distintos sistemas constructivos que se encuentran en el ámbito de actuación mediante fotografías y planos, permitiendo localizar las lesiones relacionadas con la corrosión de las armaduras dentro del conjunto edificado.

Del mismo modo que en el edificio completo, en este apartado se pretende dar al prescriptor unas recomendaciones que le permitan continuar recabando datos para alcanzar el diagnóstico de las lesiones y sus posibles reparaciones, en concreto en esta fase nos centramos en el análisis e inspección de los elementos dañados. Se recomienda al prescriptor localizar aquellos elementos que presentan daños, mapearlos y registrarlos, para analizar en fases siguientes cada una de las afecciones que presenten.

Se recomienda que el prescriptor ponga atención en las siguientes cuestiones:

El tipo de elemento, su ubicación, composición, geometría y el tipo de protección que presenta, para valorar el grado de exposición particular de cada uno de ellos.^[2]

TIPOLOGÍAS DE ELEMENTOS

Se listan y definen los distintos tipos de elementos de hormigón armado que se consideran en este manual, los cuales agruparemos en dos familias de elementos.

- Elementos estructurales
- Elementos no estructurales

Se hace una lista de los distintos datos que habría que recabar:

- Datos comunes a todo elemento de hormigón armado
- Datos específicos de cada tipo de elemento
- Elementos no estructurales

GEOMETRÍA

Otro punto interesante sobre el que prestar atención es la configuración espacial de los elementos objeto de reparación. Su consideración desde esta óptica nos encamina a analizar la zona donde se encuentra el elemento afectado, ya que hay zonas que por su geometría específica (pendientes, estrechamientos, recubrimientos, etc) representan un punto singular, foco de problemas de cara a la corrosión de los elementos de hormigón armado.

COMPOSICIÓN

Una vez identificados los elementos dañados debemos analizar su composición, definiendo los materiales que lo componen.

En el caso de los elementos de hormigón armado, los datos a tomar son los siguientes:



Fig 43. Muestra extraída de edificio en fase de estudio

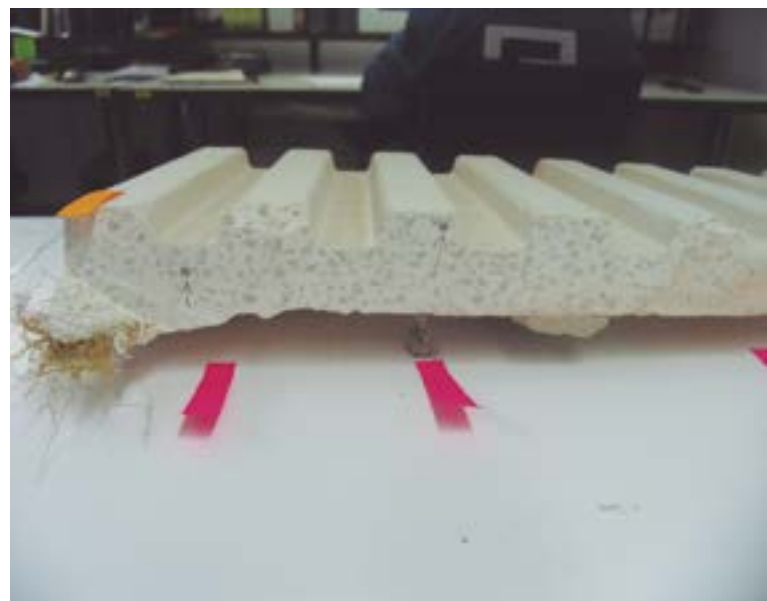


Fig 44. Detalle de muestra de aplacado en objeto de estudio

- HORMIGÓN
Tipo de hormigón (composición)
Recubrimientos
Resistencia
Porosidad
- ARMADURAS
Tipo de acero
Organización y número de barras
Ø Sección
- OTROS DATOS:
Grado de protección del elemento a la intemperie
Revestimiento
Impermeabilidad
Cualquier impregnación específica

C. Afecciones

En este apartado y una vez que el prescriptor ha localizado los elementos dañados, se debe prestar atención a cada una de las afecciones que existan, situarlas en el elemento, registrarlas y catalogarlas, de tal forma que más adelante, en la fase de diagnóstico se pueda cuantificar el grado en que se encuentran, detectar patrones, fallos de ejecución, etc.

Para conseguir este objetivo, será necesario documentar con gran detalle los tipos de afección y las características que presentan (forma, dimensiones, trayectoria, dirección...), mediante fotografías, esquemas, mediciones.

Cuando se registren las grietas y fisuras, hemos de tener en cuenta que a través de ellas podremos averiguar cuál es la causa que origina las lesiones, debido a ello debemos enfocar la toma de datos y documentar cómo se manifiestan sus características esenciales, a saber, geometría general, recorrido, dirección, sus cambios de pendientes, sentido de crecimiento y anchos; documentando la localización de los diferentes anchos a lo largo de su recorrido, los labios de las grietas y su coplanariedad, qué labio sobresale respecto al otro, su variabilidad a lo largo del recorrido.

TIPO DE AFECCIÓN

Las afecciones más habituales en temas de corrosión de armaduras en hormigón armado son:

- Fisuras
- Grietas
- Desprendimientos
- Migración de productos de oxidación

Este listado no pretende ser exhaustivo, si bien es cierto que puede estimarse sin riesgo a error que en el 90% de los casos las lesiones debidas a la corrosión son las aquí expuestas.

A continuación pasamos a plantear para cada una de las lesiones, qué tipo de datos sería lo más acertado tomar con el fin de que quedase clara la actuación.

- FISURAS

No vamos a tomar postura en el debate existente sobre cuándo una rotura en superficie, es una fisura y cuándo una grieta. Entendemos que esa decisión debe ser tomada por el prescriptor y de esa manera personalizar su proyecto.



Fig 45. Fisura en aplacado prefabricado con constatación de armadura corroída



Fig 46. Fisuración en nervios de forjado reticular

Lo cierto es que una fisura es una rotura menor y como tal no tiene importancia, sin embargo, contextualizada puede ser de gran valor, ya que nos puede incorporar el factor tiempo en el análisis, en cuyo caso nos ayudaría a predecir la evolución de las situaciones actuales. Dado lo antedicho, debemos centrar la información de las fisuras en su situación, geometría y su relación con las grietas que pudieran haber.

A la hora de la toma de datos es importante que se utilice una simbología que nos ayude a distinguir la diferencia entre grietas y fisuras. También resulta muy clarificador tomar fotos suficientes que sirvan de referencia objetiva e inequívoca; esto nos permitirá concretar de manera fotográfica lo que de otra manera sería un tanto difícil.



Fig 47. Fisuración en aplacado de hormigón prefabricado

- GRIETAS

Este tipo de lesiones resulta ser la más habitual y la más representativa de las derivadas de la corrosión, paso previo a los desconchones y desprendimientos.

Su característica principal es su relación espacial con las armaduras del hormigón debido al aumento tan significativo del volumen del material de las armaduras. Cuando las armaduras se corroen, aparecen grietas discurriendo paralelas a las barras subyacentes, con especial significación en aquellas barras que se encuentran en las esquinas y en los cambios de plano de los elementos de hormigón. Cuando la corrosión es más significativa estas grietas también aparecen en zonas alejadas de las esquinas, incluso marcando las armaduras complementarias, los cercos o estribos.

Resulta necesario poder ver el estado de esas armaduras que supuestamente están rompiendo la capa de hormigón. Si tenemos desprendimientos cercanos, hecho que, como ya se ha indicado, viene en ocasiones acompañando a las grietas,



Fig 48. Rotura en aplacado de hormigón prefabricado



Fig 49. Grieta en pilar exento de última planta

podemos hacernos una primera idea del estado de las armaduras. Evidentemente estas muestras no son suficientes ya que son *per se* aleatorias y no responden a una inspección sistemática que nos permita sacar conclusiones válidas. Debido a ello se hace necesario plantear una campaña de catas que nos permita obtener las certezas mínimas sobre el estado de las armaduras. Allí donde hayamos hecho catas serán los puntos adecuados para comprobar en las barras la pérdida de sección.



Fig 50. Grietas en cara inferior de viga de canto



Fig 51. Detalle de grieta en cara inferior de viga de canto

- DESPRENDIMIENTOS

El paso siguiente en el avance de los daños, cuando las fisuras aumentan consecuencia del empuje imparabable de la corrosión de las armaduras, es que acaban rompiendo la cobertura de hormigón que tienen a modo de recubrimiento, rompiéndolo por más de una línea de fractura y en consecuencia esos trozos de hormigón aislados de la masa general acabarán desprendiéndose.

Evidentemente en la medida en que los elementos de hormigón estén recubiertos por otros materiales, morteros a modo de recubrimiento o incluso fábricas de ladrillo, los desprendimientos se verán retrasados. Pero cuando acaben cayendo, al ser mayor el trozo que se desprenda, mayor será el riesgo de cara a la seguridad de las personas y los viandantes. Este tema requerirá atención especial de toma de medidas preventivas.

El perímetro de armadura que los desprendimientos dejan al aire, a la vista general suelen rondar el 25% de la superficie de la armadura.



Fig 52. Desprendimiento en aplacado de hormigón prefabricado



Fig 53. Desprendimiento en cara inferior de viga de canto

Una primera inspección visual, en este tipo de lesiones nos permitirá hacernos una idea del orden de magnitud del daño y en base a lo que veamos en estos puntos, montaremos una campaña de catas que nos permita poder extrapolar al resto del edificio en las zonas afectadas.

La documentación de estos daños supone localizar las zonas afectadas de desprendimientos, fotografiarlas, medirlas y en base a la técnica analizar la situación de las armaduras y su estado.

Debemos plantear una muy estrecha relación entre los desprendimientos y las grietas, dado que unas son evolución de los otros y de cara al diagnóstico pueden servirnos como elementos de predicción.



Fig 54. Vista parcial de fachada



Fig 55. Detalle de desprendimiento en zona inferior de forjado y observación de armadura oxidadas



Fig 56. Ménsula vaso de piscina con manchas de óxido

- MIGRACIÓN DE PRODUCTOS DE OXIDACIÓN

En ocasiones nos encontramos con un fenómeno diferente a los anteriores, en el que, en lugar de que los productos de oxidación ejerzan una tensión de hinchamiento que llega a romper el recubrimiento de hormigón, estos pueden migrar en disolución hacia zonas de menor presión sin tener que generar necesariamente una rotura del elemento.

Estas situaciones se pueden dar en zonas que hayan estado expuestas periodos prolongados de tiempo a un alto grado de saturación, como por ejemplo vasos de piscinas, o incluso elementos de sótano encofrados contra el terreno, en este último caso con alta presencia de agua por el motivo que sea.



Fig 57. Detalle de migración del óxido



Fig 58. Pilar en sótano afectado por corrosión

Este tipo de lesión es muy difícil de constatar, puesto que solamente se ve cuando aparece mancha en la cara exterior vista del elemento en cuestión, lo que implica que el daño ya es demasiado grave y que seguramente será necesario sustituir armadura directamente.

En ocasiones podemos encontrarnos una combinación de ambas situaciones, es decir, exfoliación del acero con rotura del elemento de hormigón y disolución de los productos de la corrosión.

GRADO DE AFECCIÓN

Una vez descritos los tipos de afecciones debemos plantearnos los grados de intensidad que podemos encontrar en los distintos casos.



Fig 59. Detalle de corrosión en pilar



Fig 60. Detalle de migración de los productos de oxidación de una barra corrugada

- FISURAS

El grado de afección de las fisuras es muy limitado dado que a partir de un punto dejan de tener la consideración de fisura para pasar al de grieta.

- GRIETAS

Aparecen como tales a partir de que pierden la consideración de fisura, límite que el prescriptor debe fijar.

No planteamos límite superior, ya que dejan de ser grietas cuando se produce un desprendimiento y se pierde uno de los labios y en consecuencia perdemos la referencia del ancho que ha podido alcanzar.

Teniendo el mapeado de las lesiones dentro del conjunto edificado, podemos hacernos una idea aproximada de los tipos de daños encontrados y sus intensidades.

Para ello será necesario localizar y constatar de modo representativo el estado tipo de las **barras** afectadas en cualquiera de sus fases con el fin de poder determinar dónde y cómo intervenir.

En este sentido podemos contar con 4 fases en el proceso de oxidación.

Como se puede ver, la fase 0 y 1 no tienen manifestación alguna de lesiones, sin embargo, en la fase 1, las armaduras ya se sitúan en un estado inicial de corrosión.

Ref	Fase de oxidación	Manifestación externa
0	SIN	Ninguna
1	INICIAL	Ninguna
2	PROPAGACIÓN	Fisuras y grietas
3	GRAVE	Desprendimiento de recubrimiento

Tabla 11. Fases del proceso de oxidación según el daño visible

Debido al conjunto de incertidumbres planteadas durante el desarrollo y la toma de decisiones en la definición del ámbito de actuación de la reparación, llegados a este punto se recomienda

realizar las catas necesarias en aquellos elementos de hormigón armado aparentemente en buen estado para de ese modo disponer de un amplio espectro de las distintas situaciones propias del edificio a estudio.

En este sentido se recomienda proceder, al menos, de la siguiente manera:

Ref	Fase de oxidación	Manifestación externa	Medio localizador
0	SIN	Ninguna	CATAS
1	INICIAL	Ninguna	CATAS
2	PROPAGACIÓN	Fisuras y grietas	VISIÓN DIRECTA + CATA
3	GRAVE	Des. de recubrimiento	VISIÓN DIRECTA

Tabla 12. Medio para inspeccionar los tipos de oxidación



Fig 61. Corrosión puntual en pilar exento



Fig 62. Detalle de corrosión puntual en pilar exento

Una vez llegados a este punto se nos plantea el problema clásico de la determinación de los límites de la actuación dado que su determinación tiene una influencia determinante en el coste de reparación, bien es cierto que una exigua intervención en cuanto al ámbito de actuación suele pasar factura pasado un periodo de tiempo que siempre se nos antoja más breve de lo debido.

ÁMBITO DE AFECCIÓN

Deberá definirse el ámbito de actuación en base a la toma de datos que se ha realizado de cada una de las afecciones.

Hemos de tener muy presente las catas realizadas en las zonas sin daños aparentes, dado que el límite del ámbito vendrá determinado por el resultado de estas catas, lo cual implica ser generoso a la hora de determinar el número de catas.

Una vez definido el elemento dañado y su ámbito de actuación en base a sus afecciones tendremos que reconsiderarlo en base a los materiales a emplear y su puesta en obra, ya que la propia ejecución nos exigirá ajustes con el fin de simplificarla. En muchas ocasiones convendría ser "generoso" al establecer el ámbito, pues es habitual encontrar corrosión errática dentro de un mismo elemento.

Como reflexión general, cabe destacar que actuamos en un edificio que tiene armaduras afectadas de oxidación y nos encontramos con distintos grados de oxidación, grados que vendrán determinados por factores ambientales, orientación, vientos, soleamiento, etc, o por factores propios de la estructura hormigón y acero, o incluso por hábitos o alteraciones de los propios usuarios.

Distintos grados de un mismo proceso, es decir, todas las armaduras, en esta situación, se encuentran afectadas, aunque en mayor o menor medida.

Si el ámbito de nuestra intervención abarcara solamente lo que consideramos fisura y grieta, por poner un ejemplo habitual, es decir, si nuestra intervención se limitará a actuar donde solo hay manifestación visual constatable, fisuras o grietas, la aparición de daños se retrasaría, pero tal vez nos podrán seguir apareciendo nuevas zonas a corto plazo, y esto debido a que en aquellas zonas sin manifestación alguna, pueden estar en fase de aparición inmediata.

En estas zonas sin daño visible, sería recomendable una intervención de protección encaminada a frenar los procesos de corrosión, alargando la vida útil del elemento, antes de que acaben en fisuración iniciando así el proceso de deterioro acelerado.

De todos modos, llegados a este punto, habría que reconsiderar esta intervención desde el total del ámbito, y considerar los siguientes temas:

- I. Qué tamaño tendría el ámbito de no intervención en % sobre el total
- II. Características de dicho ámbito
 - a. Dificultad de acceso
 - b. Grado de interferencia en el proceso de reparación
 - c.

Una vez definido lo anterior habría que:

- I. Cuantificar la incidencia económica y valorar hasta qué punto vale la pena considerar la no intervención.



Fig 63. Cata en muro de sótano afectado por oxidación



Fig 64. Detalle de picadura en barra vertical de muro



Fig 65. Detalle de picadura puntual en armadura de muro

4.1.2. Catas y ensayos

Visto lo dicho anteriormente, queda claro que debemos decidir cuál es la finalidad o finalidades de la toma que queremos hacer.

A. Catas

Resulta evidente que en este tipo de lesiones la mera inspección visual resulta insuficiente, debido a las muy diferentes características que el hormigón utilizado puede tener. Tengamos en cuenta que en la época de construcción del edificio este pudo haber sido elaborado a pie de obra con todo lo que ese sistema conlleva, falta de garantías, de homogeneidad, etc. O sea que resulta imprescindible hacer catas de las

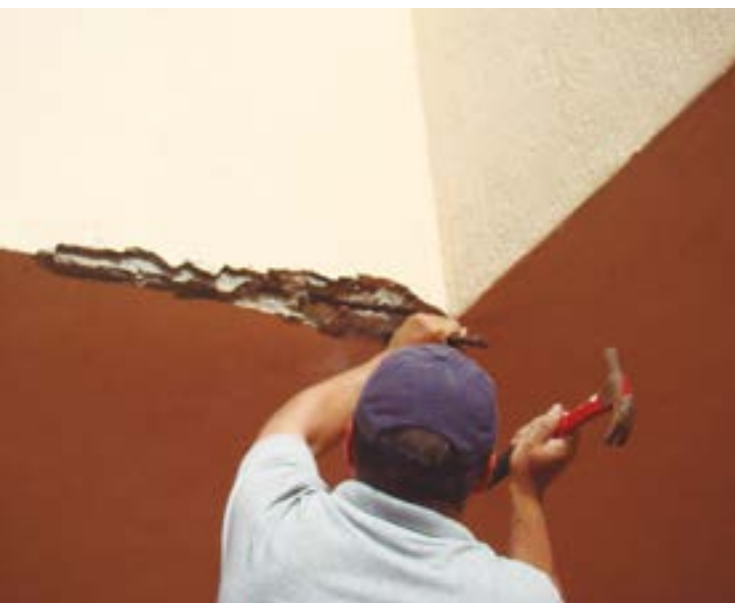


Fig 66. Cata realizada en frente de forjado mediante cincel y martillo



Fig 67. Retirada de revestimiento para observar estado de la armadura

distintas zonas del inmueble, y en los casos de elementos externos, en sus distintas orientaciones y alturas.

En definitiva debe plantearse una campaña de catas teniendo en cuenta zonas, orientaciones, alturas y vientos dominantes.

Estos aspectos resultan determinantes para disponer de un panorama mucho más preciso de cómo se encuentran las armaduras de acero realmente, lo que evitará un fuerte % de sorpresas durante la obra con sus consecuentes incrementos económicos no deseados.



Fig 68. Realización de cajeados mediante medios mecánicos para observar elemento



Fig 69. Visualización del estado de la armadura del aplacado



Fig 70. Extracción de testigo en frente de forjado



Fig 71. Testigo en frente de forjado

B. Ensayos

Por las mismas razones debemos hacer ensayos de la calidad del hormigón y estado de las armaduras, considerando que en función de la calidad y la resistencia que los ensayos nos indiquen se deberán tomar una serie de medidas de seguridad durante la reparación.

El tipo de ensayos y medidas que deberían considerarse son, al menos^{[4][5]}:

En cuanto al hormigón:

- Resistencia a compresión
- Contenido de ion cloruro
- Contenido de sulfatos
- Porosidad
- Profundidad de carbonatación



Fig 72. Detalle de testigo extraído de frente de forjado para ensayos en laboratorio

En cuanto a las armaduras:

- Velocidad de corrosión
- Potencial de corrosión
- Resistividad

Con toda la documentación del punto 4.1, estamos en situación de plantearnos el diagnóstico de la situación.

Parece evidente que el origen de las fisuras, grietas, desprendimientos, etc, es la corrosión de los elementos de acero embebidos en el hormi-gón, pero lo realmente importante es localizar aquellas situaciones singulares en el conjunto del edificio que son capaces de desencadenar y propiciar la actividad de corrosión [6] por los motivos que sean. De este modo estaremos en disposición de:

- Prescribir adecuadamente la solución para cada caso.
- Establecer los distintos ámbitos de la intervención, ya sea como reparación o como prevención.
- Prescribir aquellas otras actuaciones “en paralelo” que eviten en la medida de lo posible propiciar la actividad de corrosión en una situación concreta.



Fig 73. Panel de control medidor de corrosión Gecor



Fig 74. Aplicación del sensor en el hormi-gón



Fig 75. Conexión eléctrica con una barra

4.2. DIAGNÓSTICO

Resulta evidente que los tres subapartados del punto 4 en el que nos encontramos: Datos iniciales, Diagnóstico y Evaluación de la situación, no son compartimentos estancos.

No se plantea una toma de datos inicial sin haberse hecho una idea previa del posible diagnóstico. Plantearse una toma de datos completamente abierta a cualquier posibilidad de diagnóstico sería absurdo y una pérdida de tiempo ya que la mayor parte de la información no nos serviría de nada.

Con una idea previa de la causa o causas de las lesiones la toma de datos se identifica en esas posibilidades y se rentabiliza el tiempo y los medios utilizados. Evidentemente siempre hay que contar con la posibilidad de ajustar o rectificar los planteamientos iniciales debido a un error de enfoque y a que la toma nos derive por otras rutas.

Por tanto, acometemos este apartado después de habernos planteado un esbozo de diagnóstico tras la visión ocular del escenario y haber enriquecido, mejorado o modificado ese esbozo por la información que se ha ido recabando sobre la toma de datos. Estas ideas previas, ahora en esta fase de diagnóstico debemos tratarlas como tales, como ideas, posibilidades, pero nunca como punto de partida a ratificar sin más. Hemos de someterlas a un análisis minucioso y serio, basado en la toma

de datos acabada, con las tomas propias, los ensayos de laboratorio, la información recabada de propietarios y usuarios del inmueble. Y si tras el estudio de toda esa información global del tema podemos evaluar nuestras ideas previas, tanto mejor, y de no poder ser avalada, habrá que descartarla y asumir aquellas hipótesis que puedan ser bien documentadas y bien argumentadas.

Este apartado lo componen 2 subapartados: Origen de la afección y Ejemplos de análisis.

4.2.1. Origen de la afección

Constatado el hecho de que las armaduras de acero se están oxidando, ya sea porque se ha podido verificar visualmente como consecuencia de los desprendimientos o ya sea por consecuencia de las catas realizadas, se deberían establecer los agentes causantes de dichas oxidaciones, así como las circunstancias colaborantes propias del elemento de hormigón dañado.

Para ello resultará imprescindible disponer de los perceptivos ensayos de laboratorio que nos permitieran identificar qué elementos externos han afectado al hormigón y qué características del hormigón han propiciado que el ataque haya sido contundente y nefasto para el elemento en estudio.



Fig 76. Estado de aplacado de hormigón armado en primera línea de playa

4.2.2. Ejemplo de análisis

Como ejemplo real de este análisis, es fácil encontrar la siguiente situación. Supongamos que tenemos un edificio con fachadas resueltas con aplacados de hormigón prefabricado afectado por corrosión de sus armaduras parcialmente[7]. De la toma de datos inicial, constatamos que una de sus fachadas se encuentra sensiblemente más afectada que el resto pero de modo, en principio, aleatorio.

Procedemos a analizar la falta de protección sobre las armaduras, detectando que la totalidad del hormigón está carbonatado, y que además nos encontramos en una zona geográfica donde las altas temperaturas son habituales. Pero estos datos, son generalizados en el



Fig 77. Foto general del ejemplo



Fig 78. Detalle de fachada con aplacados de hormigón prefabricado

conjunto del edificio y no explican la singularidad de una de las fachadas.

Continuamos el análisis valorando los resultados de agentes contaminantes, en este caso, el contenido de ion cloruro. Resulta que los datos de los ensayos arrojan una desviación del orden de 3 veces superior de contenido de cloruros en esta fachada. Si nos detenemos en el origen de esta situación, pronto concluimos que la exposición a vientos de levante en primera línea de playa de esta fachada, propicia que la brisa salina deposite mayor cantidad de ion cloruro que en el resto de fachadas. Sobre esta caracterización en concreto cabe destacar que los ensayos de contenido de cloruros deben hacerse a varias profundidades, pues si analizamos únicamente la contaminación existente en los primeros 2 cm, podemos obtener datos que nos hagan tener una idea desvirtuada de la realidad. Este dato ya es significativo de la actividad diferenciada de esta fachada con respecto al resto del edificio, por lo que la primera reacción es extender la toma de datos a rincones de otras fachadas que puedan coincidir con esta orientación detectada como de riesgo.

Pero esta situación tampoco explica por qué dentro de esta fachada en cuestión, los daños no son homogéneos, por lo que continuamos el análisis en busca de una presencia continuada de un electrolito que posibilite estas situaciones, es decir agua. En esta búsqueda, y partiendo de que nos encontramos ante un edificio de tipo residencial de unos 40 años de antigüedad, detectamos que los usuarios han ido realizando modificaciones en sus viviendas que afectan a la presencia de agua localizada que pueden tener los elementos de hormigón objeto de estudio.

En este caso, nos encontramos con que la situación original de las viviendas estaba resuelta con terrazas abiertas en fachada, en las que como tal, estaba prevista su exposición al agua de lluvia con su correspondiente sumidero de evacuación. A lo largo de la vida del edificio, algunos propietarios habían modificado esta situación con mayor o menor fortuna cerrando parte de las terrazas para incorporarlas a estancias interiores como el salón o algún dormitorio.

Inspeccionando en interiores de viviendas nos enfrentamos con situaciones como la Fig. 79.

La solución de cierre efectuada por el propietario generó una situación de estancamiento del agua de lluvia, filtrando hacia la zona de anclaje del aplacado de fachada en el frente de forjado. Ante esta situación se decidió ampliar la campaña de catas desde interiores de vivienda comprobando el estado de los anclajes de los aplacados, detectando que, además de lo comentado, dichos anclajes se encontraban resueltos mediante estopada de yeso al frente de forjado.

Cabe destacar la importancia de las interferencias del propio usuario a la hora de poder clarificar la situación y origen de los procesos de corrosión en sus distintas intensidades.

Una vez planteado el diagnóstico de las distintas situaciones de corrosión encontradas, estaremos en disposición de evaluar la situación en su conjunto y plantear las soluciones de reparación más apropiadas.



Fig 79. Modificación de sistema de evacuación de agua de lluvia en terraza



Fig 80. Detalle cata por el interior en anclaje de aplacados prefabricados



Fig 81. Detalle de cata en anclaje sin impermeabilización bajo pavimento modificado

4.3. EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN

Los promotores de obras de reparación no siempre son profesionales; en muchas ocasiones el tipo de edificios a reparar son edificios residenciales regidos por las comunidades de propietarios, otras veces son edificios en los que junto con la reparación se busca modificar los usos del edificio y ajustarlo a las nuevas necesidades de la sociedad.

En los edificios residenciales y sobre todo en aquellos de carácter turístico, entre los cuales muchos son de segunda residencia y además se encuentran junto al mar, la utilización de corrugado inoxidable tiene uno de sus mayores clientes. El factor estrella sobre el que toda la actuación suele girar es el económico, siendo la calidad y la durabilidad temas muy secundarios. Es en estos donde resulta importante contextualizar las prioridades del promotor y de esa manera viabilizar el proceso de reparación, lo que supone una actuación de la racionalidad constructiva. Cuando no se procede así, el proceso de redacción del proyecto se plaga de modificaciones sistemáticas.

Con los promotores institucionales la contextualización de sus prioridades suelen venir guiadas por los cambios funcionales que a su vez supone modificar el ámbito estricto de la reparación y una peculiaridad muy presente en estos casos es tener que aplicar el CTE con todo su rigor.



Fig 82. Casetones con armadura corroída

4.3.1. El elemento

Una vez acotada la situación del elemento desde el punto de vista de la corrosión, debemos considerar otros factores que pueden condicionar el sistema de reparación a ejecutar, o incluso las labores de mantenimiento posteriores.

Si evaluamos la propuesta de reparación únicamente desde la óptica constructiva, debemos atender básicamente a dos aspectos fundamentales:

- El daño
- La contaminación del elemento

El daño incide directamente en la intervención mínima que debemos realizar para devolver al elemento a las condiciones originales, ya sean estéticas, funcionales, resistentes, etc... Sin embargo, cuando reparamos, igual que cuando proyectamos obra nueva, hemos de diseñar con una durabilidad mínima, lo que incide directamente en el sistema de reparación elegido.

A. Lesiones

En referencia al daño concreto, se ha de plantear, como mínimo, la restitución del elemento a las condiciones originales, de modo que se garanticen las prestaciones para las que fue diseñado en origen. En ocasiones, puede que la reparación a efectuar esté bastante clara, es decir, el qué, pero la ejecución de dicha reparación, el cómo, puede generar cierta dificultad, e incluso hacer modificar el sistema de reparación propuesto inicialmente como suficiente.

En este sentido, el prescriptor debe evaluar aspectos como la dificultad de acceso al elemento, los daños colaterales para llevar a cabo la intervención, la necesidad o no de intervenir en un plazo concreto, la

dificultad de inspección durante la ejecución, el uso de medios auxiliares especiales, los riesgos derivados del criterio del operario en los distintos procesos, etc. ...

B. Contaminación

Cuando reparamos de manera tradicional, es decir, sanear, pasivar y reconstruir, hemos de ser conscientes de que actuamos en un elemento afectado de manera parcial, y que la parte de elemento que queda sin intervención afectará en mayor o menor medida a la durabilidad del conjunto.

En este sentido la contaminación existente en el hormigón que queda sin intervenir puede ser un aporte negativo de contaminantes desde el interior del elemento a la protección de una barra reparada, por su cara trasera, coincidiendo además esta con la parte más difícil de proteger adecuadamente.

Cabe destacar que los sistemas de protección, ya sea pasivación mediante capa de pintura protectora anticorrosión, como por proceso de galvanización en caliente en caso de sustitución de armadura, son muy limitados frente a ataques por cloruros, por lo que en sí no son una garantía en situaciones de exposición costera. Y en algunos casos en los que se pretenda alcanzar una protección eficaz frente a cloruros mediante este tipo de protecciones, nos podemos encontrar con incoherencias constructivas en las fichas técnicas del material, como por ejemplo que se consiga un espesor mínimo de pintura protectora entorno a la barra de 2 mm.

En estos casos, hemos de partir de una solución a la que no le pueda afectar el grado de contaminación remanente en el hormigón no intervenido como consecuencia de la reparación, de modo que este factor no se convierta en un riesgo de diseño al amparo de la cobertura de Responsabilidad Civil del técnico prescriptor.



Fig 83. Viguetas de forjado con cemento aluminoso

4.3.2. Exigencias programáticas

Para terminar de decidir las soluciones de reparación a ejecutar, queda tener claro si existen exigencias diferentes o nuevas por parte del cliente o a nivel normativo, respecto del elemento reparado, de modo que se consideren en la intervención prevista.

Estas situaciones pueden obedecer criterios de:

- Cambios funcionales
- Cambios en las exigencias normativas

A. Modificaciones funcionales

Debemos ser conocedores si con motivo de la intervención, está previsto por el promotor alguna modificación funcional, o cambio de uso, que aunque quede fuera de la estricta actuación de reparación, deba ser considerada.



Fig 84. Detalle de vigueta con cemento aluminoso afectada por corrosión de armaduras

En este sentido, supongamos la actuación en un edificio afectado por corrosión en los elementos de pilares de planta baja. Esta reparación puede llegar a ser técnicamente bastante cómoda, pero resulta que la propiedad, con independencia de dicha reparación, tiene previsto ampliar 2 alturas más como consecuencia de un aumento de edificabilidad permitido por el organismo correspondiente. Parece evidente que estos pilares de planta baja, además de ser reparados sin más, deberán ser reforzados para poder asumir el incremento de cargas que supone dicha ampliación.

En este caso, la solución constructiva sería diferente si únicamente tenemos que reparar, o si además de reparar tenemos que reforzar dichos elementos.

También podemos encontrarnos con un caso muy habitual en edificación de más de 40 años de antigüedad, en la que nos encontramos combinados problemas de corrosión con problemas de merma de capacidad mecánica de un elemento. Este es el caso de alguna partida de hormigón defectuosa con resistencias no admisibles, o casos por ejemplo de cemento aluminoso.[\[8\]\[9\]](#)

B. Adecuación normativa

Dependiendo de la intervención, podemos encontrarnos con la necesidad de adaptar los elementos a unas mayores exigencias normativas, en cuanto a prestaciones mecánicas, y en cuanto a durabilidad.

Dicha necesidad vendrá determinada en el ámbito de aplicación de la norma correspondiente. Por ejemplo, en el caso de una intervención global en el sistema estructural de un edificio, el Código Técnico de la Edificación (CTE) determina como exigencia básica que se alcancen los estándares de calidad actuales con independencia de la antigüedad del edificio y la normativa con la que se construyó.[\[3\]](#)

En estos casos, puede llegar a ser muy determinante en la solución proyectada, dicha adecuación que la propia reparación de las lesiones de corrosión existentes.

5. FASE DE PRESCRIPCIÓN

Una vez superados los procesos de toma de datos, diagnóstico y evaluación, llega el momento de formalizar la prescripción con la redacción de los distintos documentos del proyecto de reparación

Independientemente de la solución constructiva, que dependerá de múltiples variables, entendemos que es importante elegir el material adecuado y especificarlo convenientemente. En este apartado nos centraremos en el uso de acero corrugado inoxidable tipo Dúplex como alternativa propuesta a los sistemas de reparación tradicionales^{[10][11]}, y sobre todo en los casos en los que tenemos presencia de cloruros.

En este sentido, expondremos a continuación, cuáles son los aspectos esenciales en los tipos de corrugado inoxidable, en cuanto a:

- Calidades
- Prestaciones mecánicas
- Resistencia al fuego, resistencia a la corrosión^[12]
- Resistencia específica a corrosión en presencia de cloruros
- Coste

5.1. EL ACERO INOXIDABLE

Este apartado tiene por objeto ofrecer una panorámica del acero inoxidable recopilando toda aquella información, ya sea específica como colateral, que tanto el prescriptor como el director de obra lleguen a tener necesidad de usar. Difícilmente podría decirse que esta información está al alcance de cualquiera, dado que aquí se centra en el corrugado inoxidable, poco usado y del que no hay documentación divulgativa específica, siendo posible encontrar como contenido menor en los grandes manuales del inoxidable.

Aquí se presenta lo específicamente necesario y sin incluir documentación que no sea de utilización directa por el prescriptor y director de obra.



Fig 85. Estribos de acero inoxidable para reparación

5.1.1. Tipos de acero inoxidable

Existe una gran variedad de calidades de acero inoxidable, siendo cada una más apropiada para unos ambientes y exigencias que el resto. Concretamente en el caso de barras corrugadas de acero inoxidable se producen diversos tipos de acero, pertenecientes a las familias austenítica y dúplex que se describen a continuación.

AUSTENÍTICOS

Esta familia de aceros son producto de la aleación de hierro, cromo, níquel y carbono. Sus características más destacables son una muy buena soldabilidad (austeníticos bajos en carbono y estabilizados), y resistencia a distintos tipos de corrosión. Se utilizan de forma común en la conformación en frío de barras corrugadas los siguientes tipos:

- EN 1.4301/1.4307 – AISI 304L
- EN 1.4401/1.4404 – AISI 316L

El tipo EN 1.4401/1.4404, con contenido de molibdeno sería en este caso el recomendado para ambiente de línea de costa. Los tipos austeníticos serían recomendables, con preferencia sobre los tipos dúplex, solo cuando las temperaturas de servicio de la infraestructura de hormigón pudieran ser extremas (por debajo de -50°C, o por encima de 300°C), pues en esas condiciones extremas los austeníticos se comportan mejor, conservando sus propiedades mecánicas.

En caso de duda, y para obtener un asesoramiento más específico, como en el caso de ambientes especialmente agresivos se recomienda consultar con CEDINOX (www.cedinox.es ▶ [Actividades](#) ▶ [Envía tu consulta técnica](#)).

DÚPLEX

Esta familia de aceros son producto de la aleación de hierro, cromo,



carbono y níquel, este último en menor porcentaje que los austeníticos. Además tienen un bajo contenido de nitrógeno que les proporciona altas características mecánicas, y en algunos de ellos molibdeno, que contribuye a su mayor resistencia ante corrosión por picaduras en presencia de cloruros. Se usan en la conformación en frío y en caliente de barras corrugadas los siguientes tipos:

- EN 1.4482 – UNS S32001 (2001) – REBARINOX 903
- EN 1.4362 – UNS S32304 (2304) – REBARINOX 915/916
- EN 1.4462 – UNS S31803 (2205) – REBARINOX 917

Estos son los aceros con los que se producen barras corrugadas de acero inoxidable.

En el caso concreto que nos ocupa, la reparación de elementos de hormigón armado afectados por corrosión de sus armaduras, consideramos que el más apropiado por sus capacidades mecánicas y su resistencia a la corrosión es el acero inoxidable [REBARINOX 915](#).

Para situaciones más agresivas, de mayor exposición a cloruros u otros agentes que favorezcan la corrosión de las armaduras, podemos contar con otros tipos más resistentes, pero de mayor coste, considerando para este tipo de usos principalmente el [REBARINOX 917](#).

En caso de duda y para obtener un asesoramiento más específico siempre podemos consultar con el [departamento técnico de CEDINOX](#).

A. Denominaciones de los aceros inoxidables

Existen diferentes denominaciones para un mismo tipo de acero inoxidable, estas diferentes denominaciones vienen dadas por cada una de las normas reguladoras y los fabricantes de aceros inoxidables.

[ACERINOX](#)

Empresa española productora de acero inoxidable que clasifica los tipos de acero que produce con una denominación que viene dada por un prefijo de tres letras y tres números, ACX XXX (marca comercial corrugado: [REBARINOX](#)).

EURONORMA EN 10088

Norma europea que regula y clasifica cada uno de los aceros inoxidables en su documento EN 10088-1, Anejo C. La denominación de cada uno

de ellos viene dada por la forma, 1.4XXX, siendo los tres últimos números dependientes de la composición química específica de cada acero.

Norma AISI (American Iron and Steel Institute)

Norma americana que regula y clasifica los aceros y aleaciones de materiales no ferrosos. La denominación que otorga a cada uno de los aceros inoxidable viene dada por un mínimo de 3 dígitos numerales. El primero de ellos indica el grupo-familia de aleaciones. Pueden ir seguidos de una o más letras que indican otro elemento o característica.

UNS

Sistema unificado de numeración internacional aportado por la ASTM que cataloga metales y aleaciones, y proporciona un sistema de identificación internacional. La denominación que otorga a cada uno de los aceros viene dada por un prefijo de una única letra (S, en aceros inoxidables) seguida de cinco dígitos (SXXXXX).

Las denominaciones concretas de los dos aceros que recomendamos para la reparación de elementos estructurales de hormigón armado son las siguientes:

B. Composición química de los aceros inoxidables

ACERINOX	EN 10088	TIPO DÚPLEX	UNS
REBARINOX 915	1.4362	2304	S32304
REBARINOX 917	1.4462	2205	S32205

Tabla 13. Denominación del acero según normativas

La composición química de cada uno de los aceros inoxidables es lo que los hace diferentes al resto, determinando sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, así como su resistencia a la corrosión.

Químicamente y como definición, el acero inoxidable es la aleación de hierro, cromo (mínimo 10,5%) y carbono (máximo 1,2%), al que se le pueden añadir otros elementos como el níquel y el molibdeno. Teniendo cada elemento una misión en las capacidades frente a la corrosión de los aceros inoxidables.

Cabe destacar que siempre que vayamos a hacer soldaduras es importante usar una calidad de acero inoxidable con un contenido en C ≤ 0.03 ya que su bajo contenido en carbono, los hace menos susceptibles a la corrosión intergranular de las soldaduras.

A continuación se muestra la composición química de los dos aceros recomendados en este manual, para la reparación de elementos estructurales de hormigón armado afectados por corrosión, y los requerimientos de cada una de las normas que los engloban.

REBARINOX 915 / ACX 915									
Ref.	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
ACERINOX	0.02	1.60	0.025	0.001	0.55	22.8	4.25	0.20	0.16
EN 10088	≤ 0.03	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.015	≤ 1.00	22.0-24.0	3.50-5.50	0.10-0.60	0.05-0.20
AISI/UNS	≤ 0.03	≤ 2.50	≤ 0.040	≤ 0.030	≤ 1.00	21.5-24.5	3.00-5.50	0.05-0.60	0.05-0.20

Tabla 14. Composición química del acero ACX 915 y requerimientos normativos

REBARINOX 917 / ACX917									
Ref.	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
ACERINOX	0.025	1.75	0.025	0.001	0.35	22.4	4.75	3.30	0.18
EN 10088	≤ 0.03	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.015	≤ 1.00	21.0-23.0	4.50-6.50	2.50-3.50	0.10-0.22
AISI/UNS	≤ 0.03	≤ 2.50	≤ 0.030	≤ 0.020	≤ 1.00	22.0-23.0	4.50-6.50	3.00-3.50	0.14-0.20

Tabla 15. Composición química del acero ACX 917 y requerimientos normativos

C. Propiedades mecánicas del corrugado de acero inoxidable

En comparación con los aceros austeníticos empleados como armaduras para hormigón armado, los aceros inoxidables dúplex presentan unas características mecánicas más elevadas.

Habiendo dejado claras las diferentes nomenclaturas y la composición química de los dos tipos de acero inoxidable que recomendamos en este Manual, pasamos a describir las propiedades mecánicas de cada uno de ellos y las exigencias que la normativa BS6744 imponen al corrugado inoxidable.

Las propiedades mecánicas del corrugado son:

0,2% LIMITE ELÁSTICO

Tensión a la cual el material sufre una deformación plástica del 0,2%

RESISTENCIA A TRACCIÓN

Carga máxima resistida por la probeta hasta la rotura, dividida entre la sección inicial de la muestra.

ALARGAMIENTO

Incremento de longitud que sufre la probeta hasta su rotura. Se mide entre dos puntos, cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.

ALARGAMIENTO BAJO CARGA MÁXIMA (Agt%)

Alargamiento uniforme experimentado bajo carga máxima, o deformación en tanto por ciento, correspondiente a la tensión máxima en el diagrama tensión–deformación.

Es un parámetro indicativo de la ductilidad del material. Se determina de acuerdo con ISO 10606

REBARINOX 915 REBARINOX 917	0,2 % Lim. elástico (Mpa)	Resistencia a tracción (Mpa)	Alargamiento (%)	Alarg. bajo carga máx. (%)
BS6744:2016	≥500	1,08 x 0,2 % Lim. elástico	14	5

Tabla 16. Propiedades mecánicas ACX 915 y ACX 917

En ausencia aún de una norma europea armonizada para el corrugado inoxidable, ambos tipos de acero inoxidable [REBARINOX 915](#) y [REBARINOX 917](#) del fabricante ROLDAN cumplen los criterios mínimos marcados por la última revisión de la Norma BS6744:2016 indicados en la tabla y el producto puede ser certificado bajo Certificación CARES de dicha norma.

Valores concretos de las propiedades mecánicas alcanzables para cada uno de esos tipos de Acero pueden ser consultados al fabricante, o a través de [CEDINOX](#), indicando los diámetros de barra corrugada requeridos.

Así mismo puede consultarse para cada tipo y diámetro de barra si puede suministrarse material que cumpla otras normas o valores concretos mínimos necesarios, por encima de los indicados en la tabla.

DUREZA BRINELL (HB)

Escala de medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, midiendo la penetración en el material a estudiar. No es un parámetro requerido por la norma, por lo que no se certifica, pero puede consultarse el valor promedio suministrable por tipo y diámetro.

D. Resistencia de las armaduras a la corrosión

Previamente a describir la resistencia de los aceros inoxidable frente a la corrosión, es importante destacar la diferencia de comportamiento de este material frente al acero al carbono del corrugado convencional.

ARMADURAS DE ACERO AL CARBONO

Como se explica en el punto [\(3.1.1. apartado A\)](#) del capítulo 1, el acero convencional expuesto a la lluvia, o incluso protegido por un recubrimiento de hormigón que contenga humedad favorece la formación de corrientes de corrosión. La resistencia a la corrosión en el caso del corrugado convencional se basa en la protección que le proporciona el recubrimiento de hormigón (El tipo y espesor de recubrimiento).

Esa protección del hormigón cesa por dos causas fundamentales por las que una estructura de hormigón armado con acero al carbono puede acabar fallando por problemas de corrosión. La primera de ellas es la CARBONATACIÓN DEL HORMIGÓN y la segunda es el ATAQUE POR CLORUROS.

Mientras que la primera puede darse en cualquier ambiente seco, la segunda está muy relacionada con los ambientes donde pueda existir la presencia de iones cloruro, que aunque preferentemente se relacionan con ambientes costeros existen en otros ambientes, como en los que se utilizan sales para el deshielo en invierno, que pueden ser igualmente agresivos.

Con respecto a la Carbonatación, cabe destacar que inicialmente la barra corrugada de acero al carbono permanece en estado pasivo, protegida por la alcalinidad del hormigón que presenta un PH alrededor de 12,5. Sin embargo, a medida que el hormigón empieza a reaccionar

con la atmósfera, comienza a carbonatarse en presencia del CO₂. Su PH va disminuyendo hasta llegar a un punto, por debajo de 9,5 en el cual se rompe la capa pasiva del acero al carbono y queda desprotegido. El tipo de corrosión que sufre el acero al carbono por el efecto de la carbonatación es el que se conoce como CORROSIÓN GENERALIZADA.

En el caso de que nos encontremos con presencia de cloruros, el ataque es mucho más agresivo y lo hace de manera localizada, desarrollando el proceso conocido como CORROSIÓN POR PICADURAS.

Con independencia del origen de los procesos de oxidación de estas armaduras, el acero al carbono se corroe generando óxidos de hierro en la superficie, provocando un aumento considerable de volumen, el cual es el causante de las fisuras, grietas y desprendimientos que encontramos en los elementos de hormigón.

ARMADURAS DE ACERO INOXIDABLE

Todo metal, incluido el inoxidable, en contacto con el oxígeno se oxida. Lo importante y fundamental es la forma en que lo hace. Concretamente en el caso del inoxidable la oxidación forma una delgada pátina superficial de óxido de cromo, que permanece inalterada sin aumentar su volumen y que en caso de que se pueda romper, se autorregenera en contacto con el oxígeno por estar el cromo presente de forma homogénea en toda la composición del inoxidable. Esa pátina de óxido de cromo denominada comúnmente capa pasiva, es la que protege al material y evita su corrosión.

Hay que destacar que los aceros inoxidables, en general, incluidos los tipos ferríticos, más económicos, no son susceptibles al tipo de corrosión por carbonatación del hormigón, ya que su capa pasiva, formada por óxido de cromo, permanece inalterable ante la reducción de PH del hormigón.

Los cloruros, que son la causa de los daños más graves de las estructuras de hormigón armado en edificios de costa, pueden sin embargo ser causa de corrosión por picaduras en algunos aceros inoxidables si su presencia es suficientemente elevada para romper la capa pasiva y provocar un inicio de corrosión localizada, por picaduras o corrosión bajo tensión que puede derivar en grietas en materiales que aparte

de estar en contacto con una alta concentración de cloruros, estén sometidos a tensión por carga.

Los elementos de aleación, cromo (presente en todos los tipos inoxidables por encima del 10,5%), molibdeno y nitrógeno, utilizados en la fabricación de algunos tipos de aceros inoxidables, hacen más resistente la capa pasiva frente a los cloruros. Esta resistencia a picaduras se mide por el número de PREN (Pitting Resistance Equivalent Number), calculado a partir de una fórmula como la siguiente:

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 16\text{N}$$

(En el caso de los aceros dúplex suele utilizarse para su cálculo el último sumando como 30N)

Según el tipo de acero inoxidable (PREN), se encuentran resistencias a umbrales límite de cloruro muy por encima de los soportados por el acero al carbono. De este modo, escogiendo el tipo inoxidable adecuado la resistencia a picaduras, en presencia de cloruros, deja de ser condicionada por el recubrimiento de hormigón, al ser la propia armadura inoxidable la que lo resiste evitando su corrosión.

El tipo de corrosión que pudiera producirse en un acero inoxidable, aparte de requerir esas condiciones mucho más agresivas en contenido de cloruros, no produce como en el caso del acero al carbono un aumento de su volumen, por lo que se evitaría el tipo de tensiones que se ha mostrado causan graves daños al recubrimiento, incluso llegando a desprenderse.

PREN	Clase de resistencia a la corrosión
25-30	CRC 3. Protección alta
≥ 30	CRC 4. Protección muy alta

Tabla 17. Resistencia de los aceros inoxidables a la corrosión

Aunque el cálculo ha de hacerse de acuerdo con su composición exacta, los PREN aproximados calculados con la fórmula, estarían en valores aproximados de 26 para ACX 915 y de 37 para ACX 917.

E. Resistencia al fuego de los aceros inoxidable

“La resistencia al fuego de los elementos estructurales de acero inoxidable puede ser determinada utilizando EN 1993-1-2. Las reglas de diseño simplificadas para las estructuras de acero al carbono se pueden aplicar de manera segura al corrugado inoxidable en combinación con los factores específicos de reducción de resistencia y rigidez para el tipo correspondiente de acero inoxidable.

Los factores de reducción son los ratios de resistencia (rigidez o tensión), a una elevada temperatura de diseño, frente a los valores correspondientes a temperatura ambiente.

Los factores de reducción para acero inoxidable difieren bastante significativamente de los del acero al carbono a causa de las diferentes microestructuras y elementos de aleación. Estos factores específicos para el acero inoxidable se encuentran en el Anexo C de EN 1993-1-2”.
[\[14\]](#)

En resumen, puede afirmarse que las propiedades mecánicas de los aceros inoxidables (tracción y fluencia) a alta temperatura exceden las de los aceros convencionales, proporcionando una mayor resistencia a altas temperaturas.

F. Aspectos sobre los tipos de soldaduras

En este apartado comentaremos algunos aspectos a tomar en cuenta para la realización de soldadura disimilar de barra corrugada de acero al carbono con barra corrugada de acero inoxidable austeno-ferrítico (dúplex).

Para facilitar el seguimiento de este apartado, se propone sintetizar la información sobre la soldadura disimilar, pudiendo consultar más información en www.cedinnox.es/publicaciones online ► [Instrucción Técnica: Soldadura de barras corrugadas de acero inoxidable austeno-ferrítico \(dúplex\), con corrugado de acero al carbono o dúplex.](#)

Si nos ubicamos en el contexto de la reparación de elementos afectados por corrosión, en más de una ocasión se deberá de ejecutar una unión por soldadura entre una barra de acero al carbono existente y una barra de acero inoxidable. Se debe pues controlar esta fase de ejecución,

Se ha podido documentar con total exactitud los diferentes pasos a realizar para garantizar el éxito de la soldadura, recaudando la máxima información del proceso gracias a la colaboración del Instituto Tecnológico del Metal (ITMETAL).

teniendo claros los diferentes parámetros que conducen a su realización.

Dentro del mundo de las soldaduras, existen muchos procesos diferenciados que permiten soldar las armaduras entre ellas. Los primeros conceptos a tener claros son el grado de dificultad y la responsabilidad de la unión. Antes de realizar la soldadura se debe de verificar que la zona a soldar ya forma parte de una zona exenta de corrosión, asegurando que la nueva unión se sitúa en una zona sana y por lo tanto libre de posible corrosión. Además, en la mayoría de los trabajos de reparación la responsabilidad de la unión es baja por no estar sometida a cargas. En estos casos es suficiente una instrucción de trabajo donde se describa de manera clara los pasos a seguir para realizar la soldadura dentro de un escenario seguro.

Cuando la unión estuviera sometida a esfuerzos y la responsabilidad fuera



Fig 86. Detalle de ajuste de solape para soldadura



Fig 87 Realización de cordón de soldadura



Fig 88. Electrodo revestido recomendado



Fig 89. Electro-maquina utilizada para soldar

elevada, la instrucción de trabajo puede no ser suficiente, sería entonces aconsejable tener en cuenta las normas que considera de aplicación la Instrucción de Hormigón Estructural vigente para seleccionar el nivel de calidad necesario. Considerando esta posibilidad se ha realizado una cualificación del procedimiento de soldeo (WPS) y del soldador en una agencia de inspección acreditada, cuya documentación quedará accesible en www.cedinox.es ▶ publicaciones ▶ documentos online ▶ categoría: corrugado y soldadura para los usuarios del corrugado REBARINOX.

En reparación, muchas situaciones quedan exentas de la utilización de soldadura, puesto que a veces se puede optar por una unión de atado entre las barras corrugadas, mediante alambre inoxidable tipo 1.4401/1.4404 - AISI 316/316L - ACX 302/332 o 333. Las barras anteriormente atadas quedarán embebidas dentro de la masa del hormigón o en su caso del mortero de reparación.

Si optamos por soldar las armaduras, debemos de tener claros cuales son los consumibles y los equipos de soldadura que permiten alcanzar



Fig 90. Soldador especializado realizando una soldadura con los medios de seguridad requeridos

Estas tres imágenes ilustran los resultados obtenidos tras realizar una soldadura en bisel. Estos resultados se obtuvieron dentro de un contexto favorable en taller. Sin embargo, en obra, esta unión puede resultar ser difícil de ejecutar puesto que la parte trasera de la barra siempre queda de complicada visión y acceso para el soldador, impidiendo garantizar la correcta penetración de la soldadura.



Fig 91. Unión en bisel entre dos armaduras

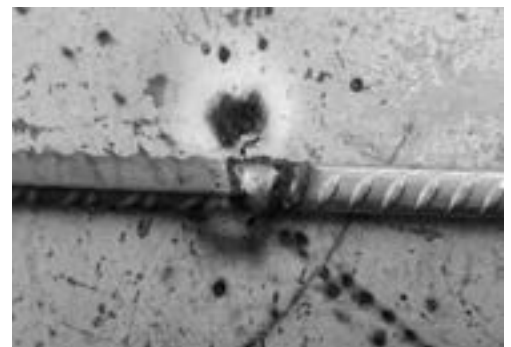


Fig 92. Escoria resultante de la armadura

las medidas de seguridad necesarias. El sistema comúnmente empleado en las obras de reparación es el de electrodo revestido. Esta tendencia se debe a su comodidad puesto que solo necesita de una fuente de alimentación, de una electro-máquina de soldadura, una pinza porta-electrodo y una pinza de conexión de masa. Estos componentes generan un circuito alimentado por la fuente de corriente adecuada, la pinza porta-electrodo y la conexión de masa fijada al metal base, permiten cerrar el circuito mediante el arco que salta entre el extremo del electrodo revestido y el metal a unir.

La realización de la soldadura siempre deberá realizarse por mano de obra especializada puesto que, ante la posible existencia de defectos en la soldadura, los operarios especializados podrán detectar y evitar errores.

La soldadura se deberá de ejecutar utilizando los electrodos adecuados para la unión. Se recomienda utilizar el material de aportación consumible EN ISO 3581-A E 23 12 2 LR 32; AWS/ASME SFA 5.4 E-309LMo-17 según procedimiento de soldadura (SMAW) / UNE – EN ISO 4063, realizando la



Fig 93 Limpieza de soldadura con piqueta



Fig 94. Solape entre armaduras superior a 10 cm



Fig 95. Realización de cordón recto de soldadura

soldadura de acuerdo con el proceso de las figuras Fig.94 a Fig.96. Este proceso de soldadura con cordón recto se ha aprobado para diámetros de armaduras de entre 5 y 32 mm siendo las armaduras más utilizadas de entre 6 y 20 mm de diámetro.

Se deberá de solapar aproximadamente 10 cm la barra de acero inoxidable generando una unión a solape, previamente se eliminarán los restos de hormigón para acto seguido generar el cordón recto de soldadura.

Finalmente se deberá de realizar una limpieza de la soldadura con piqueta y cepillo para eliminar las escorias del electrodo e impedir errores al pintar sobre ellas, puesto que estas "costras" no forman parte de la soldadura y al desprenderse dejarían puntos sin cubrir por la pintura anticorrosión.

Se deberá de proteger la soldadura según las recomendaciones marcadas en la EN 1993-1-4, consistentes en extender la protección anticorrosiva de la armadura de acero al carbono hasta la zona de



Fig 96. Detalle de primer tramo de soldadura incandescente

soldadura y recubriendo hasta 10 cm de la armadura de acero inoxidable.

Es importante mencionar que la aplicación de la pintura anticorrosiva como se menciona anteriormente evita que un posible poro sin cubrir sobre el acero al carbono pudiera convertirse en un punto de corrosión galvánica. Pese a la posibilidad de este proceso, la influencia de la corrosión galvánica, consecuencia de la soldadura, es mínima y no es comparable al proceso de corrosión experimentado por las armaduras al carbono dentro de los diferentes ambientes que propician su oxidación [15].



Fig 97. Continuidad en el cordón de soldadura



Fig 98. Limpieza a fondo con cepillo de acero



Fig 99. Soldadura tras la limpieza de las escorias

5.1.2. Precios

Los precios de los distintos tipos de aceros inoxidable pueden presentar diferencias significativas en el tiempo debido a la volatilidad del coste de algunos de los elementos de aleación que forman parte de su composición. En particular para este tipo de aplicación son especialmente importantes las variaciones de coste del níquel (Ni) y molibdeno (Mo).

El acero inoxidable [REBARINOX 915](#), al tener un contenido en Ni más reducido que un acero de tipo austenítico, presenta una mayor estabilidad de coste en el tiempo. Para el [REBARINOX 917](#), con contenidos elevados de molibdeno, la volatilidad del coste debe ser mayor.

Los precios de referencia que aparecen referenciados para el acero inoxidable REBARINOX 915 en las [tablas 1 a 9](#) del capítulo 1 se corresponden a precios de referencia para material en stock de entrega inmediata en enero de 2020. Por el motivo citado esos precios de coste deben ser consultados con el suministrador para el plazo de entrega particular necesario en cada proyecto, pudiendo además variar en caso de tratarse de cantidades más importantes programadas para entregas de la fábrica en un programa de fabricación determinado.

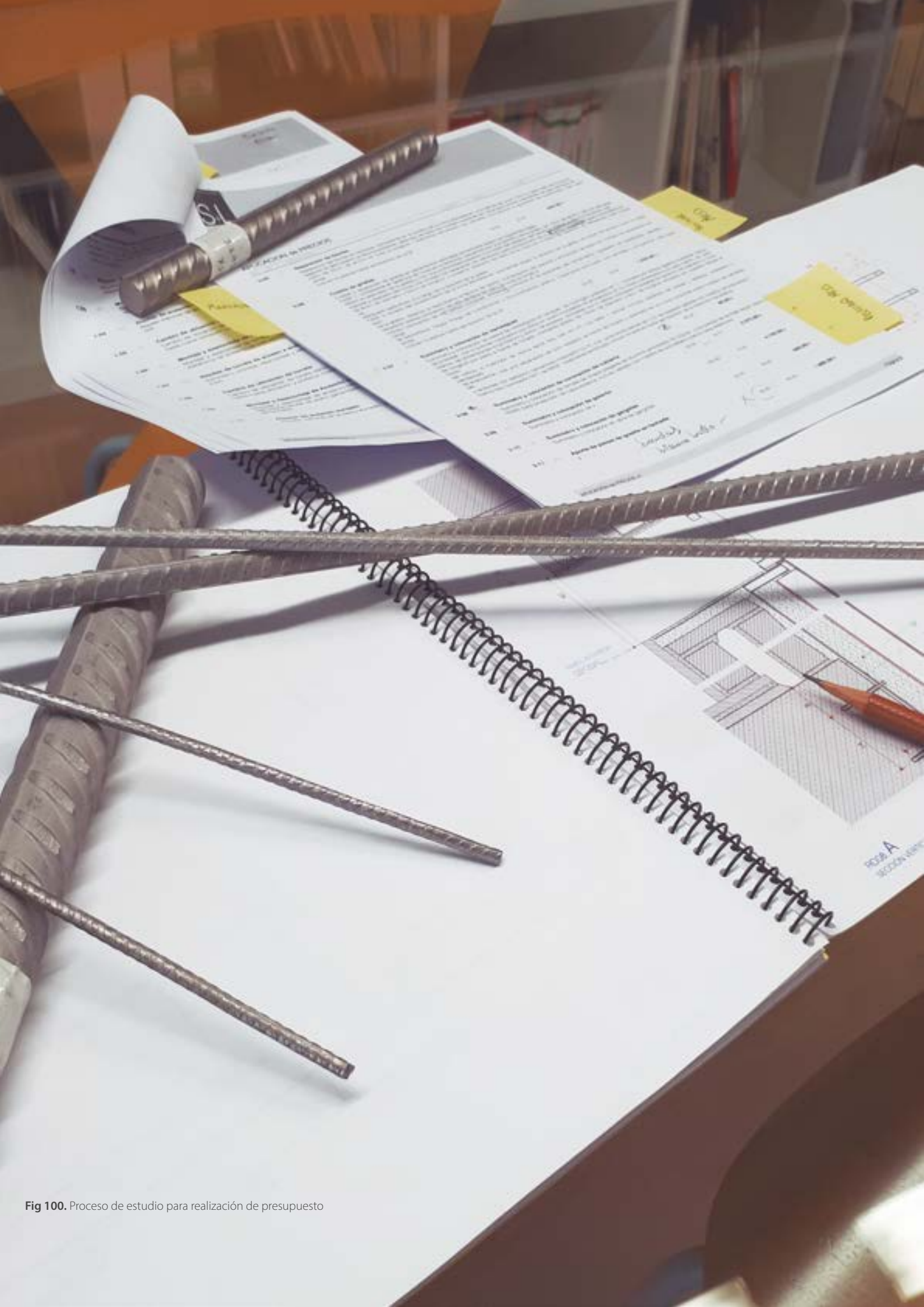


Fig 100. Proceso de estudio para realización de presupuesto

5.2. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

El ámbito de este texto es el de la utilización del corrugado inoxidable en el hormigón armado objeto de reparación. Y desde esa óptica se plantean unas directrices específicas en cuanto al posible uso de este acero.

Tratar el diagnóstico global de las distintas situaciones que se pueden llegar a plantear excedería los límites que aquí nos planteamos.

La pregunta que debemos contestar es la siguiente: ¿cuándo procede la utilización del corrugado inoxidable? Las directrices a seguir para dar una respuesta clara, particular y concreta podrían ser:

- El acero no cumple las exigencias funcionales mínimas
- La reparación de las barras oxidadas iguala o supera la sustitución por barras de acero inoxidable.
- La vida útil de las barras de acero que no necesitan reparación dispondrán de una vida útil reducida y cualquier tratamiento que permitiera su ubicación se nos antoja corto porque técnicamente lo fuera o porque al promotor de la obra así se lo pareciera.

Con estos tres criterios podríamos establecer el ámbito de actuación con barras de acero corrugado a falta de otro tipo de consideraciones a ver en el próximo apartado.



Fig 101. Estado de armaduras tras picado de recubrimiento insuficiente

5.2.1. Sistemas de reparación

En la actualidad el sistema de reparación de elementos estructurales de hormigón armado, al que llamamos sistema convencional o tradicional, es aquel que se caracteriza por reparar las armaduras dañadas y en caso de deterioro avanzado, cambiarlas.

Lo que se propone consiste en no reparar las barras que fuesen objeto de reparación, sino cambiarlas directamente.

A continuación pasamos a exponer en qué consisten uno y otro sistema y cuáles son sus diferencias conceptuales. En apartados posteriores se mostrará con todo detalle las diferencias constructivas y de ejecución entre ambos.

A. Ámbitos

Las estructuras que se reparan fueron construidas hace algún tiempo y en ese momento la normativa de obligado cumplimiento no era la actual, siendo hoy mucho más exigente.

En reparación las actuaciones parciales suelen ser mucho más frecuentes que las intervenciones globales. Cuando la intervención es global esta debe hacerse de acuerdo a las normas en vigor, lo cual supone una seria reconsideración del estado de cargas y de los coeficientes de seguridad, lo que puede llegar a suponer modificaciones considerables de la estructura existente.

Cuando se interviene en una zona reducida o en un par de elementos estructurales, la normativa prevé que se mantengan los estándares de cálculo que se consideraron en el cálculo estructural inicial, por lo que en esos casos no es necesario cumplir las exigencias de la normativa vigente.

Por ello conviene analizar con rigor el ámbito de actuación y comprobar cuáles son las exigencias a las que hay que someterse en base al ámbito que se tenga.

B. Tipos de intervención

Cuando se interviene para reparar elementos corroídos siempre hay que contar con distintos grados de intervención, puesto que la corrosión nunca se manifiesta de manera uniforme.

Inicialmente y teniendo como criterio el grado de corrosión del elemento a reparar se podría plantear una escala de intervenciones en base a la escala de afecciones analizada. Este enfoque, alimentado por un ánimo de precisión para ajustarse a la realidad, nos llevaría a tener que compaginar una amplia gama de soluciones. Por lo que las actuaciones de reparación, donde es necesario picar el hormigón acaban siendo 2, a saber:

- Reparar la barra al modo tradicional, lijándola y pasivándola.
- Cambiar la barra dado su alto grado de oxidación y pérdida de sección.

Ahora bien, en el capítulo 1 del presente manual, ha quedado claro que allí donde se tenga que actuar ya sea de un modo u otro de los antedichos, la solución a plantear sería la colocación de corrugado inoxidable en ambos casos, dado que desde el punto de vista técnico es preferible colocar una barra de inoxidable y como ya hemos visto desde el punto de vista económico compensa sustituir.

Considerando todo lo anterior podemos enumerar las siguientes actuaciones posibles:

- Proteger
- Cambiar
- Demoler



Fig 102. Aplicación de inhibidor



Fig 103. Sustitución de armadura por corrugado de INOX



Fig 104. Demolición de aplacado irrecuperable

PROTEGER

Esta intervención consiste en la aplicación superficial de inhibidor de corrosión sobre los elementos de hormigón armado.

Este tipo de intervención procede ejecutarla en los casos en que los síntomas que presentan los elementos de hormigón son inexistentes o se trata de ligeras fisuras superficiales producidas por corrosiones muy incipientes, en las que tras hacer catas se muestran las corrugas totalmente definidas y sin pérdida de sección aparente.

La intervención tiene como ámbito todas aquellas partes de los elementos de hormigón armado en estudio sobre las que no procede actuar directamente sobre la armadura.

CAMBIAR

Esta intervención consiste en cambiar las armaduras existentes que han perdido su capacidad de carga o parte de ella, por otras de corrugado inoxidable.

Este tipo de intervención procede ser ejecutado en los casos en que los síntomas que presentan los elementos de hormigón son los planteados en el [apartado Afecciones](#), o sea, fisuras, grietas y desprendimientos.

El ámbito de esta intervención viene definido por aquellos elementos de hormigón armado que tengan alguno de los síntomas de los mencionados anteriormente, fisuras, grietas y desprendimientos, y también por aquellos elementos que no son objeto de ser protegidos.

DEMOLER

Esta intervención consiste en demoler los elementos de hormigón armado existentes que se encuentran fuera de servicio por los efectos de la corrosión.

Este tipo de intervención procede ser ejecutado en los casos muy especiales en los que no es viable la recuperación del elemento en cuestión.

El ámbito de esta intervención queda definido a aquellos elementos que hayan quedado fuera de servicio por la pérdida de capacidad portante de sus materiales.



Fig 105. Refuerzo y reparación de pilar en sótano con acero inoxidable

5.2.2. Estimación inicial de obra

Es de buena ley y propio de la profesión de arquitecto el acompañar las propuestas en desarrollo o definitivas de una estimación de presupuesto o presupuesto definitivo de manera que el cliente vaya siendo consciente de la repercusión económica que le puede suponer la intervención que se está estudiando.

En el caso de esta publicación es de vital importancia, de manera que el cliente pueda percatarse de la diferencia económica que le supone reparar el acero al carbono o sustituirlo por corrugado inoxidable de manera que junto con el resto de ventajas que conlleva puede tomar la decisión que cree más ventajosa para sus intereses.

En otro orden de cosas, hay factores que puedan suponer modificaciones importantes en la estimación del presupuesto, si bien los procesos de reparación de armaduras pueden llegar a estimarse con cierta precisión en cuanto intervengan otros factores no previstos que incidan en la estructura las variaciones pueden llegar a ser muy significativas por lo que debemos acometer este apartado con el rigor que se merece sin caer en simplificaciones que nos pueden conducir a graves errores.

A. Predimensionado

Debemos tener muy presente en qué medida nuestra intervención puede suponer modificaciones en el estado de cargas del edificio. Cualquier alteración que se proponga, ya sea consecuencia de la mera reparación de los elementos estructurales, sea por modificaciones funcionales o sea por adecuación a la normativa en vigor, debe ser considerada a efectos de valorar sus consecuencias y en la medida en que sea necesario tomar las decisiones oportunas y justificada a efectos de cálculo.

B. Estimación global económica

La propuesta de intervención que inicialmente el prescriptor plantee debe ir acompañada de una estimación económica, de esta manera el promotor de la reparación se puede hacer una idea de la inversión y de la incidencia que en ella le puede suponer la utilización de corrugado inoxidable. Sirviendo este paso para ratificar la utilización del corrugado inoxidable.

Además, en caso de tener que tomar decisiones económicas significativas, esta es la fase adecuada.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EJECUCIÓN

En este apartado se considera la reparación del elemento de hormigón con barras corroídas mediante el sistema de sustitución de las barras de acero al carbono afectadas por barras de acero inoxidable corrugado. Solo se expone el proceso de manera sucinta para que el prescriptor tenga claro cuales son los pasos a dar al utilizar el inoxidable.

Se da por hecho que el prescriptor ha optado por la utilización del corrugado inoxidable después de haber valorado sus ventajas e inconvenientes.

La exposición comparativa detallada para apreciar las diferencias de los 2 sistemas se expone con todo detalle en el siguiente capítulo, en el punto [8.2 evaluación de riesgos](#). Es en este apartado donde se expone la información necesaria para que el prescriptor pueda tomar su decisión sobre el acero a usar.



Fig 106. Prefabricado de hormigón fisurado por corrosión de sus armaduras.

5.3.1. Temas previos

De cara a planificar los procesos de ejecución necesarios en función de la situación de obra a la que nos enfrentemos, será necesario, al menos, tener presentes aspectos como la situación de seguridad del elementos estructural en cuestión, y en su caso proponer los medios adecuados para poder trabajar en condiciones de seguridad.

A. Consideraciones de seguridad

Previo a cualquier tipo de intervención es necesario tomar en consideración las modificaciones de cargas que se tienen previstas, de manera permanente y las temporales que sean necesarias durante los procesos de reparación.

Ha de tenerse en cuenta que se actúa sobre elementos estructurales, que se va a quitar hormigón para poder llegar a las armaduras y cambiarlas, lo cual supone reducir la sección efectiva de hormigón que trabaja.

Teniendo en cuenta los compromisos de acabar en fecha fija, habrá que ver el ritmo de ejecución que se necesita y ello puede requerir medidas de seguridad extras, ya que por ejemplo; abrir las 4 caras de un pilar simultáneamente por cuestiones de tiempo requerirá muy probablemente medidas de seguridad tales como apuntalamientos.



Fig 107. Pilar afectado por corrosión en primera línea de playa

5.3.2. Procedimiento de cambio

Evaluados otros aspectos de interés a tener en cuenta, aquí se detalla el proceso que se divide:

- Pasos previos
- Colocación del acero inoxidable y
- Pasos posteriores

A. Pasos previos

PLANIFICACIÓN DE LA SUSTITUCIÓN

- PASO 1
Es necesario plantearse en base a la toma de datos realizada los tramos de barras de corrugado inoxidable a colocar. Estos tramos deben corresponder con las zonas que en la toma de datos aparecen con fisuras, grietas o desprendimientos.
- PASO 2
Una vez grafiado el cambio a realizar hay que plantearse la sustitución desde la lógica de la ejecución, esto quiere decir que en base al proceso de ejecución, en caso que aparezcan tramos pequeños o grandes con una cierta proximidad, conviene considerar unificar los tramos a sustituir bajo un criterio de ejecución que resulte más práctico y rápido la sustitución, y de ese modo reducir los encuentros entre tramos viejos y nuevos. Esto siempre supondrá ahorro de tiempo al eliminar en cada zona de intervención, dos uniones entre viejo y nuevo y en definitiva se ahorra tiempo, dinero y se gana en calidad, teniendo en cuenta que el sobrecoste de picado de hormigón y el aumento de kilos de acero resulta insignificante.
- PASO 3
Tras concluir el paso anterior hay que prever en cada tramo de

En las diferentes figuras (Fig. 108a, 108b, 109) se puede apreciar el trabajo realizado en los laboratorios CARMEN ANDRADE de la UNIVERSIDAD de ALICANTE, donde contrastaron los diferentes pasos de la puesta en obra de cada sistema de reparación. La ejecución de las diferentes fases se realizó con la colaboración de la empresa AKRA rehabilitación.

acero a cambiar un espacio de picado extra para poder soldar o solapar las armaduras nuevas con las viejas, según se decida por el prescriptor.

En este manual se opta por soldar, evitando de este modo situaciones singulares de compleja resolución, sobre todo en cambios de dirección de las barras.

- PASO 4

Los espacios extra necesarios para soldar las barras nuevas con las viejas se estiman en 10 cm en cada extremo de la intervención.

PICADO DEL HORMIGÓN

Una vez que se tenga el procedimiento anterior claro se procederá al picado del hormigón.

Durante este proceso es necesario dejar espacio suficiente alrededor de las barras, aproximadamente 1 cm, para poder colocar luego las nuevas con la suficiente comodidad y las garantías de recubrimiento de mortero de reparación en todo su perímetro.



Fig 108 a. Picado de hormigón en taller



Fig 108 b. Tramo de picado de hormigón hasta dejar al descubierto las armaduras en todo su perímetro



Fig 109. Detalle holgura picado del hormigón

CORTADO DE BARRAS

Una vez descarnadas las barras a sustituir en su tramo completo, más los solapes de 10 centímetros a cada lado que se prevén para realizar las soldaduras, se cortarán las barras principales en el tramo previsto respetando en ambos extremos la longitud de solape entre la armadura nueva y vieja.



Fig 110. Corte de armadura en proceso de sustitución



Fig 111. Detalle tramo armadura existente en espera

B. Colocación del acero inoxidable

COLOCACIÓN DE BARRAS

Se puede colocar algún estribo tal y como se indica más adelante que inicialmente sirva de apoyo a las barras principales.

Sujetas las barras principales a colocar en alguno de los estribos se presentan las barras viejas en la longitud prevista para soldar, se centra adecuadamente y comprobando que los solapes son los necesarios según diseño y cálculo del prescriptor, se soldará cada extremo de la barra de inoxidable es sus correspondientes extremos a la barra vieja existente.

En caso de que la barra a sustituir supere la longitud de una barra de inox, se unirán dos barras solapándolas según normativa vigente.



Fig 112. Fase de preparación en muestra de sustitución de armados para corrugado inoxidable



Fig 113. Proceso de corte in situ de longitud de barra deseada para la sustitución



Fig 114. Detalle de preparación para soldadura entre armadura existente y nueva

Las figuras 115 y 116 reflejan la puesta en obra de una sustitución de armadura por armadura de acero inoxidable en una obra ejecutada.

Las figuras 117 a 119 muestran los procedimientos realizados en los laboratorios de la UNIVERSIDAD de ALICANTE.

LONGITUD DE SOLAPE

Teniendo claro y habiendo replanteado y preparado el tramo de barra a sustituir, se presenta la barra nueva en la longitud prevista, se centra adecuadamente y comprobando que el solape es el necesario según diseño y cálculo del prescriptor, se ata con alambre de inoxidable cada extremo de la barra de inoxidable en sus correspondientes extremos a la barra vieja existente.



Fig 115. Detalle de la distancia de solape 40 cm entre la armadura existente y nueva



Fig 116. Atado con alambre de acero inoxidable para garantizar la separación entre la armadura existente (lijada y protegida) y la nueva

SOLDADO DE ARMADURAS

La soldadura deberá respetar los aspectos mencionados en el [punto F](#) del apartado 5.1.1.

Se deberá de asegurar que los tramos de armadura de acero al carbono estén libre de corrosión para acto seguido limpiar todos los restos de hormigón existentes, permitiendo realizar un solape de aproximadamente 10 cm para acto seguido generar un cordón de soldadura recto con el electrodo adecuado. Acto seguido se deberá de limpiar el cordón de escorias, utilizando medios manuales o mecánicos como un disco de lija.



Fig 117. Realización de cordón de soldadura



Fig 118. Proceso de lijado de la soldadura



Fig 119. Resultado de cordón de soldadura entre barra nueva y existente, después de la limpieza con piqueta, amoladora y cepillo

COLOCACIÓN DE ESTRIBOS

Los tramos de estribos cortados se sustituirán por cercos en forma de U que se anclarán al hormigón en el entorno de 2 cm de los existentes.

El anclaje debe realizarse mediante la ejecución de un taladro que una vez limpio de polvo, se rellenará de resina y se introducirán los nuevos cercos de corrugado inoxidable.

El diámetro de los taladros será tal que la resina pueda circundar al nuevo cerco con una capa de resina de entre 2 o 3 mm.



Fig 120. Realización de taladros para la posterior colocación de estribos



Fig 121. Detalle de soplado de los orificios generados para los estribos



Fig 122. Proceso de inyección de resina epoxi



Fig 123. Colocación de estriado para la reconstrucción del armado sustituido



Fig 124. Punteado por soldadura de elementos de estriado de corrugado inoxidable a barras principales

C. Pasos posteriores

COLOCACIÓN DE MORTERO

Como último paso del proceso de reparación, se recompondrá la geometría del elemento estructural donde se encuentran las nuevas barras con mortero de reparación.

Para ello en primer lugar se limpiará la superficie del hormigón viejo con abundante agua de manera que no quede resto alguno de polvo.

Acto seguido se aplicará sobre la superficie del hormigón viejo que haya sido picado un puente de unión. Este puente de unión también se aplicará a las barras y estribos de corrugado inoxidable nuevos.

Pasado el tiempo recomendado por el fabricante se aplicará el mortero de reparación haciendo hincapié que se debe presionar el mortero con el fin de que no queden huecos y en consecuencia quede bien macizado.



Fig 125. Limpieza de restos de polvo de hormigón

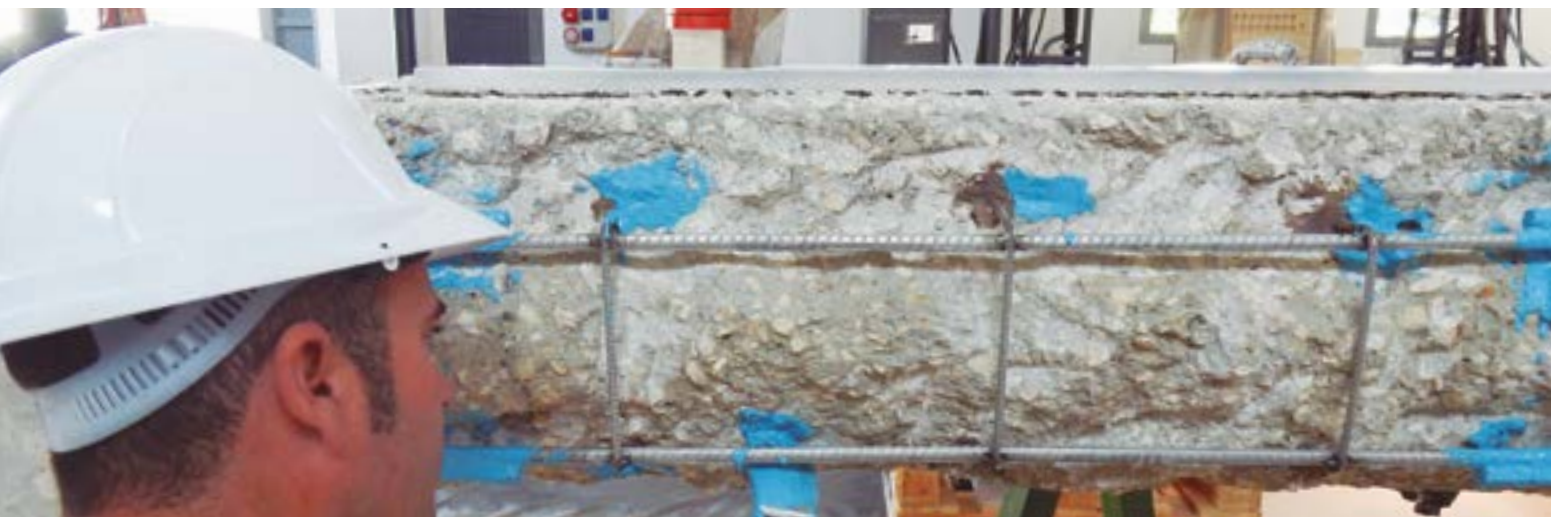


Fig 126. Protección adicional de zonas de soldaduras entre acero al carbono y acero inoxidable



Fig 127. Proceso de colocación de puente de unión entre hormigón existente y mortero de reparación



Fig 128. Proceso de reconstrucción de volúmenes con mortero de reparación

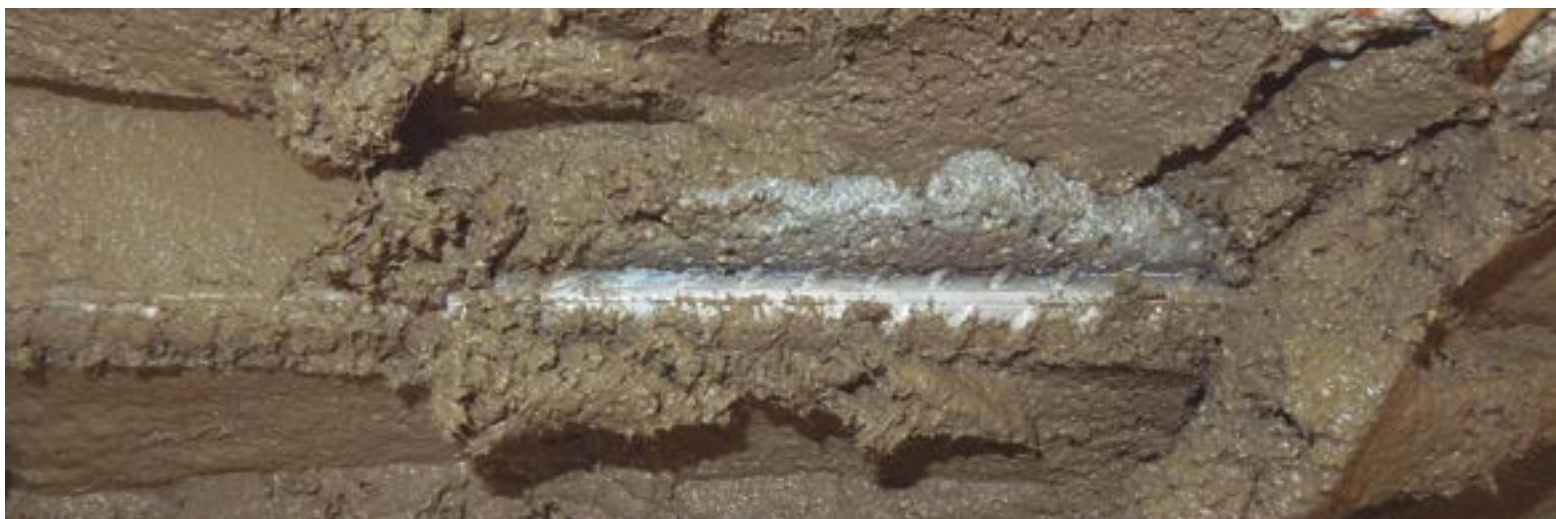


Fig 129. Detalle de reconstrucción de volúmenes con mortero de reparación

6. FASE DOCUMENTAL

En este apartado se tratan los aspectos a tener presentes en la consideración de las estrategias a utilizar en la gestión de la documentación que se ha ido planteando en los capítulos anteriores, de manera que cuando surjan situaciones sobrevenidas se tenga capacidad de reacción para defender correctamente lo proyectado minimizando las variaciones que puedan provocar.

6.1. ASPECTOS SOBRE EL PRESUPUESTO

En los proyectos de obra nueva la obra que se realiza no tiene ningún condicionante ineludible respecto al lugar de actuación a excepción del terreno, es lo único que hemos de tener en cuenta como preexistencia. Esa peculiaridad nos ofrece una libertad de acción muy fuerte, dado que, al margen de los compromisos contractuales en cuanto a calidad y precio, nos ofrece la posibilidad de ir cambiando lo proyectado en función de nuestros intereses, de ir evitando complicaciones de obra que puedan ir surgiendo. Nada obliga a tener que enfrentarse ante una preexistencia que nos exija tenerla en consideración.^[3]

Si decido ir de viaje podré ir cambiando de destino sin ningún condicionante externo, en cambio, si decido visitar a mi hermano voy obligado a un lugar específico porque él vive en un sitio concreto que no está en mi mano cambiar.

En los proyectos de reparación esta característica de encontrarnos con una situación preexistente a la cual debemos atender y resolver supone una fuerte reducción de nuestra "libertad", de nuestra capacidad de maniobra de cara a poder solventar situaciones no del todo previstas.

Las preexistencias mandan mucho, por lo que exigen mucho más esfuerzo en la definición y concreción de los proyectos, ya que cuanto más imprevistos aparezcan durante la obra, más cara acabará siendo, con todas las consecuencias que eso supone.

Por mucho que un proyecto de reparación se estudie, las situaciones imprevistas son inevitables y si bien no se puede responsabilizar al prescriptor de ellos, sí que socialmente hay una clara tendencia a ello. Como consecuencia el prescriptor deberá prever situaciones que pudieran tener lugar en mucha mayor medida que en un proyecto de obra nueva.

Esto le supone al prescriptor de obras de reparación darle una importancia muy relevante a la toma de datos, imprescindible en estos casos, ya que es el reductor más importante de desviaciones presupuestarias.

Pero aun así el prescriptor a la hora de acometer este tipo de trabajos ha de contar con la CERTIDUMBRE de la INCERTIDUMBRE, esta certeza, este axioma debe de guiarlo a lo largo de toda su trayectoria como prescriptor. Esto le permitirá prever situaciones que bien planteadas podrá absorber muchos de los imprevistos que puedan ir apareciendo. Esto le lleva a plantearse lo que aquí llamamos estrategias presupuestarias.

No se trata de planteamientos todos ellos novedosos, ni mucho menos, la mayoría son estrategias sabidas pero muy poco valoradas o menospreciadas, cuando bien usadas tienen un fuerte potencial.

El por qué no se tienen normalmente en consideración, es que todas ellas suponen un sobre esfuerzo, sobre todo que no siempre se ve recompensado porque no aparece la situación para lo que se realizó.

En definitiva, los proyectos de reparación, como norma, suponen un sobre esfuerzo en cuanto a su redacción, y la característica económica que les singulariza es que hay mayor riesgo de desviación económica. En la medida de cómo se haya redactado el proyecto y cómo se haya planteado las previsiones económicas, esta desviación se verá reducida, e incluso desaparecerá.

6.1.1. Los precios

Se hace mención a los tipos de precios que más influyen en los presupuestos de reparación. Se describen y presentan sus características más destacadas.

A. Precios descompuestos

En línea con lo comentado anteriormente y manteniendo la actitud que exige este tipo de trabajos de disponer de la máxima información, máxima capacidad de movimiento y maniobrabilidad, la disposición de precios descompuestos resulta de gran importancia. El tener desglosado lo que valen las cosas nos fija una situación de partida a lo largo de la obra que favorece que a medida que van surgiendo los imprevistos, los valores no puedan ser modificados en función del interés de una de las partes.

Ante la indefinición la parte beneficiada en la mayoría de los casos es el constructor, no se trata de ir en contra de nadie sino de no dejarnos manipular.

El precio descompuesto fija el coste de todos y cada uno de los componentes de la partida que se valoran, y lo fija en toda la obra y durante toda ella, de esta forma ante la previsible aparición de situaciones nuevas que exigen un precio contradictorio estaremos prevenidos evitando cualquier interpretación en contra de nuestros intereses.

Hemos de tener en cuenta que la utilización de los precios descompuestos e incluso los unitarios es lo normal en ciertos sectores, como en las obras contratadas con la administración sin embargo en el sector privado no se suele contar con ellos.

Tener fijado en los precios descompuestos el valor del acero inoxidable, el material de mayor peso en una obra de reparación donde se vaya a utilizar, puede ahorrarnos muchas discusiones antes de la aparición de imprevistos ya sea debido a fluctuaciones de mercado, como a “fluctuaciones” del constructor ante precios nuevos.

B. Precios contradictorios

Como se viene comentando, la propia esencia de este tipo de trabajos conlleva la aparición de estos precios (bien es cierto que la calidad del proyecto del prescriptor también es vital).

Si a la hora de la aparición del precio contradictorio resulta que tenemos fijados la mayoría de sus componentes, eso que nos ahorramos en discusiones, ya que cuantos menos precios tengamos en danza en la discusión de un contradictorio, más se reduce la variabilidad del precio porque los elementos en juego son limitados.

6.1.2. Estrategias presupuestarias

El problema que supone un precio contradictorio para el promotor de una obra y para el prescriptor de ella, es que la aprobación de este tipo de precios requiere acuerdo del constructor para su aprobación. Este precio ha de ser firmado por el promotor, el prescriptor y el constructor, lo que supone tener que llegar a un acuerdo ya que no se puede contratar a alguien diferente que nos haga esa partida a mejor precio.

Sin embargo, si ese mismo precio estuviera en proyecto y se estuviera en fase de contratación y por adjudicar, evidentemente el tratamiento de ese precio sería mucho mejor y sobre todo si la partida que lo incluyera no tuviera muchas ud o m² o lo que fuera.

Desde esta situación unas posibles estrategias presupuestarias serían:

A. Estrategia presupuestaria N°1

Frente a un material o partida que no tengo previsto realizar de inicio, pero es probable que a lo largo de la obra aparezca, incluyo en el estado de mediciones una partida con una cantidad reducida de unidades para que el constructor lo presupueste. Ahora bien, si incluyo esa partida en el presupuesto sin aplicación en la obra a realizar, dejo claro cuáles son mis intenciones y puede que ante esta situación el constructor presupueste a su favor, precio alto que al no tener medición no influirá negativamente en que se quede la obra.

En caso de no querer dejar tan claras cuáles son mis intenciones, debo establecer en la obra un lugar donde hipotéticamente se realizará esa partida, aunque llegado el momento diría que no se hiciera.

Teniendo el tema fijado de esta manera, cuando apareciese la necesidad de aplicar ese material o partida, el precio no tendría la posibilidad de desviación de modo que ninguno se beneficiaría de esta situación.

B. Estrategia presupuestaria N°2

La corrosión de una barra de acero en un elemento estructural puede estar afectada según dos variables a saber: intensidad y extensión

De cara a este manual los distintos grados de afección que pudiera tener el elemento de origen no es necesario tenerlos en cuenta dado que en cuanto se observe una mínima afección del hormigón la política a seguir es cambiar la barra por una de acero inoxidable. Ahora bien, en cuanto a la extensión no es lo mismo que la barra esté oxidada en un tramo relativamente corto que en toda su longitud. Por ejemplo, en las barras de un pilar no es lo mismo que su longitud de afección suponga el 20% a el caso en que suponga el 80%

Para facilitar las labores de medición y abono es preferible plantear unas situaciones tipo en función de sus distintas longitudes de manera que abarquen toda la gama de posibilidades y cualquier caso en obra se vea obligado a ser incluido en uno de los 3 o 4 tipos que se hayan previsto. Así evitaremos discusiones y trabajo extra en obra buscando una precisión que económicamente no tiene relevancia frente al establecimiento de tipos y su simplificación.

6.2. ASPECTOS SOBRE LA EJECUCIÓN

Precisamente la utilización de acero inoxidable corrugado reduce drásticamente los pasos conflictivos del proceso de reparación en comparación con la utilización de acero al carbono.

Los puntos de atención relacionados con el acero, al utilizar inoxidable, quedan reducidos a confirmar que el material es el adecuado y previsto en proyecto, y en cuanto a la ejecución propiamente dicha a lo relativo a la soldadura entre el acero existente y el inoxidable que se coloca.



Fig 130. Colocación de armadura inoxidable en frente de forjado

6.2.1. Materiales específicos

Se hace mención a los materiales específicos en las obras de reparación, dado que son poco conocidos y conviene que queden perfectamente definidos para evitar cualquier tipo de equívocos

A. Acero inoxidable

Comentado con detalle lo relativo al acero inoxidable en el apartado [5.1.1](#) y entendiendo que se recogió en proyecto con la definición que allí se planteaba, en este momento solo queda confirmar que se trata del material indicado.

B. Material de soldadura

Considerando la utilización de barras corrugadas de acero inoxidable, los electrodos a utilizar durante el proceso de soldadura deben ser específicos. En este caso, se utilizarán los electrodos denominados “electrodos acero inoxidable” que varían según el tipo de acero inoxidable utilizado (Dúplex 1.4362/ 1.4462 / 316L/ 304L/ etc.)

C. Mortero de reparación

Cuando hablamos de mortero de reparación se hace referencia a morteros utilizados para reparar elementos estructurales, en nuestro caso, elementos de hormigón armado.

El mortero de reparación empleado en esos casos debe cumplir con una serie de características específicas que pueden variar según casos singulares.

En la mayoría de las situaciones, el mortero de reparación empleado se define como tixotrópico y fibroreforzado, lo que significa que este se compone de fibras, cargas finas y resinas especiales, generando un mortero fluido fibroreforzado que tarda un tiempo finito y corto en alcanzar la viscosidad necesaria para su puesta en obra.

Las características relevantes a tener en cuenta son su resistencia a compresión tras fraguado, su refracción y su capacidad de adherencia sobre el elemento a reparar.

D. Puente de unión

El puente de unión se debe utilizar cuando se deba unir hormigón original de la construcción o acero de las armaduras con mortero nuevo de reparación. Esta capa poseerá una excelente adherencia sobre el acero y hormigón antiguo.

E. Resina de anclaje

Las resinas a utilizar para generar anclajes químicos suelen ser un material bicomponente de altas prestaciones y fraguado rápido para conexiones de estribos en elementos estructurales de hormigón.

Dicho material debe poseer una buena adherencia con hormigones y acero, ser resistente a la corrosión y endurecer de manera rápida y sin retracción.

6.2.2. Especificaciones de ejecución

En este apartado se describen los distintos pasos del proceso de reparación haciendo hincapié en aquellos puntos que deben ser tomados en consideración. A título de recordatorio se mencionarán todos aquellos más significativos que pueda llegar a ser posible encontrar en cada uno de los pasos del proceso.

A. Picado de hormigón

De cara a las especificaciones referentes al picado de elementos estructurales de hormigón armado, se debe, en primer lugar, considerar, y en su caso detallar, las medidas de seguridad a tomar según el elemento a intervenir. Las cargas que afectan al elemento objeto de reparación deben ser conocidas, para considerarlas o no, según criterio del prescriptor.

De forma evidente, las exigencias de seguridad varían según si reparamos pilares, vigas, frentes de forjado, o losas de escalera.

Se procede ahora a establecer las pautas a seguir para el picado del hormigón. De forma esquemática se listan los pasos propios a especificar para esta unidad de obra:

- Picado mediante medios mecánicos hasta alcanzar armadura existente.
- Descubrir armadura hasta liberar su contorno de al menos 2 cm permitiendo la correcta manipulación.
- Especificar el grado de afección de la armadura original como criterio para la sustitución.
- Retirada de residuos, partículas y polvo en la zona picada mediante cepillado y humectación.

B. Colocación de barras de acero inoxidable

Teniendo el elemento de hormigón descarnado, y retiradas las armaduras en mal estado, se procede a colocar las barras corrugadas de acero.

En esta unidad de obra es necesario especificar el tipo de colocación a realizar, pudiendo ser mediante solape con la armadura actual o anclaje químico en la masa del hormigón.

En ambos casos, aparecen singularidades, las cuales habrá que especificar.

En el caso del solape, las especificaciones van entorno a:

- Longitud de solape.
- Tipo de solape: soldadura o atado con alambre inox.
- En el caso de soldadura: tipo de electrodo a utilizar.
- Limpieza y protección de armadura original.

En el caso del anclaje químico, las especificaciones van entorno a:

- Diámetro y longitud del taladro a efectuar.
- Limpieza de orificio mediante soplado.
- Longitud de anclaje (se recomienda un mínimo de 10 cm en la masa del hormigón).
- Tipo de resina e inyección de la misma hasta desborde.

C. Colocación de estribos de anclaje de acero inoxidable

Teniendo la armadura longitudinal colocada, se procede a especificar los pasos a seguir para la colocación de estribos mediante anclaje químico.

Las especificaciones son similares a las descritas anteriormente, tenemos:

- Diámetro y longitud del taladro a efectuar.
- Limpieza de orificio mediante soplado.
- Longitud de anclaje (se recomienda un mínimo de 10 cm en la masa del hormigón).
- Tipo de resina e inyección de la misma hasta que rebose.

D. Unión por soldadura

En el caso que se opte por la unión soldada entre armado existente sano y la barra nueva de acero corrugado inoxidable se ha de tener en

consideración que en el conjunto de todas las acciones que conlleva la reparación de un elemento, la de soldadura para dar continuidad al armado es muy puntual y relativamente rápida, por lo que lo normal es que se acabe ejecutando por el mismo operario y no por un especialista soldador.

No es objeto de esta publicación el mostrar todos los diferentes tipos, técnicas, electrodos, etc, que se utilizan en la soldadura con acero inoxidable pero sí informar sobre qué es lo que se puede exigir en obra desde la dirección facultativa.

La soldadura con acero inoxidable no es especialmente complicada pero es diferente a la habitual con acero al carbono. En el caso concreto de soldar una barra de acero al carbono con otra de acero inoxidable es importante recibir una formación específica que otorga al operario una homologación oficial para hacer este tipo de trabajos con una garantía significativa.

En caso de precisar mayor información sobre soldadura de barras corrugadas de acero al carbono y acero inoxidable se puede consultar la web www.cedinnox.es donde se aporta documentación actualizada sobre los procesos y normas a seguir.

E. Punteo de unión

El punteo de unión permite garantizar la correcta adherencia entre el hormigón existente, las armaduras y el mortero de reparación, por ello es importante especificar en qué condiciones se debe utilizar dicho material.

La característica fundamental a especificar es el estado de limpieza en el que se tiene que encontrar el sustrato. Este deberá estar limpio, libre de grasas y polvo para garantizar la adhesión del producto.

F. Mortero de reparación

Además de especificar las características específicas que debe tener el material, es importante definir cómo aplicarlo. Las especificaciones relativas a la ejecución se centran generalmente en 3 conceptos:

- Realización de mezcla según medidas de fabricante.
- Tiempo de fraguado.
- Aplicación de varias manos de mortero permitiendo la máxima compactación y resistencia.



Fig 131. Aplicación de puente de unión en proceso de reparación tradicional

6.3. OTROS ASPECTOS

En este apartado se recogen los dos últimos aspectos del proceso a documentar, los relativos al control y a la documentación.

Se proponen de manera sucinta aquellos puntos más significativos que deberán complementarse con aquellos otros que el prescriptor considere necesarios según su criterio.



Fig 132. Inspección de obra y control de proceso de reparación

6.3.1. Sobre el control

Resulta imprescindible plantear la necesidad e importancia del control durante la fase de ejecución, y a costa de ser reiterativo hemos de decir que sin el control adecuado puede acabar siendo un fracaso la solución implementada. Bien es cierto que en este caso que estamos proponiendo los controles son reducidos dado que los pasos que se han de realizar, relacionados con el acero, son numerosos tanto en cuanto al material como a su puesta en obra.

A. Materiales

Anteriormente hemos comentado algunos conceptos específicos de los materiales comúnmente usados para la partida de ejecución relativa a la reparación de elementos de hormigón armado.

Las consideraciones descritas son las que deberían aparecer en documentos tales como el pliego de condiciones técnicas y Medición y presupuesto.

Además de especificar las características de los materiales en proyecto, queda otro tipo de especificaciones relativas a los aspectos que se controlarán durante la obra. Es importante mencionar y dejar por escrito aquellos aspectos esenciales que deberá cumplir el constructor, siendo estos puntos clave del control.

Los conceptos de control para los materiales se estructuran en dos niveles. El primero, relacionado con las características propias del material, y el segundo directamente relacionado con el acopio y estado de los materiales recepcionados en obra.

En el primer nivel, el prescriptor deberá indicar con claridad los criterios de rechazo y aceptación de cara al estado de los materiales y su forma de acopio para asegurarse la no contaminación, manipulación o alteración del material.

En el segundo nivel, más vinculado con las propiedades de los materiales, deberá de dejar claro la inflexibilidad ante un cambio durante la obra, sin previo aviso por parte del constructor y sin aceptación por parte de la Dirección Facultativa, del material y en consecuencia de lo establecido en proyecto.

B. Ejecución

Del mismo modo que lo mencionado en el apartado anterior, los puntos de control que se realicen durante la fase de ejecución deberán mencionarse en los documentos de pliego y medición y presupuesto.

Por regla general y como consejo a seguir, se debería indicar bajo la descripción del proceso de ejecución, las situaciones intolerables durante la ejecución de la partida, muchas veces inducidas por la definición pormenorizada de las especificaciones de ejecución.

Pese a ello, el criterio de rechazo de la ejecución de los trabajos deberá incluir todo aquello que podrá contravenir las indicaciones planteadas en el proyecto.

Dichos criterios podrán ser los siguientes:

- Aplicación de materiales distintos a lo especificado.
- Falta de limpieza.
- Ejecución de cada uno de los pasos sin la supervisión previa de la Dirección facultativa.
- Cordón de soldadura.
- Profundidad de anclaje de las armaduras,
- etc.

6.3.2. Sobre la documentación

En este apartado el prescriptor no debe esperar encontrar una serie de documentos que mediante el sistema de "corta pega" pueda montar lo esencial de su proyecto.

En primer lugar porque en reparación la diversidad de situaciones, consecuencia de la inmensa variedad de edificios del parque inmobiliario es tan enorme que, si bien el origen de los daños puede ser común para un gran número de casos, los efectos y desarrollo de los daños es tan variado que resulta prácticamente inviable plantearse desarrollar un proyecto tipo que pueda ser aplicable con cierta variedad.

Si se acometiera semejante intento nos encontraríamos con un documento tan extraordinariamente exiguo que resultaría ridículo plantearlo.

Por otro lado dada la cantidad de variables que se encuentran en este tipo de proyectos, resulta prácticamente imposible que dos técnicos diferentes tomen las mismas decisiones. Además, caso de poderse hacer, el prescriptor se vería en la tesitura que tendría que aceptar un gran número de documentación que distaría mucho de coincidir con los criterios que él planteara para una situación como esta.

El prescriptor se encontrará con la dificultad de tener que modificar la mayoría de ellos para poder ajustarlo a su gusto, personalizarlos en definitiva.

Es por ello que este manual se plantea de una manera totalmente diferente. Se plantea a modo de apoyo al prescriptor, llamándole la atención en aquellos puntos clave que entendemos debe tomar en consideración, presentándole los datos y modos de hacer necesarios para que él pueda utilizarlos según sus criterios técnicos y sus gustos formales.

Se trata de ponerle sobre el papel todo aquello que entendemos debe ser objeto de consideración para que él decida lo que vea más oportuno en cada caso.

A. Los planos

Con el enfoque que se acaba de exponer proponemos considerar las siguientes indicaciones sobre el documento PLANOS.

En los proyectos de reparación, la norma general es actuar en ciertas partes de un edificio y no en su globalidad. Naturalmente que se puede actuar en todo un edificio, pero en esos casos no estamos de reparación sino de una intervención integral, situación que no es objeto de este manual.

Al actuar en parte del edificio y no en su totalidad resulta de gran utilidad, y nos puede evitar situaciones difíciles, el establecer con precisión, de manera gráfica, en los planos, cuál es el ámbito de actuación que abarca el proyecto. En un juego de plano de arquitectura del edificio, plantas, alzados y secciones, si fuera necesario, se marca la zona prevista de actuación.

Convenientemente apoyados los planos con la definición del ámbito en el documento de memoria, nos ahorraremos muchas discusiones sobre si era zona "incluida o no" en el encargo.

Son planos de gran sencillez gráfica y se pueden considerar un pequeño seguro ante interpretaciones desfavorables a nuestros intereses.

Otro aspecto importante para beneficio de todos y sobre todo para prescriptor y constructor es que este último tenga la máxima información posible sobre el estado del edificio.

Una buena costumbre que nos permite precisar sobre los daños que tiene un edificio es la realización de catas y toma de muestras.

PLANOS DE ESTADO ACTUAL

Se debe realizar un amplio reportaje fotográfico de lo que aparece en las catas y en la toma de muestras.

Las catas no están todas en lugares accesibles en las que el constructor que va a presupuestar las obras pueda acercarse a ver lo que hay, y es por ello que resulta vital sacar abundantes fotografías con el fin de poder seleccionar las más claras e incluirlas en una familia de planos que puede llamarse "catas", familia constituida por planos de arquitectura donde se ubiquen las catas realizadas por planos con la documentación gráfica de dichas catas.

Con las lesiones puede hacerse otro tanto, marcar las lesiones en los planos de arquitectura y adjuntar fotos de dichas lesiones.

Estas dos familias de planos permiten, en primer lugar, que el cliente se dé verdaderamente cuenta del estado en que tiene su edificio, cosa que normalmente no sabe, y en segundo, al constructor valorar en su justa medida cómo son lo que llamamos grietas y fisuras.

Las líneas que dibujamos en plantas y alzados representan lesiones, pero difícilmente se puede un tercero hacer una idea de cómo están, por muy buena descripción que hagamos de ellas. Por ello es preferible unas buenas imágenes, que nos ahorran trabajo y nos aportan mucha más precisión.

Como colofón a los planos de estado actual, puede hacerse algún detalle constructivo de cómo están constituidas las zonas que van a ser afectadas por nuestra actuación, alguna sección tipo representativa

PLANOS DE REPARACIÓN

En cuanto a los planos propiamente de reparación se pueden plantear las siguientes consideraciones.

En los proyectos de reparación, resulta prácticamente imposible determinar con exactitud las zonas que requieren ser intervenidas de las que no. A menos que durante el proceso de redacción del proyecto se realicen tal número de catas que no sea posible el no haber detectado las lesiones.

Por lo que, en circunstancias normales, nuestro grado de certeza sobre la localización exacta de las zonas de intervención es más que dudosa.

Debido a esto no parece lógico graficar en los planos las zonas a intervenir de manera precisa ¡esto podría dar pie a discusiones en obra!

En estas situaciones lo preferible es establecerlas en grado de porcentaje de la cantidad que estimamos se va a realizar en el estado de mediciones.

En cuanto a las soluciones constructivas, la ejecución de las obras de reparación busca dejar las cosas en su estado original, por lo que los detalles constructivos no resultan ser vitales, a menos que dejarlas como estaban suponga resolver con soluciones distintas para conseguir el mismo efecto.

En el caso que nos ocupa de problemas de corrosión, las intervenciones responden a lo primero que hemos dicho, con lo que los volúmenes a conseguir son los mismos que los existentes; la diferencia radica en que las barras son de acero inoxidable en lugar de acero al carbono y que hay que colocar un puente de unión y reparar con mortero de reparación, por lo que con una sección tipo donde se indiquen los nuevos materiales que se utilizan es suficiente.

En cuanto a los puntos singulares generalmente aparecen muchos de ellos por las modificaciones que introducen los propietarios, como por ejemplo, cierres de terrazas, etc.

Por último debemos entregar al cliente a final de obra los planos que reflejen cómo han quedado las soluciones realmente construidas, documentación que junto con fotos tomadas durante la obra sirven para montar el documento llamado estado final de obra.

En casos de mantenimiento son muy útiles cuando se necesita saber cómo han quedado hechas las obras.

B. La memoria

En este documento del proyecto, tal vez lo único que valga la pena indicar es que se va a usar el acero inoxidable en la reparación, dejando clara constancia del que se piensa usar, sin entrar en detalle y características dado que eso no es propio de la memoria.

C. El pliego de condiciones

Lo específico del pliego en este caso es la utilización del acero que viene especificado en este mismo capítulo en el apartado “aspectos de la ejecución”.

Capítulo 3 **RIESGOS en la EJECUCIÓN**

En el capítulo 1 analizamos la incidencia económica del uso de la barra de acero corrugado inoxidable en lugar de las barras de acero al carbono, y no solo se considera la diferencia del precio entre ambas barras, sino que de ser así, al usar acero inoxidable, también se tuvo en cuenta la mejora de prestaciones y el incremento de la vida útil, lo que hace que el cambio valga la pena.

El otro aspecto a considerar, en el que este texto incide de manera significativa es la ejecución de la reparación de las armaduras de acero al carbono, lo que llamamos sistema tradicional, haciendo hincapié en los puntos de riesgo que este sistema conlleva. Analizando paralelamente el mismo proceso resuelto con acero inoxidable y comprobar los riesgos que estos sistemas plantean.

Lo importante como prescriptor para garantizar los resultados proyectados, es poder controlar el proceso en todo su recorrido, desde la prescripción hasta la obra.

Esto supone que el proceso de reparación haga posible la inspección del técnico competente en cada uno de los pasos del proceso en los que quepa la opción de equivocación.

El sistema ideal de reparación, evidentemente no es aquel que le facilite plenamente al técnico todos aquellos pasos con riesgos de error, sino aquel en el que los pasos con riesgos sean inexistentes, de esa forma no habrá pasos que inspeccionar debido a la reparación y por tanto, mayor garantía

El apartado se estructura en 2 apartados: Recepción de materiales y Puesta en obra.



7. RECEPCIÓN DE MATERIALES

En cuanto a los materiales en la fase de proyecto es en la que se debe definir qué materiales se han de colocar con plena precisión de sus características y peculiaridades.

En la fase de obra la recepción de materiales es muy importante, dado que es en este acto donde se coteja que los materiales que se reciben son los que vienen definidos en proyecto. También es cuando se les da entrada a la obra, comprobando que no han sido alterados consecuencia del transporte.

Una vez admitidos han de acopiarse de manera adecuada para que no sufran alteraciones en sus características y calidad hasta el momento que sean incorporados en la obra.

Este apartado se centra en el acero corrugado inoxidable, dado que es novedoso y objeto de este documento.

Este apartado se divide en dos puntos: Documentación e Inspección.

7.1. DOCUMENTACIÓN

Para garantizar la correcta colocación de los materiales prescritos en proyectos, el primer paso a verificar es la correspondencia entre los mismos y los recibidos en obra.

En este apartado trataremos de ayudar en las labores de documentación relacionadas con la recepción en obra de los materiales relativos a la reparación de hormigón afectado por corrosión.

Nos centraremos en el material de acero inoxidable, siendo a día de hoy de escasa utilización en reparaciones de inmuebles de uso residencial, por lo que existe más desconocimiento de los pasos a seguir y parámetros a verificar para asegurar la correcta adecuación entre lo prescrito en proyecto y recibido en obra.

La forma más sencilla de asegurar esa adecuación es conservar toda la documentación que se entrega en cada paso, de manera que, ante cualquier consulta o incluso discordancia se pueda responder con facilidad a las mismas. Por ello, se comentarán a continuación los diferentes documentos pertinentes a conservar o solicitar.

Las consideraciones y verificaciones que se especifiquen a continuación, pueden llegar a ser extrapolables a los demás materiales envueltos en la partida de reparación. En cualquier caso, la información presente en el documento no sustituye las labores de control requeridas por las correspondientes exigencias normativas que le sean de aplicación.



7.1.1. Fichas técnicas

En este apartado comentaremos aquellas cuestiones de interés sobre las Fichas Técnicas de los materiales desde un punto de vista práctico.

Una vez comenzada la obra, o en su fase de planificación, es recomendable que la Dirección Facultativa solicite un Plan de muestras sobre aquellos procesos constructivos singulares o con mayor o menor riesgo de ejecución.

Las consideraciones sobre el Plan de muestras se verán más adelante. En este momento se debe dar visto bueno a los materiales que el contratista tiene previsto utilizar de acuerdo con las prescripciones técnicas del proyecto. Los posibles tipos de acero inoxidable, extraídos de la tabla 1 del libro "Armaduras de acero Inoxidable" quedan listados a continuación

TIPO de ACERO INOXIDABLE	UNE-EN 10088		AISI	UNS
	Simbólica	Numérica		
Austenítico	X5CrNi18-10	1.4301	304	S 30400
	X2CrNi18-9	1.4307	304 L	S 30403
	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	S 31600
	X3CrNiMo17-13-3	1.4436	316	S 31600
	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316 L	S 31603
Dúplex	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	S 32205
	X2CrNiMoN22-5-3	1.4362	-	S 32304
	X2CrMnNi20-5-2	1.4482	-	S 32001

Tabla 18. Designaciones de los diferentes designaciones de los aceros inoxidables

En estos aparecerá el tipo de acero prescrito y sus diferentes nomenclaturas.

En la ficha técnica del acero utilizado, deberá de aparecer una de sus nomenclaturas, según las normas UNE, AISI o UNSS. Si por ejemplo utilizáramos en nuestro proyecto el acero Dúplex EN 1.4362 / REBARINOX 915 / ACX 915-2304, podemos ver en la Tabla 18 sus diferentes nomenclaturas, y tendríamos una ficha técnica cómo la Fig. 133 donde la nomenclatura queda indicada en la zona de encabezado como se indica en la Fig. 134.

Es importante pues, que la ficha técnica esté en posesión del constructor para que no tenga la mayor duda sobre el material a emplear, por ello, puede llegar a ser necesario y fundamental tener una copia de la ficha en la caseta de obra.



Fig 133. Ficha técnica de acero inoxidable Dúplex 1.4362



Fig 134. Ampliación del encabezado donde se localiza el tipo de acero EN 1.4362

7.1.2. Etiquetado

Teniendo claro el tipo de acero inoxidable que se debe emplear en la obra, aparece otro paso de verificación, consistente en saber si el material que se recibe es el acero adecuado y no otro.

Para ello, una de las verificaciones consiste en observar el etiquetado del material recibido. Según la recepción, el material llegará desde el taller del constructor o directamente a obra. El papel del etiquetado será semejante al mostrado en la Fig. 135.

Si ampliamos la imagen podremos ver la información presente en la etiqueta y de ese modo verificar la correlación entre el acero recibido en obra y el acero prescrito.

En la Fig. 136 se aprecia la información que incluye el etiquetado, a saber:

- El diámetro de la barra de corrugado
- El código del producto
- El tipo de acero
- La longitud de la barra
- El peso servido
- El número de la colada de acero
- La norma de fabricación



Fig 135. Etiquetado de material

Destinatario		Remitente	
[Redacted]		 ROLDAN S.A. S/O. Torre de las Gilas, S/N PONFERRADA ESPAÑA	
Caja		Peso Bruto	246 kgrs
JS00708		Peso Neto	246 kgrs
		Coleta	P9ZX
N.º pedido E-MAIL: 100718			
Dimensiones		10,00 mm	
N.º OLE	SL01886/03	Tolerancias	Calidad 1
Condiciones especiales		Longitud 12.000 mm	
1.4362.			
EM10088:3			
Definición del producto			
[27] Barra corrugada en frío			
Marcas		Marca	
		86003	
		Puerto de destino:	
MADE IN SPAIN - UE			

Fig 136. Detalle de etiquetado

7.1.3. Albarán

El albarán es un documento que pocas veces coteja la Dirección Facultativa, siendo este una prueba mercantil que permite al distribuidor justificar la entrega del material.

Por lo que, en el mismo, pueden aparecer muchos códigos que no son propios del material sino referentes a plazos y forma de abono por parte del constructor al distribuidor.

Si bien en dicho documento, aparece una leve descripción de lo entregado, donde puede llegar a aparecer la nomenclatura del acero recibido.

En la Fig. 137, podemos ver en la línea de descripción que aparecen las siglas A 304 12 MM. Estas indican el tipo de acero AISI 304 y su diámetro.

Desde una perspectiva pesimista, donde se puede llegar a pensar la existencia de irregularidades entre lo recibido en obra y lo marcado en proyecto, tanto el albarán como el certificado son pruebas de lo recibido en obra, ya que difícilmente el productor o distribuidor tenga interés en no entregar exactamente lo pedido. En el caso del constructor, esta confianza no siempre existe, llegando a generar la necesidad de control exhaustivo de los diferentes documentos y del propio producto.

ROLGAN, S.A. acero inoxidable **ALBARAN N.º** [REDACTED] **BOJA N.º:** 1/1 **FECHA:** 1/24/2018

ENVIO A: [REDACTED] **CONSIGNADO A:** [REDACTED]

FABRICA:
AVDA. 1000 DE LOS HERMANOS, S.A.
 AVDA. DE LOS HERMANOS, S.A.
 PORTAERAS 1, LOMA 1
 TELEFONO: (56) 2 22 42 24
 FAX: (56) 24 42 24
 E-MAIL: ROLGAN@rolgan.com

OFICINA CENTRAL:
DEPARTAMENTO DE OPERACIONES - 100-01
 AVDA. MONTE ALBA
 TELEFONO: (56) 2 22 42 24
 FAX: (56) 24 42 24
 E-MAIL: rolgan@rolgan.com

PUESTO DE ORIGEN: PUNTAERAS
PUESTO DE DESTINO: [REDACTED]

TRANSPORTISTA: [REDACTED]
MATRICULA: [REDACTED] **CONTENEDOR:** [REDACTED]
FRECINTO: [REDACTED]

OBSERVACIONES: (SEGUN MARQUE)

NUMERO DE CAJA O BOLLO	PTO	CXL	TIPO DE ACERO		VOL. DE COLADA	ACR (%)	MON. DE MARCA	PESOS		PESO T/M	DIMENSIONES	LONG.	TOLERANCIA	PUNTO
			ACE					NETO	GROSSO					
J000700	CO	1	303	1.4302	7100	08	00001	83	83	801400	5	10,00		E-MAC: 100710
J000710	E	1	104	1.4401/1.4404	8300	01	04002	20	20	801400	2	4,00	100 50	E-MAC: 100710
J000704	CV	1	303	1.4302	7000	07	00001	344	344	801400	3	10,00		E-MAC: 100710
Múltiplos: 3								Total albarán		364	364			

CONTROL: CLIENTE ROLGAN, S.A. OPERARIO TRANSPORTISTA

01 Descripción de calidad
 02 (1%) Bares corrugada en frío
 03 (2%) Bares corrugada en caliente
 04 (3%) Bares calibres, pulida

Fig 137. Ejemplo de albarán

7.1.4. Certificados

Los certificados entregados son documentos otorgados por Organismos de certificación de productos acreditados.

El certificado que pueda llegar a recibir el comprador del producto contiene mucha información pertinente sobre la proveniencia del producto y las exigencias sometidas al mismo. El contenido técnico es de suma importancia porque se tiene la descripción del producto.

Los certificados deben de contener al menos los siguientes datos:

- Identificación del organismo que ha efectuado la certificación
- Identificación única del certificado
- Identificación del producto
- Dimensiones
- Identificación de la hornada o colada
- Condición del producto
- Ensayos realizados

A continuación, se muestra un ejemplo de dicho certificado.

ROLDAN, S.A. - Aceros Inoxidables					CERTIFICADO DE INSPECCIÓN					 Sistema de Gestión ISO 9001:2018 www.tuv.com 02 00000043											
FÁBRICA Santo Tomás de las Ollas, S/N Avda. de Coresos 11 PUNTAERAS (L80M 3) TELÉFONO: +34 987 44 41 00 FAX: +34 987 44 41 01 E-MAIL: rda_fabrica@acerosinox.com					 OFICINA CENTRAL Santiago de Compostela, 100-3° 28035 MADRID (ESPAÑA) TELÉFONO: +34 913 98 52 57 FAX: +34 913 98 51 53 E-MAIL: roldan@acerosinox.com					3.1 EN 10204											
CERTIFICADO N° 2818/024646					FECHA 3/08/2018					HOJA 1					N° ALBARÁN						
MATERIAL ACX-915					EN10088:3 (1.4362.)					CLIENTE											
DIMENSIONES 10.00 mm.					LONGITUD 11.000 mm.					TOLERANCIA											
PRODUCTO [27] Barra corrugada en frío					REQUERIMIENTOS EN10088:3					PEDIDO DEL CLIENTE											
ENSAYOS DE TRACCIÓN EN ISO 6892-1					CORRESPONDIENTE					EDICION											
CORROSIÓN INTERGRANULAR EN ISO 1651-2 method A: SATISFACTORY					INSPECCIÓN DIMENSIONAL Y VISUAL WITHOUT OBJECTIONS					Spektrometrical Identity Test: O.K.											
ENSAYO DE RESILIENCIA, FORMA DE PROBETA					MATERIAL FREE FROM RADIOACTIVITY																
N° CONTRATO		TRABAJO N°		MARCA / CAJA		NUMERO COLADA		PROBETA		PRESO		SISTEMA DE FABRICACION					SELLO DEL RECEPCIONADOR				
E01886 3		P104263 1 1		86003 / 2800708		P92X		P92X		246		EAF + AOD +CC					R3				
												CONTRASEÑA DEL SUMINISTRADOR					POR CONTROL DE CALIDAD				
												RDN									
												CONTRASEÑA									
												HEAT NUMBER									
												GRADE (ACX-915)									
																	QUALITY CONTROL REPRESENTATIVE				
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS																					
COLADA	PROBETA	DIMENSIONES DE LA PROBETA		Observ. T°	Rm MPa	Rp 0,2% MPa	Rp 1% MPa	z %	A %		Agt %	RESILIENCIA ISO-V (J)			ENERGIA EN	TEST DE PUNTA	TEST DE DOBLADO	SECCION mm ²	Rz / a		
P92X					561	423	559		25		5	20°C	20°C	20°C	280			76,923	0,400		
CONDICIONES IMPUESTAS		EN ISO 377																			
COMPOSICIÓN QUÍMICA %																					
COLADA	C	P	S	SI	Mn	Cr	NI	Mo	TI	Cu											
P92X	0,0230	0,0240	0,0010	0,5980	1,4070	22,8150	4,2700	0,1930	0,0370	0,1400											
CONDICIONES IMPUESTAS	0,0300	0,0330	0,0150	1,0000	2,0000	24,5000	5,5000	0,4000	0,1000	0,4000											
OBSERVACIONES																					
OTROS ENSAYOS										CONDICIONES IMPUESTAS											
TRATAMIENTO TÉRMICO																					

Fig 138. Ejemplo de certificado para un acero inoxidable tipo 1.4301

7.1.5. Trazabilidad

La trazabilidad de un material es un concepto que puede envolver muchos matices del recorrido completo del material, desde su producción hasta el lugar preciso de colocación.

De cara a simplificar este apartado, la perspectiva que nos interesa es la correspondencia del material con el momento de su fabricación, concepto generalmente envuelto en la palabra “colada”.

El código que aparece en el concepto de colada nos permite poder consultar y reconstruir el instante y tipo de mezcla realizada para producir el material.

Es importante conservar la etiqueta o certificado, únicos documentos que indican el código de colada. Estos constituyen el registro principal cuando se requiere tramitar alguna solicitud o reclamo de manera más específica. Del mismo modo, que cualquier error de fabricación podrá llegar a ser informado mediante la especificación de la colada afectada por dicho error.



Fig 139. Armadura de acero inoxidable acopiadas en obra

7.2. INSPECCIÓN

Una vez transportados los materiales en obra, es importante verificar otros conceptos relativos a la buena manipulación de los mismos. Para ello, vamos a valorar y comentar una serie de nociones que nos permitan verificar las condiciones de uso del acero inoxidable



Fig 140. Control de diámetro de armadura requerida en proyecto

7.2.1. Inspección in situ

Cuando nos enfrentamos a una obra de reparación donde se haya prescrito acero inoxidable, el volumen y peso puede llegar a ser importante.

Comúnmente, este material no suele estar almacenado por el constructor, sino que este último realiza un pedido para ser suministrado. Esto implica que el material se presenta en su empaquetado original, donde se pueda verificar su etiqueta.

La etiqueta ofrece la posibilidad de comprobar ciertos datos relativos al material, como por ejemplo las fechas de producción del acero inoxidable recibido en obra. Pese a la irrelevancia de las fechas en términos de caducidad para el acero inoxidable, se podrá llegar a cotejar el tiempo transcurrido desde la fabricación del producto y su llegada a obra mediante su trazabilidad dada por el código de colada.

El código de colada puede llegar a ser muy importante en algunos casos totalmente inusuales donde se detecte la presencia de defectos relativos a contaminación, composición o incluso geometría. Esta situación infrecuente nos podrá ser comunicada por el fabricante, el cual nos avise de la existencia de defectos en la colada identificada.

Pese a los datos que nos ofrece la etiqueta, esta se sitúa en el empaquetado del producto recién llegado a obra. Es importante comprobar el correcto empaquetado, siendo este la prueba de la existencia o no de manipulación fraudulenta. En caso de observar irregularidades en el empaquetado se deberá de verificar el contenido del mismo hasta llegar a rechazar el material de la obra.

Finalmente, la zona de acopio es importante ya que es el área donde quedará el material a la espera de ser utilizado.

Para algunos materiales, aparece un riesgo de deterioro durante el tiempo de acopio en obra por la no protección del mismo. Si bien para el acero inoxidable no es preciso efectuar grandes controles para el correcto acopio, sin embargo, se puede ser prudente y solicitar cubrir las barras con plásticos de protección.

7.2.2. Ensayos de composición

Cuando nos encontramos con un elemento de acero inoxidable ya colocado en obra, tenemos la incertidumbre de si el tipo de acero corresponderá o no al solicitado

Mediante una inspección visual resulta prácticamente imposible poder diferenciar entre algunos tipos de acero inoxidable como el AISI 304 y el AISI 316, o como distintas calidades de Dúplex.

Existen métodos aproximados que te indican si corresponden a una u otra familia en función de si es magnético o no, pero la certeza del tipo de acero únicamente la podemos obtener mediante el ensayo correspondiente.

A este respecto se pone a disposición del prescriptor un enlace al centro de Investigación del Acero Inoxidable con los medios adecuados para la determinación concreta del tipo empleado: www.cedinnox.es.



8. PUESTA EN OBRA

El objeto de este apartado es mostrar con máximo detalle los procesos de reparación de las armaduras oxidadas, ya sea por el sistema tradicional como por el sistema con inoxidable de manera que el prescriptor sea plenamente consciente de las peculiaridades de cada uno de ellos.

Ello le permitiría poder detectar los riesgos que cada uno planea con sus dificultades y complejidades de resolución.

Vistos todos, estará en condición de tomar postura ante ellos según sus propios criterios planteando las evaluaciones que considere oportunas. Este apartado se desglosa en 2 subapartados:

- Procesos
- Evaluación de riesgos.

8.1. PROCESOS

Se analiza el proceso de reparación tanto con acero al carbono como con acero inoxidable procurando mostrar con máxima claridad las dificultades técnicas en cada caso. En este apartado se pretende dejar patente la incidencia del factor humano de manera que el prescriptor sea consciente de la problemática que en cada paso se genera.

Somos conscientes que estos procesos tienen una carga de mano de obra muy fuerte. Como ya hemos mencionado, cada uno de estos procesos son de corto recorrido ya que la seguridad estructural nos obliga a evitar abrir simultáneamente varios tajos en un mismo elemento estructural.

A esto hay que añadir la conveniencia de realizar las operaciones del proceso, una detrás de otra sin esperas debido a que los elementos protectores deben ser aplicados de inmediato. Esto hace muy difícil poder estar presente en cada uno de los momentos en que sería bueno inspeccionar lo realizado para dar el visto bueno.

La consecuencia de esta dificultad reside en que los muestreos no pueden ser todo lo frecuentes que sería deseable, por lo que las decisiones sobre las diferentes singularidades que ocasionalmente puedan ir surgiendo, acaban siendo tomadas por quien no suele tener la formación adecuada para ellos. Esto no hace más que aumentar el potencial número de ejecuciones defectuosas.



8.1.1. Paso 1. Picado del hormigón

El picado es la parte del proceso de reparación que permite tener acceso a las armaduras y liberarlas totalmente del hormigón con el fin de repararlas o sustituirlas.

Este proceso está determinado por eliminar el hormigón contaminado en contacto con la armadura y por descarnar la armadura en toda su zona dañada, así como facilitar la ejecución de todos los pasos de la reparación, siendo el primero la limpieza de la armadura.

En la reparación tradicional debemos considerar una serie de riesgos relativos al proceso de picado del hormigón que se analizan uno por uno a continuación.



Fig 141. Picado insuficiente detrás de la barra

- **Picado insuficiente que dificulte los procesos posteriores**

Este riesgo se produce cuando se pica con poca profundidad, sin dejar al menos 3 cm de margen alrededor de todo el perímetro de la barra, lo cual supone dificultar las labores posteriores de reparación

- **Picado insuficiente que no retire todo el hormigón deteriorado**

A la hora de picar ha de retirarse todo el hormigón contaminado que se encuentre en contacto con la barra y en sus alrededores, de manera que se faciliten los procesos siguientes, principalmente el del limpiado de las armaduras.

No llevar a cabo estos pasos de forma correcta supondría dificultar los futuros trabajos de reparación y por tanto condenar directamente el resto del proceso al dejar sin resolver un problema que no tiene solución desde los pasos posteriores

En cuanto al hormigón contaminado, en la medida de lo posible, se debe eliminar totalmente, o cuanto menos, alejarnos lo máximo que nos sea posible, ya que en el hipotético caso que todo el núcleo estuviera



Fig 142. Restos de hormigón por picado insuficiente



Fig 143. Restos de hormigón contaminado en encuentro de barras

contaminado no se cambiaría todo él, sino que debería estudiarse el caso.

Ejemplo:

Tenemos un pilar con las armaduras oxidadas, nuestra intención es repararlo arreglando las barras.

Picamos y superamos las barras. Aquí pueden darse 2 situaciones.

- a. Que piquemos lo suficiente para poder limpiar cómodamente las barras pero que el grado de contaminación sea más profundo que esa medida con lo que tendremos que seguir profundizando hasta que nos separemos como mínimo 3 cm de la barra.
- b. Que eliminemos todo el hormigón contaminado pero que no haya espacio suficiente para poder limpiar las barras con las necesarias garantías. En este caso deberíamos seguir profundizando hasta poder contar con dicha garantía.
- c. En cuanto al ámbito en sentido longitudinal, debe picarse más allá de lo que inicialmente se supone necesario con el fin de poder garantizar que no queden oxidaciones puntuales.

En el caso de la reparación mediante sustitución de las armaduras por unas nuevas de acero al carbono, el proceso de picado debe realizarse igualmente y contará con los mismos riesgos que en el proceso tradicional. No llevar a cabo estos pasos de forma correcta supondría dificultar los siguientes trabajos y por tanto condenar directamente el resto del proceso al dejar sin resolver un problema que no tiene solución durante los pasos posteriores

Cuando llevemos a cabo una reparación mediante el uso del acero inoxidable sustituyendo la armadura de acero existente por otra de acero inoxidable, el picado del hormigón vendrá determinado únicamente por conseguir un picado suficiente que facilite la ejecución de todos los pasos necesarios posteriores, puesto que la nueva barra se entiende inalterable por esta situación.



Fig 144. Picado puntual insuficiente

8.1.2. Paso 2. Limpieza de las armaduras

Una vez descarnada la armadura, en caso de no ser necesario sustituirla, pasaremos al proceso de saneado de las armaduras, proceso que resulta imprescindible, consistente en la retirada completa de todo el óxido de tal forma que la reparación que se está ejecutando pueda ser eficaz.

En la reparación tradicional debemos considerar una serie de riesgos relativos al proceso de saneado que se analizan uno por uno a continuación.



Fig 145. Restos de hormigón tras la limpieza



Fig 146. Hormigón contaminado por limpieza insuficiente

- **Dejar restos de hormigón por una limpieza insuficiente**

A la hora de limpiar ha de eliminarse todo resto de hormigón existente en la barra, en toda su longitud abierta.

- **Dejar zonas corroídas por una limpieza insuficiente**

A la hora de limpiar ha de eliminarse todo resto de corrosión existente en la barra, en toda su longitud abierta

- **Dejar zonas corroídas por difícil acceso**

A la hora de limpiar la barra corroída ha de eliminarse todo resto de corrosión existente en la barra incluso aquellas zonas de difícil acceso (encuentros entre barras principales y cercos) que habitualmente no se limpian de forma adecuada, dejando restos de corrosión y hormigón contaminado.

No llevar a cabo estos pasos de forma correcta supondría condenar directamente el resto de pasos, al dejar sin resolver un problema que no tiene solución en los pasos posteriores.

De este modo la operación de limpiar las armaduras, liberarlas totalmente de la corrosión que pudiera tener, ya fuera entre corrugas, entre solape



Fig 147. Restos de corrosión en la zona de las corrugas por una limpieza insuficiente



Fig 148. Contraste de zonas limpias con restos de corrosión

de barras principales, entre cercos y armadura principal, resulta una labor pesada, ingrata y, en muchas ocasiones, con circunstancias colaterales que hacen tedioso el proceso. Con lo cual esta operación cuenta con el factor humano en contra.

Durante el proceso encontramos muchos restos entre barras, muchos recovecos, muchas veces zonas de difícil acceso. Todo esto lo que sirve es para sobrecargar la naturaleza humana que elabora siempre una serie de excusas para justificar por qué no quiere hacerse eso.

Además, estos riesgos pueden haberse visto afectados por la utilización de un útil inapropiado, que hace mucho más difícil su limpieza.

En el nuevo proceso de reparación mediante el uso del acero inoxidable desaparece cualquiera de estos riesgos comentados que son relativos a la limpieza de las barras existentes.



Fig 149. Ejemplo de la dificultad de llevar a cabo una limpieza completa adecuada



Fig 150. Zona de difícil acceso para la limpieza por falta de espacio tras el picado

8.1.3. Paso 3. Aplicación de protección

El pasivado es un proceso de protección de las barras de acero al carbono que resulta clave para evitar daños prematuros, de forma que se consiga garantizar la durabilidad de las barras reparadas, o nuevas.

A. Acero al Carbono

REPARACIÓN de armaduras de acero al carbono

En la reparación tradicional, partiendo de la base de que los pasos anteriores se hayan realizado con plena corrección, este paso tiene una ejecución verdaderamente sencilla, dado que lo que hay que hacer es usar el material adecuado, aplicar una capa completa del producto,

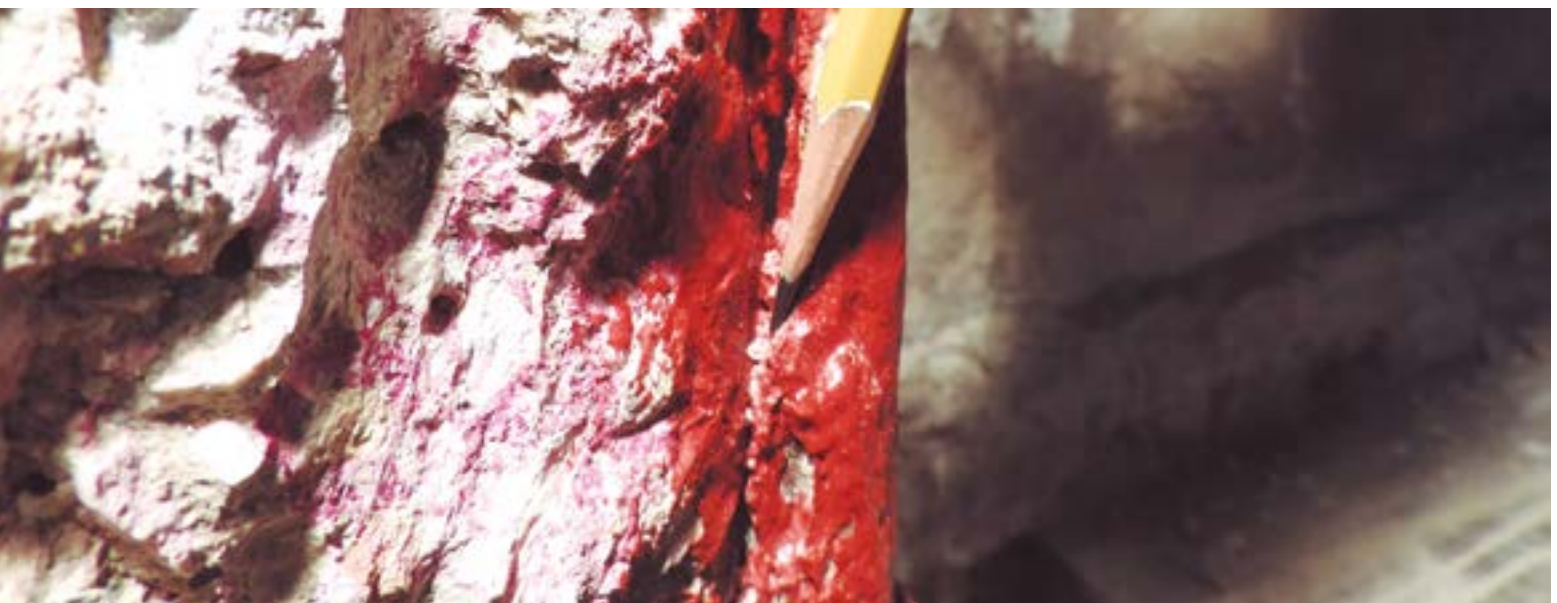


Fig 151. Aplicación del pasivador sobre una zona donde no se ha picado adecuadamente

aplicar el grueso de capa indicado por el fabricante, aplicarlo sobre la barra durante el tiempo abierto.

Los riesgos relativos a la fase de aplicación de protección de las armaduras viene determinado por: no aplicar el producto, no aplicar el producto adecuado, aplicarlo de forma incorrecta, aplicar una capa incompleta, no aplicar el espesor mínimo requerido o no aplicar el producto durante su tiempo abierto.

A continuación se analiza uno por uno los riesgos:

- **No aplicar el producto**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto, se confía al operario la decisión de aplicarlo, considerando que se le pueda olvidar u otras circunstancias

- **No aplicar el producto adecuado**

Este no es un riesgo directamente relacionado con la ejecución de la reparación, pero no por ello hay que menospreciarlo, ya que puede darse el caso, y que la labor llevada a cabo sea inútil.



Fig 152. Aplicación del pasivador sobre una barra que no ha sido limpiada.

- **Aplicar el producto de forma incorrecta**

Este riesgo se presenta cuando nos encontramos con una superficie que se ha llenado de polvo después de haberla limpiado, o con errores de ejecución previos, en el paso de picado y/o de limpieza de la barra.

- **Aplicar una capa incompleta**

Este riesgo puede presentarse en dos circunstancias diferentes. En primer lugar podemos encontrarnos con zonas de difícil acceso (encuentros entre barras o parte trasera de la barra), de forma que no se cubra toda la superficie de la barra y queden zonas sin proteger. Por otra parte, también puede haber un fallo propio de ejecución; que el operario que aplique el producto lo haga de forma rápida o prestando poca atención y se generen calvas.

- **No aplicar el espesor mínimo requerido**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto: se confía al operario el criterio y la decisión de aplicar el espesor requerido y aconsejado por el fabricante.



Fig 153. Aplicación de pasivador dejando calvas en la parte trasera de la barra.

- **No aplicarlo durante el tiempo abierto**

Este tipo de productos una vez aplicados tienen un tiempo de uso limitado; como un pegamento común, pasado un tiempo no cumplen con la función para lo que son usados, por lo que es necesario consultar la ficha técnica y saber de qué tiempo se dispone para poder llevar a cabo el siguiente paso, y que el pasivador sirva realmente para su fin, mejorar protección de las barras frente a la corrosión.

Aplicar el producto pasivador de forma incorrecta por alguno de los motivos que acabamos de comentar puede suponer condenar directamente la durabilidad de la reparación, propiciando de nuevo el deterioro de la barra y que puedan aparecer las mismas lesiones que intentamos reparar.

SUSTITUCIÓN de armaduras por acero al carbono

En el caso de la reparación mediante sustitución de las armaduras por unas nuevas de acero al carbono, debemos considerar proteger la nueva, ya que este proceso nos otorgará un grado de protección superior y



Fig 154. Capa incompleta de pasivador en encuentro entre barras y zona de corruga.

evitará que se repitan en un corto plazo de tiempo las lesiones que se están intentando subsanar.

En este caso el proceso vendrá determinado por el uso del material adecuado, la aplicación de una capa completa de producto, la aplicación del grueso de capa indicado por el fabricante para la protección requerida y la aplicación según las condiciones exigidas por el fabricante.

Por tanto los riesgos relativos a este proceso pasan por los que se analiza a continuación.

- **No aplicar el producto**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto, se confía al operario la decisión de aplicarlo, considerando que se le pueda olvidar u otras circunstancias

- **No aplicar el producto adecuado**

Este no es un riesgo directamente relacionado con la ejecución de la reparación, pero no por ello hay que menospreciarlo, ya que puede darse el caso y que la labor llevada a cabo sea inútil.

- **Aplicar el producto de forma incorrecta**

Este riesgo se presenta cuando nos encontramos con una superficie que se ha llenado de polvo después de haberla limpiado durante la realización de otros trabajos.

- **Aplicar una capa incompleta**

Este riesgo puede presentarse en dos circunstancias diferentes, en primer lugar podemos encontrarnos con zonas de difícil acceso (encuentros entre barras o parte trasera de la barra), de forma que no se cubra toda la superficie de la barra y queden zonas sin proteger. Por otra parte, también puede haber un fallo propio de ejecución, que el operario que aplique el producto lo haga de forma rápida o prestando poca atención y se generen calvas.

- **No aplicar el espesor mínimo requerido**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto, se confía al operario el criterio y la decisión de aplicar el espesor requerido y aconsejado por el fabricante.

- **No aplicarlo durante el tiempo abierto**

Este tipo de productos una vez aplicados tienen un tiempo de uso limitado; como un pegamento común, pasado un tiempo no cumplen con la función para lo que son usados, por lo que es necesario consultar la ficha técnica y saber de qué tiempo se dispone para poder llevar a cabo el siguiente paso, y que el pasivador sirva realmente para su fin, mejorar protección de las barras frente a la corrosión.

B. Acero Inoxidable

Cuando la reparación se lleve a cabo mediante la sustitución de las barras existentes por unas nuevas acero inoxidable desaparece cualquiera de estos riesgos comentados, ya que la barra nueva no necesita protección.

8.1.4. Paso 4. Aplicación del puente de adherencia

Tras la aplicación del pasivador, bien sobre la armadura reparada o sobre una nueva, resulta imprescindible garantizar la correcta adherencia entre la armadura y el mortero de reparación que se aplique a continuación, y para ello es necesario aplicar un puente de adherencia que lo garantice fehacientemente.

A. Acero al Carbono

REPARACIÓN de armaduras de acero al carbono

En la reparación tradicional aun partiendo de la base de que los pasos anteriores se hayan realizado con plena corrección debemos considerar una serie de riesgos relativos a la aplicación del propio producto. Estos riesgos se analizan uno por uno a continuación

- **No aplicar el producto**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto: se confía al operario la decisión de aplicarlo, considerando que se le pueda olvidar u otras circunstancias propias, lo que puede suponer una adherencia inadecuada entre la barra reparada y el mortero de reparación nuevo, haciendo que estos dos elementos no trabajen de forma solidaria.

- **No aplicar el producto adecuado**

Este no es un riesgo directamente relacionado con la ejecución de la reparación, pero no por ello hay que menospreciarlo, ya que puede darse el caso y que la reparación no sea del todo efectiva.

- **Aplicar el producto de forma incorrecta**

Este riesgo se presenta cuando nos encontramos con errores de ejecución previos, en el paso de picado y/o de limpieza de la barra. Aplicar el puente de adherencia sobre una barra con

estos condicionantes supone condenar la efectividad de la reparación y puede propiciar de nuevo el deterioro de la barra y que aparezcan las mismas lesiones que intentamos reparar.

- **No aplicarlo durante el tiempo abierto**

Este tipo de productos una vez aplicados tienen un tiempo de uso limitado; como un pegamento común, pasado un tiempo no cumplen con la función para lo que son usados, por lo que es necesario consultar la ficha técnica y saber de qué tiempo se dispone para poder llevar a cabo el siguiente paso, y que el puente de adherencia sirva realmente para su fin, mejorar la unión entre las barras de acero reparadas y el mortero de reparación que se aplica.

SUSTITUCIÓN de armaduras por acero al carbono

En el caso de la reparación mediante sustitución de las armaduras por unas nuevas de acero al carbono, debemos considerar de igual modo la aplicación del puente de adherencia siempre que las nuevas barras estén protegidas con pasivador, ya que este puede limitar la capacidad adherente de la barra nueva. Por el contrario, si la sustitución se realiza con unas nuevas de acero al carbono galvanizado no procede la aplicación ya que al no deber aplicar pasivador, no hay riesgo de pérdida de adherencia.

Por tanto, en la reparación mediante sustitución de las armaduras por unas nuevas de acero al carbono, el proceso de aplicación del puente de adherencia es muy similar al descrito anteriormente y vendrá determinado por los mismos riesgos que se han comentado, a excepción de aquellos derivados del tratamiento de la armadura existente, que son: no aplicar el producto, no aplicar el producto adecuado, y no aplicar el producto durante el tiempo abierto.

A. Acero Inoxidable

Cuando la reparación se lleve a cabo mediante la sustitución de las barras existentes por unas nuevas de acero inoxidable, desaparece cualquiera de estos riesgos comentados, ya que la barra nueva no necesita la aplicación del puente de adherencia.



Fig 155. Detalle donde se ha aplicado el puente de adherencia sobre una barra con restos de corrosión.

8.1.5. Paso 5. Aplicación del puente de unión

Con el mismo fin que con el puente de adherencia, aplicamos el puente de unión. En este caso lo aplicamos sobre el hormigón existente del elemento estructural que estamos reparando, para garantizar la correcta adherencia entre el hormigón existente y el mortero de reparación que se aplique para la regeneración del volumen de dicho elemento.

Los riesgos en la fase de aplicación del puente de unión sobre el hormigón existente están directamente ligados con el hecho propio de aplicar el producto.

Este paso y los riesgos que se citan a continuación son idénticos en cualquiera de los tipos de reparación que se están analizando, ya que la aplicación de este producto es sobre el hormigón original y es necesario en cualquiera de las reparaciones.

Estos riesgos se analizan uno por uno a continuación

- **No aplicar el producto**

Este es un riesgo directamente relacionado con la aplicación del producto; se confía al operario la decisión de aplicarlo, considerando que se le pueda olvidar u otras circunstancias propias, lo que puede producir una adherencia inadecuada entre el hormigón existente y el mortero de reparación nuevo, haciendo que estos dos elementos no trabajen de forma solidaria.

- **No aplicar el producto adecuado**

Este no es un riesgo directamente relacionado con la ejecución de la reparación, pero no por ello hay que menospreciarlo, ya que puede llegar a darse esta situación y que la labor llevada a cabo sea inútil.

- **Aplicar el producto sobre una superficie sucia**

Este es un riesgo dependiente de la preparación del soporte, debiendo estar este perfectamente limpio, sin restos de polvo, ni grasas que impidan conseguir la adherencia necesaria entre el hormigón existente y el mortero de reparación nuevo y haciendo que estos dos elementos no trabajen de forma solidaria.

- **No aplicarlo durante el tiempo abierto**

Este tipo de productos, una vez aplicados, tienen un tiempo de uso limitado; como un pegamento común, pasado un tiempo no cumplen con la función para lo que son usados, por lo que es necesario consultar la ficha técnica y saber de qué tiempo se dispone para poder llevar a cabo el siguiente paso, y que el puente de unión sirva realmente para su fin: mejorar la unión entre el hormigón y el mortero de reparación que se aplica.

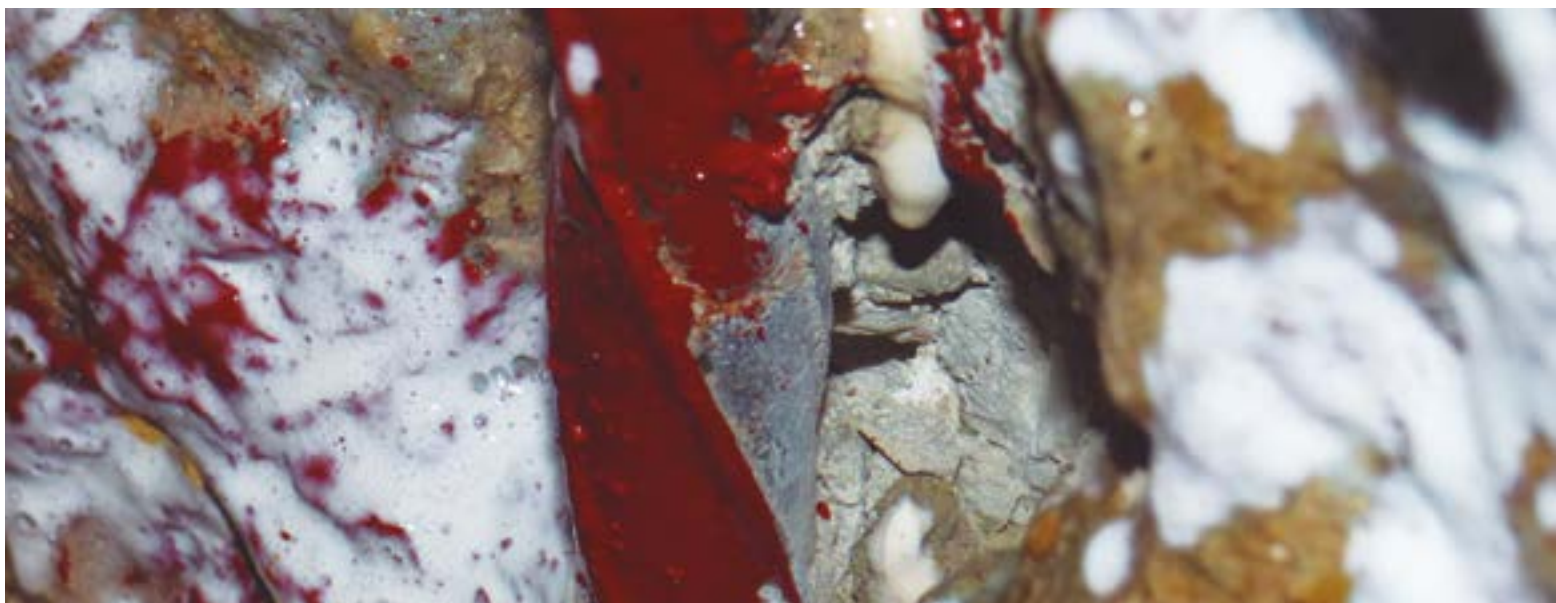


Fig 156. Aplicación de puente de unión sobre una barra sin limpiar y dejando calvas.

8.1.6. Paso 6. Aplicación de mortero

Por último, se repondrá el hormigón demolido mediante el uso de un mortero de reparación adecuado a las características propias del elemento a reparar.

Los riesgos en la fase de aplicación del mortero están directamente ligados con el hecho propio de aplicar el producto.

Este paso y los riesgos que se citan a continuación son idénticos en cualquiera de los tipos de reparación que se están analizando, ya que la regeneración del volumen del elemento estructural es necesaria e idéntica en cualquiera de las reparaciones.

Estos riesgos se analizan uno por uno a continuación

- **Puente de unión esté fuera de servicio**

Este tipo de productos, una vez aplicados, tienen un tiempo de uso limitado; como un pegamento común, pasado un tiempo no cumplen con la función para lo que son usados, por lo que es necesario consultar la ficha técnica y saber de qué tiempo se dispone para poder aplicar el mortero, y que el puente de unión sirva realmente para su fin, mejorar la unión entre el hormigón y el mortero de reparación que se aplica.

- **Uso de un producto no adecuado**

Este no es un riesgo directamente relacionado con la ejecución de la reparación, pero no por ello hay que menospreciarlo ya que puede llegar a darse esta situación y que la labor llevada a cabo sea inútil.

- **No usar la dosificación adecuada**

Los morteros de reparación que se usan para estas reparaciones, la inmensa mayoría, vienen predosificados de manera que lo

único que hay que añadirles es el agua. Esto hace que el riesgo de errores en la dosificación se limite a la cantidad de agua que se le añada. Esta operación es en sí muy sencilla y no habría por qué dudar de que cualquier operario está perfectamente capacitado, pero los problemas de dosificaciones vienen por la aplicación de malas técnicas que muchos operarios tienen aprendidas.

Si un operario se emboba y tarda más tiempo del debido entre que se confecciona la mezcla y se coloca el mortero, al fraguar pierde su plasticidad y sin ella resulta difícil trabajarlo. Las buenas técnicas obligan a que, cuando el mortero llega a ese punto, o incluso antes, se retire, se deseche; el problema es cuando el operario, por un sinfín de razones, decide usarlo y para poder hacerlo necesita plastificarlo de nuevo, añadiéndole agua, deja de cumplir las especificaciones del fabricante y deja de ser válido.

- **Aplicar el producto dejando oquedades**

El volumen de mortero a poner en la zona reparada puede



Fig 157. Dosificación no controlada, se echa el mortero con las manos sin control preciso de la cantidad.

llegar a tener 7 u 8 cm en algunas zonas, y en todos los casos el volumen a reparar se ve invadido por armaduras de acero que cruzan dicho volumen. Este hecho en sí, y en la mayoría de los casos, ha de leerse como una ventaja para la colocación del mortero, ya que las armaduras son elementos intermedios que dividen el volumen a reponer y hacen que el mortero pueda apoyarse en ellas facilitando su colocación.

También puede convertirse en un inconveniente si lo que se pretende, por parte del operario, es colocar todo el mortero de una sola vez, ya que al ser el volumen grande el que hay que rellenar, ponerlo de una sola vez dificulta la labor de presionarlo, sobre todo en las zonas donde no se puede hacer una presión directa por falta de espacio, no colmatándose las oquedades que puedan generarse detrás de las barras y siendo más difícil garantizar que la zona se haya macizado completamente.

Cuando se hace por capas se puede presionar más fácilmente ya que es una masa menor, lo que garantiza que no puedan quedar huecos detrás de las barras y que el macizado sea completo.

El operario sabe que el mortero debe aplicarse por capas pequeñas, pero las circunstancias personales y de la obra pueden hacer que llegue a saltarse el buen hacer y aunque no se genere un riesgo grave debe evitarse.



8.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS

Ese hipotético aumento de puntos de ejecución defectuosos trae consigo los riesgos que realmente acaban en lesiones.

Este hecho nos lo corrobora el estudio de CONREPNET ([ver apartado 9.2.2](#))

Estos riesgos evidentemente son asumidos por el prescriptor que los avala con su responsabilidad como técnico director de la obra.

Se propone a continuación realizar un estudio comparativo de manera esquemática y con el fin de tener una idea global del panorama. Se ha realizado un cuadro donde se listan los riesgos que hemos analizado en los apartados 8.1.1-8.1.6.

El cuadro recoge los riesgos de los dos sistemas estudiados: el sistema de reparación con acero al carbono y el sistema de reparación con acero inoxidable.

A continuación, a modo de resumen se recogen todos los riesgos relativos a los procesos de reparación comentados en el punto anterior

- [Listado de riesgos derivados del picado del hormigón](#)
 - P1. Dificultar la limpieza de la barra por insuficiente picado.
 - P2. Dejar el hormigón contaminado por insuficiente picado.
- [Listado de riesgos derivados de la limpieza de las armaduras](#)
 - L1. Dejar restos de hormigón por limpieza insuficiente.
 - L2. Dejar zonas oxidadas por limpieza insuficiente.
 - L3. Dejar zonas oxidadas por difícil acceso.
- [Listado de riesgos derivados de la aplicación de protección](#)
 - R1. No aplicar el producto.
 - R2. No aplicar el producto adecuado.
 - R3. Aplicar de forma incorrecta.
 - R4. Aplicar una capa incompleta.
 - R5. No aplicar el espesor mínimo requerido.
 - R6. No aplicarlo durante el tiempo abierto.
- [Listado de riesgos derivados de la aplicación del puente de adherencia](#)
 - A1. No aplicar el producto.
 - A2. No aplicar el producto adecuado.
 - A3. No aplicarlo durante el tiempo abierto.
- [Listado de riesgos derivados de la aplicación del puente de unión](#)
 - U1. No aplicar el producto.
 - U2. No aplicar el producto adecuado.
 - U3. Aplicar sobre una superficie sucia.
 - U4. No aplicar durante el tiempo abierto.
- [Listado de riesgos](#)
 - M1. Que el puente de unión esté fuera de servicio.
 - M2. No usar el producto adecuado.
 - M3. No usar la dosificación adecuada.
 - M4. Aplicar dejando oquedades.

Se plantea el cuadro comparando los riesgos en cada uno de los pasos de la reparación, de manera que el prescriptor pueda saber con certeza qué riesgos asume cuando elige cualquiera de los dos sistemas:

RIESGOS con ACERO al CARBONO

FASE TRATAMIENTO del HORMIGÓN



PICADO

1. Dificultar la limpieza de la barra por insuficiente picado
2. Dejar hormigón contaminado por insuficiente picado



FASE TRATAMIENTO de la ARMADURA EXISTENTE



LIMPIEZA

1. Dejar restos de hormigón por limpieza insuficiente
2. Dejar zonas oxidadas por limpieza insuficiente
3. Dejar zonas oxidadas por difícil acceso



PROTECCIÓN

1. No aplicar el producto
2. No aplicar el producto adecuado
3. Aplicar de forma incorrecta por errores previos
4. Aplicar una capa incompleta
5. No aplicar el espesor mínimo requerido
6. No aplicar durante el tiempo abierto



PUENTE de ADHERENCIA

1. No aplicar el producto
2. No aplicar el producto adecuado
3. Aplicar de forma incorrecta por errores previos
4. No aplicar durante el tiempo abierto



FASE SUSTITUCIÓN de la ARMADURA EXISTENTE



Protección 1. PASIVADO

1. No aplicar el producto
2. No aplicar el producto adecuado
3. Aplicar sobre superficie sucia
4. Aplicar una capa incompleta
5. No aplicar el espesor mínimo requerido
6. No aplicar durante el tiempo abierto



Protección 2. PUENTE de ADHERENCIA

1. No aplicar el producto
2. No aplicar el producto adecuado
3. Aplicar de forma incorrecta por errores previos
4. No aplicar durante el tiempo abierto



Protección 3. GALVANIZACIÓN

1. Manipulaciones en obra
2. Soldaduras
3. Acopios indebidos
4. Golpes en el transporte



ACERO INOXIDABLE VENTAJAS

FASE TRATAMIENTO del HORMIGÓN

PICADO



1. La barra se retira, el picado no es determinante
2. El hormigón contaminado no afecta al acero inoxidable



FASE TRATAMIENTO de la ARMADURA EXISTENTE

LIMPIEZA



1. No se requiere limpieza
2. No existen zonas oxidadas retirando las existentes

PROTECCIÓN



1. No se requiere aplicar producto de protección

PUENTE de ADHERENCIA



1. No se requiere aplicar producto para puente de adherencia
2. La corruga de la armadura de acero inoxidable está intacta



FASE TRATAMIENTO de la ARMADURA EXISTENTE

Protección 1. PASIVADO



1. No se requiere aplicar pasivado

Protección 2. PUENTE de ADHERENCIA



1. No se requiere aplicar producto para puente de adherencia
2. La corruga de la armadura de acero inoxidable está intacta

Protección 3. GALVANIZACIÓN



1. No es necesario proteger el acero inoxidable
2. Se puede manipular y generar cortes
3. No depende del lugar de acopios en obra
4. El transporte no es perjudicial para el acero inoxidable



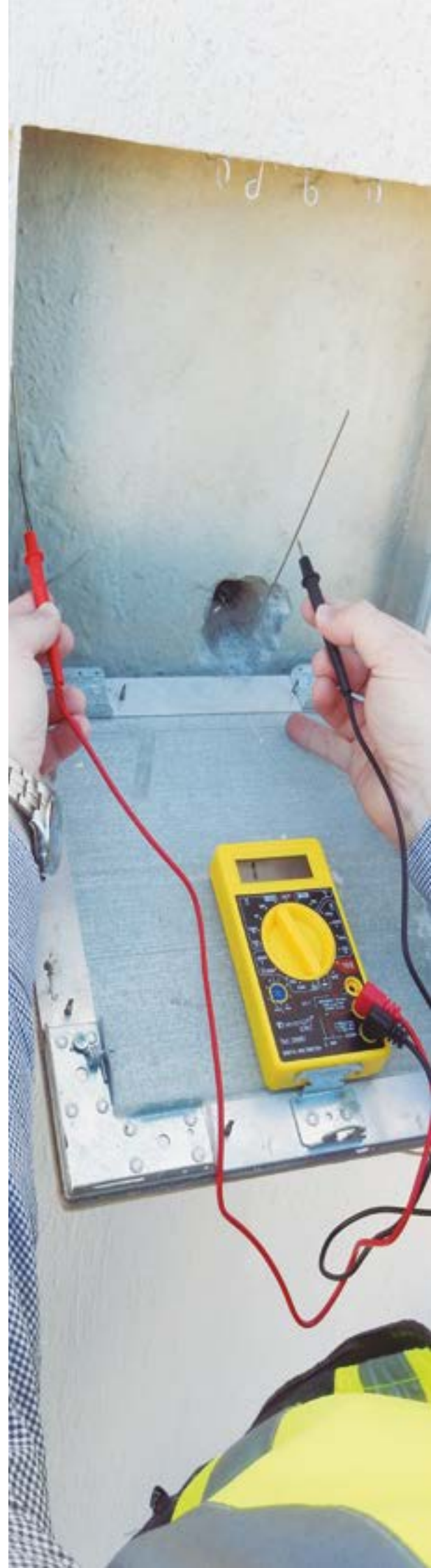
Tabla 19. Cuadro comparativo de riesgos y dificultades

Capítulo 4 **SEGUIMIENTO POST-OBRA**

Este capítulo va dirigido, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, al prescriptor, como apoyo a la hora de redactar el proyecto.

El objeto es proponer unas directrices a modo de pautas a seguir por parte del prescriptor en la redacción de este tipo de documentos.

Conviene recordar que el ámbito en el que se circunscribe este documento es el ámbito de la reparación y más concretamente de la reparación de armaduras del hormigón armado con acero inoxidable, si bien es cierto que hacemos mención a reparaciones realizadas con acero al carbono, dado que pretendemos que nos sirvan de referencia a la hora de plantear este documento.



9. LA REPARACIÓN TRADICIONAL

Tras realizar una obra de reparación utilizando el método de reparación tradicional, continuamos siguiendo los mismos pasos realizados en el pasado. Esto implica que probablemente se vayan a repetir las mismas situaciones.

Para limitar la aparición de nuevas lesiones, es necesario realizar un seguimiento post-obra y tener claros los controles a efectuar para anticipar cualquier situación.

Se mostrarán a continuación los elementos a considerar para realizar dicho control y las actuaciones de mantenimiento que derivan de este tipo de actuación.

9.1. PLAN DE CONTROL

Pretender plantear desde estas líneas un plan de control con cierto grado de viabilidad resultaría excesivamente pretencioso. Es tal la panoplia de posibilidades que no resultaría oportuno.

Lo que procede aquí es seguir unas pautas y criterios que faciliten su redacción.

Conviene recordar que el plan que se propone es el que considera la utilización del acero al carbono. Más adelante se planteará qué hacer cuando se utilice acero inoxidable.



9.1.1. Ensayos a realizar

Tras terminar la obra de reparación el edificio debe ser controlado. Ya hemos visto la durabilidad estimada para las reparaciones tradicionales. Esta durabilidad viene parametrizada por los numerosos factores de riesgo mencionados en el capítulo 3, que hacen que la actividad de corrosión del elemento reparado vuelva a activarse a los pocos años.

Esta circunstancia nos lleva a conocer los parámetros de corrosión que definen la actividad de corrosión y que serán los necesarios para poder hacer un seguimiento de la actividad de corrosión a lo largo de la vida útil. Estos parámetros son:

- Velocidad de corrosión
- Resistividad
- Potencial de corrosión

Para tener clara la evolución del estado de corrosión, es importante hacer constar en el edificio, antes de la reparación, los distintos niveles de afección que se puedan claramente percibir en las zonas a reparar, de manera que tras la reparación sean objetivo preferente de las inspecciones.

Una vez acabada la reparación se tomarán las mediciones, tanto en las zonas reparadas como en las que no lo están, de manera que en esta nueva etapa del edificio, podamos partir con conocimiento pleno de su estado.

Para poder realizar la correcta inspección y medir todos los parámetros, se aconseja realizar una serie de registros durante la obra, evitando la realización de catas destructivas para la toma de datos. Los registros se localizarán en las zonas de máxima exposición. Las más representativas suelen ser los frentes de forjado.

Esta localización suele exigir la utilización de medios auxiliares específicos para acceder a los registros. Cuando se trata de terrazas, los registros pueden ser previstos de manera que sean accesibles desde las mismas, para lo cual no es necesario ningún medio auxiliar; pero cuando se trata de paños ciegos resulta necesario contar con un medio específico, ya sea descolgarse por fachada o contar con un andamio.

Ha de preverse tantos registros como tomas se consideren necesarias realizar. Eso dependerá del grado de exposición y de los criterios que el prescriptor establezca para tener datos representativos, teniendo en cuenta la cantidad de fachadas que puedan llegar a estar afectadas, y en caso de edificio con varias plantas, la variación de alturas.

El instrumental necesario son equipos de medición como el GeCorr o Galvapulse, que son capaces de hacer lecturas de la velocidad de corrosión, resistividad y potencial de corrosión. Es imprescindible contar con que el aparato se encuentre calibrado por laboratorio homologado, de manera que quede garantizada la validez de la toma.

Resulta imprescindible conocer las condiciones de toma que exige el instrumental en cuanto superficie de contacto, de lo contrario las tomas en algunos casos nos ofrecerán datos distorsionados y sin lógica alguna, lo cual será fácil de detectar, aunque en otros nos pueden pasar desapercibidas.

Por tanto, es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- Humedecer el hormigón de la zona donde se vaya a realizar el ensayo desde el día anterior y hasta conseguir una resistividad eléctrica de 1000 KΩcm, ya que las mediciones en hormigones secos, con una alta resistividad eléctrica, aportan resultados que no son concluyentes.
- Tener contacto eléctrico directo entre las armaduras y el equipo de medición. Esto es posible si hemos llevado a cabo los registros de control comentados en la fase de prescripción, si no hemos tenido esa previsión deberemos hacer unas aperturas en el hormigón que nos permita tener una pequeña sección de armadura donde conectarnos directamente.



Fig 158. Registro de frente de forjado



Fig 159. Registro en fachada para control de armaduras de frente de forjado



Fig 160. Alambre conectado directamente a armaduras

9.1.2. Evaluación de resultados

El plan de seguimiento parte de unos datos tomados al acabar la reparación. Partimos de datos que, al haber reparado, constan de una bajada drástica de la velocidad de corrosión.

La primera toma post obra, al año o dos años, marcará unos datos que mantendrán una velocidad de corrosión baja y, puestos a pronosticar, serán muy similares a los de la toma realizada tras finalizar la obra.

Cualquier desviación significativa supondría que la toma no fue bien realizada o que hubo un fallo en la reparación que ha provocado una evolución no prevista.

Estas primeras tomas nos permiten corroborar lo hecho y dar por buenos los datos de partida.

A lo largo del tiempo podremos ir comprobando cómo el nivel de protección del elemento protegido va variando, lo que nos permitirá establecer el periodo de duración de la armadura en buen estado. Así iremos comprobando lo que nos va quedando de vida útil, y de esa manera podremos corregir los plazos establecidos para realizar más tomas de control.

Tras obtener los parámetros que nos aportan los equipos de medición comentados anteriormente, podemos interpretar los resultados y evaluar la afección que presentan los elementos de hormigón armado, como se establece en la siguiente tabla.

Velocidad de corrosión (A/cm ²)	> 1,0	0,5-1,0	0,1-0,5	<0,1
Nivel de corrosión	Elevado	Moderado	Bajo	Pasivo
Tiempo estimado hasta daño visible	< 2 años	3-5 años	> 10 años	-

Tabla 20. Clasificación del estado de las armaduras

Según los datos recopilados en los diferentes controles, podremos evaluar la situación comparando los valores con los de la tabla.

Pasados unos años, y tras la lectura de valores de corrosión rondando los 0,5 y 1,0 A/cm², será importante tener consideradas las actuaciones de mantenimiento a realizar.

Esta situación conlleva plantear al cliente una situación desagradable: la necesidad de seguir gastando recursos para mantener un elemento oculto que ya fue objeto de intervención. Considerando los hechos expuestos a lo largo del manual, esta situación es una certidumbre debido a las garantías de durabilidad que nos proporciona la reparación tradicional.

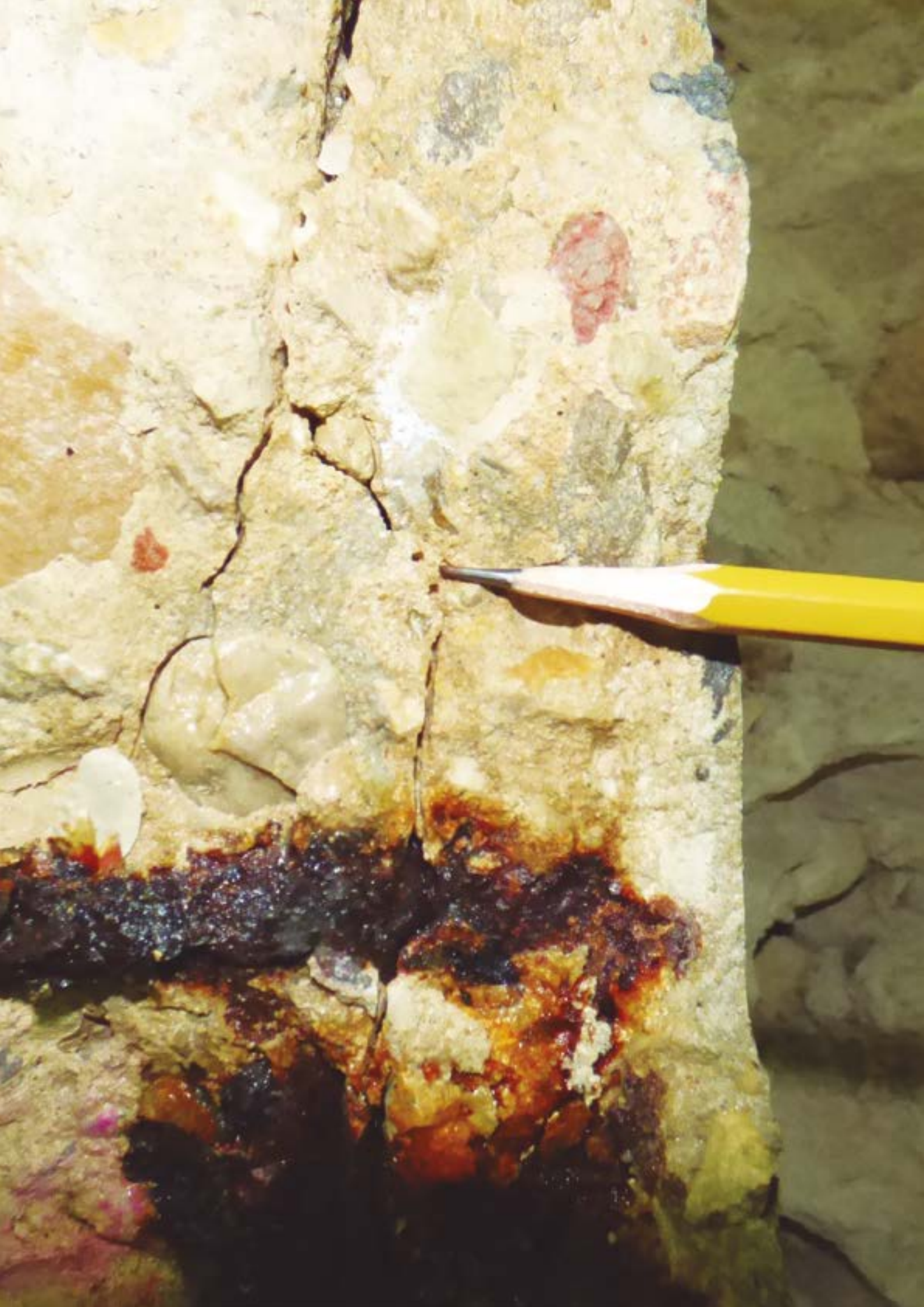
9.2. ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO

En este apartado se pretende exponer las diferentes actuaciones a realizar en el transcurso de la nueva etapa del edificio tras ejecutar las obras de reparación mediante reparación tradicional.

Ya hemos expuesto en los capítulos anteriores los diferentes riesgos relativos a este tipo de reparación, además de dar un panorama claro del costo que supone realizar este tipo de reparación, tanto a nivel económico como a nivel funcional (ver [1.1.2 Colaterales del capítulo 1](#)).

Sabemos que el problema de la corrosión en el patrimonio edificado no es un tema nuevo, prueba de ello, la [CONREPNET](http://projects.bre.co.uk/conrepnet/pages/background.htm) (<http://projects.bre.co.uk/conrepnet/pages/background.htm>) realizó unas jornadas para advertir de la repetitiva falta de durabilidad en las intervenciones realizadas en el patrimonio edificado.

Esta situación puede resultar incómoda, puesto que conlleva al prescriptor tener presente la planificación de actuaciones de mantenimiento en el edificio que acaba de reparar y debido a las competencias otorgadas a los arquitectos, y considerando como dominante las actuaciones realizadas en elementos estructurales, la existencia de lesiones en los mismos durante el periodo de responsabilidad (10 años para elementos estructurales) puede desembocar en una posición desagradable.



9.2.1. Actuaciones de protección

Tras la lectura de valores de la velocidad de corrosión que puedan empezar a alarmar, es importante tener presente que existen actuaciones, que permiten la protección del elemento antes que este se vea afectado por un nivel de corrosión elevado.

Los inhibidores de corrosión son productos pertinentes que permiten la protección de la barra de acero al carbono, penetrando en el hormigón e inhibiendo el proceso de corrosión electro-químico entre la armadura y los iones cloruro, el oxígeno y otras sustancias presentes en el hormigón.

Si bien, la aplicación de los mismos se debe realizar directamente sobre el elemento de hormigón que engloba la armadura. Esto supone el picado del posible acabado presente por delante del hormigón para poder aplicar la protección.

Por dar un ejemplo, si necesitamos proteger los frentes de forjado de un inmueble, esto implicaría el picado de la banda frontal del forjado, obligando al montaje de andamios, la aplicación del protector, la reconstrucción de la banda picada y la reposición del acabado.

Esta actuación de protección toma una envergadura difícil de entender por el promotor cuando años atrás ya realizó una inversión para conservar su edificio.



9.2.2. Actuaciones de reparación

La eficacia de las reparaciones mediante el uso de acero al carbono, como hemos ido viendo a lo largo de todo el documento depende en gran medida de factores que difícilmente pueden ser controlados por la Dirección facultativa. Además, según la Organización [CONREPNET](#) el 60% de las reparaciones de este tipo fallan a partir de los 10 primeros años.

Estos condicionantes han de hacernos pensar que si llevamos a cabo una reparación de este tipo, estaremos, en gran medida, asumiendo ese riesgo de volver a caer en los mismos errores, y que en algún momento tendremos que volver a llevar a cabo de nuevo actuaciones de reparación.

Obviamente no en el 100% de la actuación realizada años anteriores, pero hay una gran probabilidad de que nos vuelvan a aparecer daños en algunos puntos concretos.

Estas nuevas reparaciones volverían a generar todas las molestias relativas al proceso de reparación y sus costes, no solo los propios de la reparación, sino todos los costes indirectos que hemos ido comentando en el documento. Y a todo esto se le sumarían los problemas relativos a responsabilidades, insatisfacción del promotor, y pérdida de prestigio, etc.



Capítulo 5 CONCLUSIONES

Todo aquel que haya tenido alguna experiencia en la reparación de elementos de hormigón armado debido a la corrosión de sus armaduras, habrá podido observar y experimentar en carne propia los claroscuros que el sistema de reparación nos muestra.

El tema de los límites entre lo correcto e incorrecto, entre lo admisible y lo inadmisibles, aparece creándonos esa molesta incertidumbre que puede llegar a ser inquietante cuando uno pretende avanzar en la certeza de que la calidad de las soluciones que se ejecutan alcanzan las cotas deseadas. Se hace difícil conseguir controlar el proceso de manera que podamos garantizar la calidad proyectada.

Los límites que se alcanzan se encuentran normalmente bastante alejados del riesgo de colapso por lo que no siempre se consideran con el rigor debido y esto nos aboca a situaciones profesionalmente inadmisibles.

Me atrevería a decir que la mayoría de los prescriptores que han tenido experiencias en este campo se encuentran ante una situación que no resulta fácil de resolver.

Para el prescriptor dedicado al desarrollo de proyectos, la modificación y mejora del sistema de reparación se presenta como una labor que supera sus posibilidades.

Sistema actual de reparación. Componentes

Si analizamos los factores y agentes que intervienen en el sistema actual de reparación observamos que el sistema está compuesto por:

- Materiales** Unos existentes en el elemento dañado y otros que se aportan.
- Operarios** Personal de obra que suministra el constructor.
- Técnicos** Unos que aporta el constructor, el jefe de obra, jefe de grupo y otros los prescriptores y la dirección facultativa.

Estos elementos se rigen por un proceso que establece las pautas que han de guiarle en sus diferentes etapas. A lo largo del proceso los elementos del sistema van interviniendo con el cometido que cada uno tenga encomendado.

- Proceso** Una secuencia de pasos que, siguiéndolos con corrección y precisión, el proceso quedaría garantizado.

Si buscamos informarnos sobre si esta situación a la que nos enfrentamos individualmente, con el fin de ver si es particular o la sufren otros compañeros prescriptores, nos encontramos con los resultados del trabajo de investigación realizado por CONREPNET: *Performance-based approach to the remediation of reinforced concrete structures; Achieving durable repaired concrete structures.*

El informe en su introducción comenta:

“Los problemas causados por la corrosión del armado en el deterioro de las estructuras de hormigón, se encuentra ampliamente en toda Europa y se reconocen como una limitación importante en la durabilidad de muchas estructuras existentes”

Más adelante dice:

“El fallo prematuro de las reparaciones y la falta de certeza en la durabilidad y el rendimiento de algunas estructuras de hormigón afectan a Europa y a muchas partes del mundo. En consecuencia, existe la necesidad de lograr estructuras de hormigón reparadas más duraderas”

En una de las encuestas que llevó a cabo el estudio de CONREPNET sobre el comportamiento de las estructuras reparadas llega a estimarse *“que casi el 50% de las reparaciones e intervenciones muestran signo de fallo dentro de los 5 primeros años”* y que las causas de la reparación y el fracaso de la intervención se relacionaran principalmente con:

- Diagnóstico erróneo de la causa del daño inicial o deterioro de la estructura 16%
- Diseño inapropiado de los trabajos de intervención 38%
- Especificación inadecuada o elección de los materiales utilizados 15%
- Mano de obra no especializada. 19%
- Otros factores 12%

Si relacionamos las causas del fracaso en las intervenciones con los agentes intervinientes podremos sacar algunas conclusiones.

Las 3 primeras son competencia del técnico ya actúe como prescriptor o como dirección facultativa y todas ellas suman un porcentaje de fallos del 69% sobre la mano de obra.

La cuarta causa debida a la mano de obra no cualificada supone según el estudio un 19%.

Si queremos saber la incidencia del factor humano en los errores detectados solo tenemos que sumar los porcentajes anteriores lo que supone un **88% del total**, cifra verdaderamente alarmante.

El sistema actual de reparación está constituido por una serie de pasos que nos permiten actuar en las zonas dañadas y repararlas. En este sistema, en el que intervienen los operarios y los técnicos arroja, como acabamos de ver, el 88% de fallos, por lo que resulta evidente

la necesidad de analizar el proceso en detalle, ya que los pasos que plantea están llenos de riesgos de los cuales muchos de ellos acaban convirtiéndose de hecho en errores.

Es cierto que se está avanzando en la regulación del sistema de reparación tanto en normativa como en estudios al respecto y una buena utilización de esa normativa y estudios nos puede ayudar a minimizar los riesgos. Esta nueva regulación del sistema nos lleva a una mayor atención al análisis y resolución de los problemas y un mayor control durante la ejecución de las soluciones.

Debido al porcentaje de fallos que hemos comentado y de quienes deberían ser los que resolvieran, se nos antoja un panorama poco esperanzador ya que la solución multiplica la necesidad de una dedicación al proceso con mayor cumplimiento de la normativa y mayores controles y aun en caso de alcanzar una garantía aceptable, en calidad y resultados acordes con los que se exigen en otros campos de la construcción, quedaría lejos de lo que la sociedad demanda, en aprovechamiento de recursos, sostenibilidad y durabilidad de las soluciones.

La mejora del enfoque para resolver los problemas derivados del actual sistema de reparación se mueve en la línea de minimizar riesgos. Habría que considerar si es el más adecuado. Suena mucho más provechoso y eficaz eliminar los riesgos que plantea el sistema que minimizarlos. Si los eliminamos, desaparecerán los errores, y si no los sustituimos por otros mayores habremos avanzado enormemente.

Sistema actual de reparación. Sus riesgos

El sistema actual depende de varios factores: picado, limpieza, pasivado, protección etc. Debemos buscar un proceso en el que desaparezcan dichos factores y que queden perfectamente garantizados los resultados. Si desaparecen esos pasos del proceso desaparece la posibilidad del error.

Mano de obra no especializada

El reto está en encontrar este otro camino alternativo, ya que sin los factores antes mencionados la mano de obra especializada, prácticamente inexistente, no sería un inconveniente.

Diagnóstico erróneo de la causa del daño inicial o deterioro de la estructura

Y en cuanto a los errores relacionados con el prescriptor si en el proceso alternativo consiguiéramos una solución en la que el diagnóstico no afectara a la solución que se propone, evitaríamos otro grupo de riesgos.

Diseño inapropiado de los trabajos de intervención

En cuanto a lo referido en a este tema la propuesta alternativa tendría que ser de tal sencillez que fuera prácticamente imposible errar en ella.

Especificación o elección inadecuada de los materiales utilizados

En lo referente a este tema lo ideal sería reducir toda elección a un solo material que apenas requiriera especificaciones para que también desaparecieran los riesgos y en consecuencia los errores de este grupo de posibles fallos.

Después del estudio elaborado realizado, demos un breve repaso significando las principales ideas procurando contextualizarlas. Sobre quien recae la máxima responsabilidad de lo que se ejecute corresponde a la D.F., y ha quedado claro que por mucho que aumente el control no podrá garantizar la calidad requerida en el contexto de la reparación de elementos de hormigón.

Convendría a modo de ratificación de lo concluido y mediante unas preguntas sencillas aunque claras y directas verificar la validez de la propuesta realizada.

¿Cuál es el problema?

Que se corroen las barras de acero corrugado del hormigón.

¿Qué es lo que queremos?

Que no se corroan las barras de acero corrugado.

¿Solución?

Pongamos unas barras de acero corrugado que no se corroa.

¿Cuáles?

Las de acero inoxidable DÚPLEX que son específicas para barras corrugadas con un coste aceptable.

Y ¿qué ventajas tiene?

En obra es mucho más fácil poner una barra de acero inoxidable que reparar una barra de acero al carbono reparada.

Entre Corrosión y Durabilidad, resultan incomparables el comportamiento entre el acero inoxidable y el acero al carbono reparado.

Inmediatamente se nos viene encima todo tipo de comentarios maximalistas, descontextualizados en el ámbito de la edificación que crucifican la posible utilización del acero inoxidable al concluir que es un material excelente pero que dado su precio resulta inviable su utilización en todo aquello donde la estética no sea el valor destacable a tener en cuenta. En el capítulo 1 de esta publicación se ha evaluado este tema.

La publicación

Se organiza en torno a 4 grandes capítulos, los cuales van recorriendo las diferentes fases en las que se van tomando decisiones sobre la obra que se pretende realizar

Capítulo I

En el Capítulo 1 de esta publicación se muestra que en estos casos de reparaciones relacionadas con la corrosión, el acero inoxidable dúplex viene a resultar aproximadamente un 6% más caro que el reparar las armaduras oxidadas. Y esta afirmación se basa en el sustancial ahorro de mano de obra que la utilización de este material supone. Si a esto añadimos la durabilidad de solución, queda fuera de toda duda su uso.

Capítulo II

En el capítulo II, se exponen los aspectos fundamentales de la elaboración y ejecución de un proyecto de reparación pasando por las fases de prospección, prescripción y documental. Se deja de manifiesto la existencia de muchos factores ajenos al prescriptor que entorpecen el diagnóstico adecuado de la situación que de no tenerlos contemplados pueden llegar a traducirse en una verdadera metedura de pata.

Capítulo III

En el capítulo III, se plantea en un primer lugar, los procesos de control a realizar para el acero inoxidable, siendo estos casi triviales dadas las características del material. Acto seguido se da paso a una aclaratoria comparativa de los riesgos existentes entre el modo operando de la reparación tradicional y el propuesto mediante sustitución por acero inoxidable. Respectivamente, se dan 29 riesgos contra 0 durante las fases de saneado y protección, dato suficiente para juzgar las garantías que ofrece cada tipo de actuación.

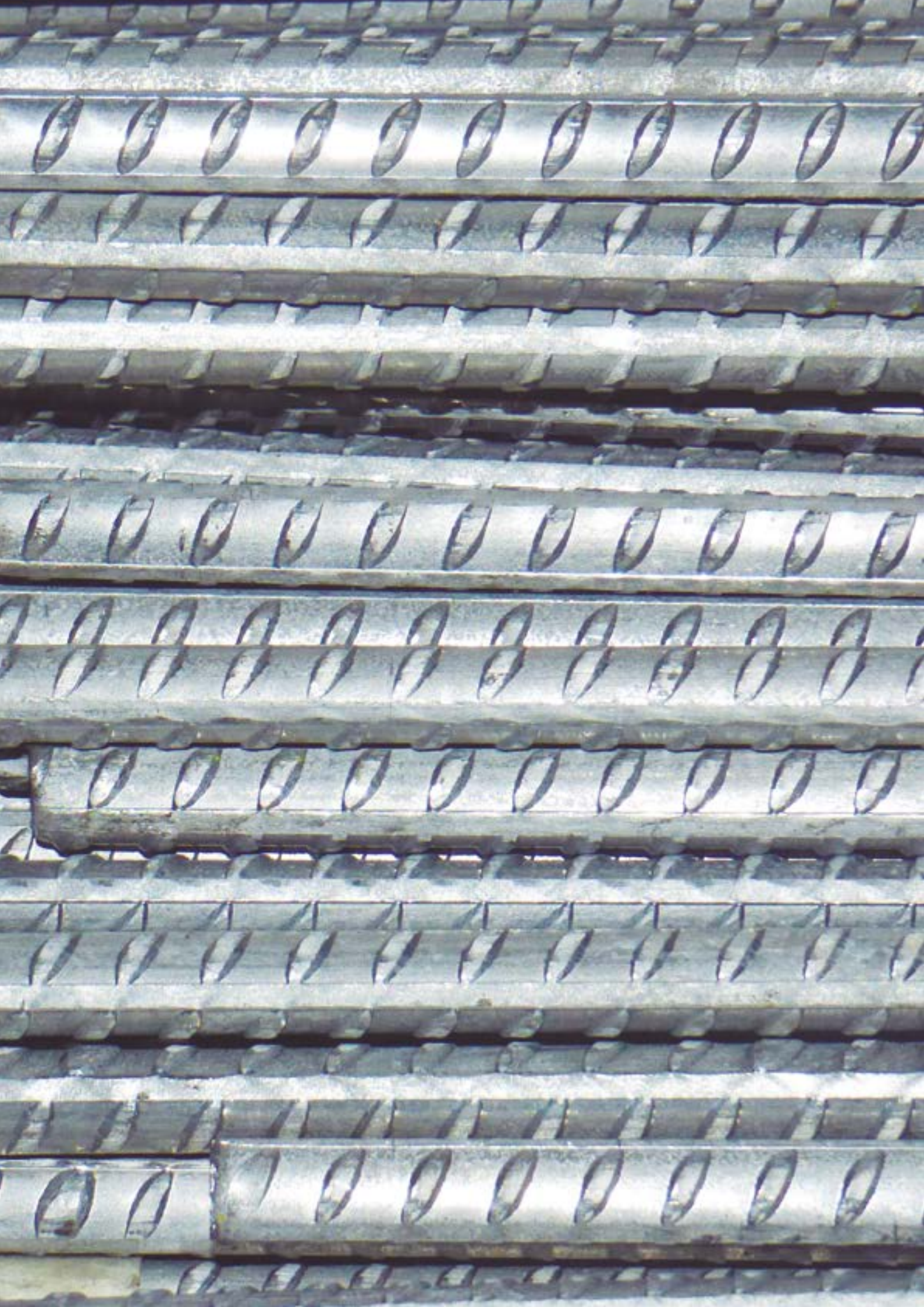
Capítulo IV

En este capítulo, se pone de manifiesto la existencia de un trabajo de seguimiento y mantenimiento que se acentúa según el tipo de actuación empleado para la reparación de elementos de hormigón armado afectados por corrosión. Tras todo lo comentado a lo largo de este manual, estas actuaciones post-obra están directamente vinculadas a las garantías de cada sistema de reparación, cuanto menor sean las garantías mayores serán las actuaciones de mantenimiento, reiterando en ciertos casos una segunda obra de reparación con todo lo que ello supone.

Capítulo V

En este capítulo, se exponen las conclusiones del manual, resumiendo y realzando los argumentos claves que ponen de manifiesto las garantías vinculadas a la utilización del acero inoxidable.

Dicho todo esto que podría parecer una misión imposible, como el lector ya se habrá imaginado, estamos hablando de la utilización en las reparaciones del acero inoxidable que como se demuestra a lo largo de la publicación cumple con todo lo planteado como solución alternativa.



ÍNDICE DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. del Hormigón Estructural, "EHE-08," Madrid, Minist. Fomento, Secr. Gen. Técnica, 2008.
- [2] A. C. del Hormigón Estructural, "MONOGRAFIA 26. Sistemas de reparación y protección de estructuras de hormigón con corrosión," Ser. Monogr. ACHE, vol. 26, 2015.
- [3] A. EDIFICADO and R. D. E. C. DE LOS EDIFICIOS, "ÁMBITO DE APLICACIÓN DE LOS DB DEL CTE A LAS OBRAS INTERVENCIÓN EN EL."
- [4] C. Andrade and S. Feliu, "Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras, Publ. ICCT, Madrid, España, 1989.
- [5] C. Andrade and S. Feliu, "Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras," Man. del Cons. Super. Investig. Científicas, Madrid, 1989.
- [6] C. Andrade and J. A. González, "Tendencias actuales en la investigación sobre corrosión de armaduras", 2014.
- [7] M. S. Landmann, J. R. Fuentes, V. Bonaste, and A. S. Martínez, "Rehabilitación con armaduras de acero inoxidable," en Armaduras de acero inoxidable, 2013, pp. 167–190.
- [8] M. del Carmen Andrade, "Corrosión de armaduras y su inspección en hormigones de cemento aluminoso", Inf. la Construcción, vol. 44, no. 422, pp. 39-48, 1992.
- [9] M. Pérez, F. Trivino, and C. Andrade, "Corrosión de armaduras galvanizadas y sin proteger embebidas en cemento aluminoso estabilizado", Mater. Construcción, vol. 31, no. 182, pp. 49–68, 1981.
- [10] D. M. Bastidas and E. Medina Sánchez, "Armaduras de acero inoxidable", 2013.
- [11] J. F. McGurn, "Stainless steel reinforcing bars in concrete", in Proceedings of the International Conference of Corrosion and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures, Orlando, FL, FHWA, 1998.

[12] J.-M. Franssen, T. Gernay, S. Muñoz, and E. M. Sánchez, Resistencia al fuego de armaduras de acero inoxidable. CEDINOX, 2013.

[13] G. Di Caprio, Los aceros inoxidables: martensíticos, ferríticos, austeníticos, dúplex, endurecibles por precipitación; características; resistencia a la corrosión; elaboración por deformación plástica y por arranque de viruta; soldadura y unión; acab. Grupinox, 1999.

[14] L. Gardner, A. Insausti, K. Ng, M. A.-J. of C. Steel, and undefined 2010, "Elevated temperature material properties of stainless steel alloys", Elsevier.

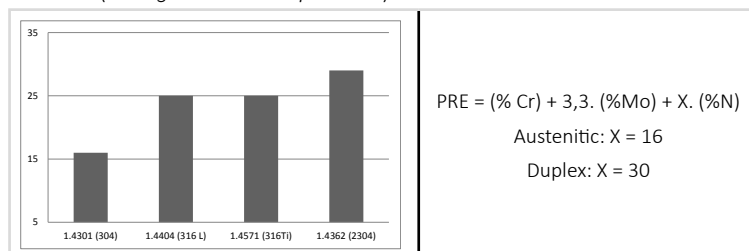
[15] D. Qu, S. Qian, B. Baldock, "Effects of galvanic coupling between carbon steel and stainless reinforcements" Institute for research in construction national research council Canada.

DESCRIPCIÓN El ACX 915 es un acero inoxidable con estructura austenoferítica (dúplex). Esta estructura combina su excelente resistencia a corrosión junto con unas interesantes propiedades mecánicas. Su menor contenido en elementos de aleación (*lean duplex*) lo hacen un tipo de acero muy apreciado en obra civil de largo plazo de ejecución.

ACX 915	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu
EN 1.4362	≤0,030	≤2,00	≤0,035	≤0,015	≤1,00	22,0- 24,0	3,5- 5,5	0,1- 0,6	0,5- 0,20	0,1- 0,6
UNS S32304	≤0,030	≤2,50	≤0,040	≤0,030	≤1,00	21,5- 24,5	3,0- 5,5	0,05- 0,6	0,05- 0,20	0,05- 0,60
ACX 915 Estándar	0,020	1,600	0,025	0,001	0,550	22,80	4,25	0,200	0,4160	0,300

PROPIEDADES MECÁNICAS ORIENTATIVAS	0,2 Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HB)
Corrugado (3 - 50 mm)	530 - 650	720 - 860	14 - 50	210 - 245
Alambrón (5,5 - 41,5 mm)	440 - 650	720 - 860	30 - 60	210 - 245
Barra (5- 52 mm)	650 - 880	830 - 1070	12 - 40	240 - 315
ASTM A-276	≥ 400	≥ 600	≥ 25	≤ 290
EN 20088-3 Alambrón	≥ 400	≥ 600	≥ 25	≤ 290
BS 6744	≥ 500	≥ 550	14	--

- RESISTENCIA A LA CORROSIÓN**
- Características similares a los tipos 316
 - Mejora la resistencia a la corrosión bajo tensiones comparado con los tipos AISI 304L / 316L
 - PRE (*Pitting Resistance Equivalent*)



- PROPIEDADES MECÁNICAS - COMPARATIVA**
- El límite elástico y la resistencia a la tracción son mayores que en los tipos AISI 304L / 316L
 - Satisfactorio en rangos de temperatura de -40°C a 300°C
 - Propiedades mecánicas según norma EN 10088

EN	Tipo (equivalente)	Re 0,2% min. N/mm ² (Límite elástico)	Rm min. N/mm ² (Resistencia a la tracción)	A5 Mini.% (Alargamiento)
1.4301	304	190	500	45
1.4404/1.4571	316L	200	500	40
1.4362	S32304	400	600	25

- APLICACIONES**
- Mismas aplicaciones que el tipo AISI 304L/316L.
 - Industria del papel y pasta papelera.
 - Ácidos orgánicos (soluciones cáusticas).
 - Industria alimentaria.
 - Construcción.
 - Industria minera.
 - Desalinizadoras.
 - Plataformas petrolíferas.
- SOLDADURA:**
- Soldadura TIG, Plasma, MIG, SMAW, SAW, FCAW.
 - Menor sensibilidad a las grietas a elevadas temperaturas debido a su estructura dúplex.
 - Recomendación EN 1.4462.

NORMAS

XP A35-014	UNE 36067	BS 6744	ASTM A955	TC 104WI EC104031:2016
------------	-----------	---------	-----------	------------------------



ACERINOX	ROLDAN
ACX 917	
DESIGNACIÓN ASTM - A276	



DESCRIPCIÓN El ACX 917 es un acero inoxidable con estructura austenoferrítica (dúplex). Esta estructura combina su excelente resistencia a corrosión junto con unas interesantes propiedades mecánicas. Este tipo de acero es la solución perfecta para ambientes extremos donde la durabilidad es un requisito indispensable.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ACX 917	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	N
EN 1.4462	≤0,030	≤2,00	≤0,035	≤0,015	≤1,00	21,0- 23,0	4,5- 6,5	2,5- 3,5	0,10- 2,22
UNS S32205	≤0,030	≤2,00	≤0,030	≤0,020	≤1,00	22,0- 23,0	4,5- 6,5	3,0- 3,5	0,14- 0,20
ACX 917 Estándar	0,020	1,60	0,025	0,001	0,40	22,40	4,75	3,3	0,180

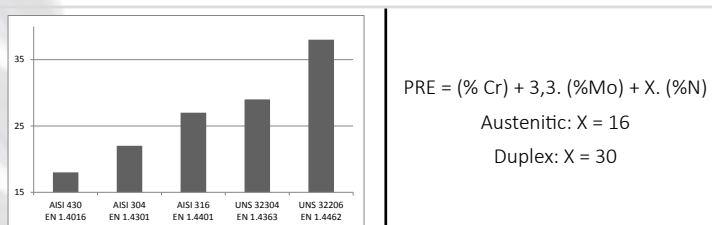
PROPIEDADES MECÁNICAS

Propiedades estándar Roldan / Normas internacionales

PROPIEDADES MECÁNICAS ORIENTATIVAS	0,2 Límite elástico (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Alargamiento (%)	Dureza (HB)
Corrugado (3 - 50 mm)	650	820	35	245
Alambrón (5,5 - 41,5 mm)	600	800	35	240
Barra (5- 52 mm)	660- 850	840 - 1040	15 - 35	240- 290
ASTM A-276	≥ 450	≥ 655	≥ 25	≤ 290
EN 10088-3	≥ 450	≥ 650	≥ 25	≤ 270
BS 6744	≥ 500	R _{p0,2%} ≥ 1.1	14	--

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

- Características superiores al tipo AISI 316.
- Resistencia a la corrosión mejorada debido al mayor contenido de Cr respecto a los tipos austeníticos.
- El contenido de N, Cr y Mo mejora la resistencia a la corrosión por picaduras e intersticial.
- PRE (*Pitting Resistance Equivalent*):



PROPIEDADES MECÁNICAS

- El límite elástico y la resistencia a la tracción son mayores que en los tipos AISI 304L / 316L y UNS 32304.
- Satisfactorio en rangos de temperatura de -50°C a 300°C.
- Propiedades mecánicas según norma EN 10088:

EN	Tipo (equivalente)	Re 0,2% mín. N/mm ² (Límite elástico)	Rm mín. N/mm ² (Resistencia a la tracción)	A5 Mini.% (Alargamiento)
1.4301	304	190	500	45
1.4404/1.4571	316L	200	500	40
1.4362	2304	400	600	25
1.4462	2205	450	655	25

APLICACIONES

- Donde el AISI 316L no alcanza el nivel de resistencia a la corrosión necesario.
- Bajo el mar.
- Industria del papel y pasta papelera.
- Almacenamiento y distribución de productos químicos.
- Industria minera.
- Estructuras.
- Desalinizadoras.
- Plataformas petrolíferas.
- Intercambiadores de calor.

SOLDADURA

- Buena soldabilidad (excepto oxy-fuel).
- Menor sensibilidad a las grietas a altas temperaturas debido a su estructura dúplex.
- Recomendación EN 1.4462.

NORMAS:

XP A35-014	UNE 36067	BS 6744	ASTM A955	TC 104WI EC104031:2016
------------	-----------	---------	-----------	------------------------



condition or guarantee, either explicit or implicit, is given by ACERINOX in regard to the accuracy or integrity of this data sheet. ACERINOX will not be held responsible for any direct information, indirect or consequent loss, damage or injury suffered by any person, caused as a result of trusting in any declaration or omission in this data sheet, and any other responsibility is expressly denied. ACERINOX will not be held responsible for breakdowns, malfunctions, or errors, due to a defective design, material or use of the steel grade, either based on the information within this document or not, and will not be, under any circumstance, responsible for any damage, whether direct or indirect, particularly the latter, including, but not limited to damages or loss of earnings.



Rebarino

- Solución de larga durabilidad frente al riesgo de corrosión por carbonatación o en presencia de cloruros para las infraestructuras de hormigón armado.
- Menor coste total durante los más de 100 años de vida útil, que actualmente se exigen a infraestructuras públicas en distintos países, teniendo en cuenta el ahorro por ausencia de operaciones de mantenimiento debidas a daños de corrosión.
- Su utilización resulta asimismo competitiva en la rehabilitación de infraestructuras de hormigón ya dañadas por corrosión, tanto públicas como privadas, en las que se sustituyen por corrugado inoxidable las armaduras que presentan corrosión. El coste más alto del corrugado inoxidable queda prácticamente compensado por el ahorro en operaciones de limpieza, con el mayor picado necesario del hormigón para ello, inhibidores de corrosión y mortero de reparación. El sobrecoste final resultante de la reparación con inoxidable será reducido y quedará sobradamente amortizado en una siguiente operación de mantenimiento, que evitaría su utilización.
- La resistencia a la corrosión inherente del inoxidable puede permitir en algunos casos, sujeto a las normas locales vigentes de construcción, la reducción del espesor de recubrimiento, y un mayor ancho de fisura en ciertos entornos de exposición agresivos.
- Su superior ductilidad y capacidad de disipación de energía frente al acero al carbono es considerada ventajosa para su utilización en entornos con riesgo de carga sísmica.

Más información:

www.cedinox.es

► [Publicaciones online](#) ► [categoría corrugado](#)

► [Publicaciones online](#) ► [categoría rehabilitación](#)

► [Actividades](#) ► [Envía tu consulta técnica](#)

Ventas:

Lotes de stock:

www.grupinox.com

Proyectos/Plazos más largos en programas producción:

www.acerinox.com ► [Contacto](#)



cedi
nox

