



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Departament de Construccions Arquitectòniques
Departamento de Construcciones Arquitectónicas



NOMBRE INTERNO

FECHA

CEDINOX. INFORME DEFINITIVO REBARINOX

NOV 2019

DOCUMENTO

VERSIÓN

ASISTENCIA CIENTIFICO-TECNICA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Doc 1.v1

SITUACIÓN

LOCALIDAD

Calle Santiago de Compostela 100. 28035

MADRID

AUTOR DEL ENCARGO

EXPEDIENTE

ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL ACERO INOXIDABLE

S1531

MIGUEL SALVADOR LANDMANN ANTONIO SALMERÓN MARTÍNEZ arquitectos

SALMERON y LANDMANN Arquitectura, S.L.

C/ Ángel Lozano, 18-2º izda. 03001 Alicante Tel 965.14.09.69 email. administracion@slmn.es www.slmn.es





ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	3
1.1. Agentes	3
1.1.1. Redactor del documento.....	3
1.1.2. Autor del encargo.....	3
1.2. Información previa	3
1.2.1. Reparación Tradicional del Hormigón Armado.....	4
1.2.2. Manual de reparación con corrugado inoxidable	7
2. OBJETO.....	8
3. CONSIDERACIONES PREVIAS	8
3.1. Fundamentos sobre corrosión	8
3.2. Protección y durabilidad de las armaduras en el hormigón.....	9
3.3. Oxidación en un hormigón carbonatado	10
3.4. Oxidación en un hormigón contaminado por Cloruros	11
3.5. Vida útil de las armaduras	12
3.6. Efectos de la corrosión	13
4. METODOLOGÍA	13
5. TOMA DE DATOS	15
5.1. Descripción funcional del inmueble	15
5.2. Descripción constructiva del inmueble	16
5.3. Inspección visual	17
5.4. Reparaciones anteriores.....	18
5.5. Catas ejecutadas	18
5.6. Ensayos y mediciones realizados	19
5.6.1. Extracción para Probetas	20
5.6.2. Toma mediante técnica electroquímica.....	25
6. CARACTERIZACIÓN DE LESIONES.....	32
6.1. Grietas y desprendimientos en terrazas y escalera exterior	32
6.2. Daños puntuales en otras zonas de fachada	35



7. DIAGNÓSTICO	36
7.1. Grietas y desprendimientos en terrazas y escalera exterior	36
7.1.1. Causas Principales.....	36
7.1.2. Causas agravantes	38
7.2. Daños puntuales en otras zonas de fachada	42
7.2.1. Voladizos laterales de fachadas Norte y Sur	42
8. REPARACIÓN PREVISTA.....	43
8.1. Procesos de reparación.....	43
8.2. Condiciones de los materiales	47
8.2.1. Morteros especiales de reparación para elementos estructurales.....	47
8.2.2. Protección anticorrosiva.....	48
8.2.3. Puente de unión	48
8.2.4. Acero galvanizado en caliente por inmersión	49
8.2.5. Acero inoxidable.....	50
8.2.6. Inhibidor de corrosión	50
9. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL	51
10. METODO SIMPLIFICADO DE ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL.....	51
10.1. Exposición a la lluvia.....	51
10.2. Resistencia media del hormigón	52
10.3. Espesor de recubrimiento real	53
10.4. Contenido de cloruros en peso de hormigón	53
10.5. Velocidad de corrosión.....	55
11. REPARACIÓN CON ACERO INOXIDABLE	56
11.1. Maqueta escala real de frente de forjado	57
11.2. Procesos de reparación.....	64
11.3. Evaluación de rendimientos y cálculo de costes	64
12. CONCLUSIONES.....	68

ANEXOS

Anexo 1 EJECUCIÓN DE REGISTROS EN EDIFICIO	69
Anexo 2 MUESTRAS EN LABORATORIO	104



1. ANTECEDENTES

1.1. Agentes

1.1.1. Redactor del documento

El presente estudio fue encargado al Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Alicante en colaboración con SALMERON y LANDMANN Arquitectura SL, en cuya representación actúan D. Miguel Salvador Landmann y D. Antonio Salmerón Martínez respectivamente, mediante Contrato de Asesoramiento y Asistencia Científico-Técnica firmado el 22 de Junio de 2017, con referencia CEDINOX1-17T.

1.1.2. Autor del encargo

Se redacta el presente documento por encargo de CEDINOX (ASOCIACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DEL ACERO INOXIDABLE) con C.I.F. G-58118399 y domicilio a efectos de notificaciones en Av. Santiago de Compostela nº100, 28035 Madrid en cuya representación actúa D. Daniel Azpitarte Zemp con DNI 07473890V y D. José Carlos Valencia Díaz con DNI 01480538-M en calidad de apoderados.

1.2. Información previa

El presente Estudio se redacta como parte documental de apoyo científico-técnico para la elaboración de un Manual de utilización del acero corrugado inoxidable como sistema de reparación alternativo a la reparación tradicional del hormigón.

Para el desarrollo del mismo se ha tenido a disposición la situación de un caso real de reparación de un edificio de uso residencial concreto en primera línea de playa, con problemas de corrosión avanzada en las armaduras de los elementos de hormigón estructural, de pilares, frentes de forjado, vigas, zancas de escalera exteriores, etc...



1.2.1. Reparación Tradicional del Hormigón Armado

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

- Pilares
- Pantallas
- Vigas
- Viguetas
- Forjados reticulares
- Frentes de forjado
- Etc...

En este estudio entraremos al análisis y evaluación de los daños existentes en 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.



Fig. 1 Picado de Frente de forjado

- 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. 2 Picado hasta dejar espacio entre hormigón y armadura

- 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 oxidación hasta grado de limpieza Sa ½ (según norma ISO 8005-4). Cabe destacar 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.



Fig. 3 Grado de afección de armadura descubierta



- 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.



Fig. 4 Protección de armadura con pintura anticorrosión

- 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.



Fig. 5 Reconstrucción de volúmenes con mortero de reparación

A lo largo de este proceso de reparación tradicional de un elemento de hormigón, nos encontramos con numerosas variables que dificultan un control exhaustivo la reparación.

1.2.2. Manual de reparación con corrugado inoxidable

Es muy habitual encontrar fallos en zonas ya reparadas. La reparación tradicional conlleva muchos pasos susceptibles de errores durante la ejecución que comprometen en sí mismos la durabilidad de los pasos siguientes.

En el presente estudio se desarrollarán los aspectos técnicos desde la prospección hasta la puesta en obra de la sustitución de armaduras afectadas por oxidación por otras nuevas de barras de acero corrugado inoxidable, de modo que pueda ser evaluado económicamente con la reparación tradicional y así poder cuantificar si el sobre coste es proporcionado a las garantías que se consiguen, y además si desde el punto de vista de los futuros costes de mantenimiento, es preceptiva su recomendación.



2. OBJETO

El objeto del presente Estudio es la realización del asesoramiento y asistencia científico-técnica para la elaboración de Documentación Técnica adecuada para la prescripción del acero corrugado inoxidable en obras de Reparación de hormigón, de modo que se disponga de un conjunto de herramientas de alcance técnico que permitan al prescriptor incorporar en los proyectos de reparación el uso del corrugado inoxidable frente o en combinación con otros sistemas de reparación y protección.

Se pretende facilitar al prescriptor herramientas que le permitan conocer los siguientes aspectos:

- a) Evaluación del estado de corrosión
- b) Cálculo de vida útil
- c) Cálculo de costes de mantenimiento
- d) Durabilidad y retorno de inversión

Con este Estudio se persigue desarrollar la documentación científico-técnica necesaria que permita definir un procedimiento para la prospección de una estructura de hormigón armado afectada por oxidación, como trabajo de apoyo para la redacción del Manual de Reparación de hormigón armado con corrugado inoxidable.

3. CONSIDERACIONES PREVIAS

Previo al análisis de un caso real, como es objeto en el presente Estudio, es conveniente hacer una serie de aclaraciones de carácter técnico, relacionadas con algunas de las lesiones que afectan al inmueble y las circunstancias que las han originado.

Con ello se pretenden aclarar los conceptos necesarios para una mejor comprensión del diagnóstico posterior; todo ello sin tener que recurrir sistemáticamente a paréntesis explicativos que muchas veces pecan de incompletos al no querer ser reiterativos y que dificultan seguir el hilo del razonamiento.

Estas aclaraciones se refieren a los temas relacionados con la oxidación, y a la importancia de esta en la vida útil de los elementos de hormigón.

3.1. Fundamentos sobre corrosión

A continuación pasamos a explicar brevemente el proceso natural por el cual los metales se oxidan con el fin de tener claros las condiciones requeridas para que este fenómeno se produzca.

Los metales se encuentran, en general, en la naturaleza formando compuestos con otros elementos en forma de óxidos, sulfuros, etc. Estos compuestos se someten a varios procesos de reducción en altos hornos para extraer el hierro, que mediante otros procesos de refinado dan lugar el acero que usamos en construcción.

El proceso por el cual el metal obtenido tiende a volver a su estado natural se conoce como



oxidación y provoca el deterioro paulatino del metal.

La corrosión se define como el deterioro de un material metálico como resultado de las reacciones químicas de oxidación con el medio ambiente (aire–tierra–agua). Este fenómeno se produce por la tendencia que tienen todos los materiales de ser solo estables en su menor nivel de energía, la que tienen en su estado natural, por esto cuanto más energía se necesite para obtener un metal, con mayor facilidad se producirá su corrosión si se dan los medios necesarios.

La corrosión metálica tiene lugar en medio húmedo, y se trata de un fenómeno de carácter electroquímico. Sobre la superficie del metal, en presencia de humedad, se generan dos zonas, de las cuales donde se produzca la oxidación, actuará de ánodo, liberando electrones, que emigran a través del metal hacia otro lugar donde reaccionan a base de producir una reducción de alguna sustancia existente en el electrolito. Esta sustancia serán los iones hidrógeno en medios ácidos y el oxígeno disuelto en agua en medios alcalinos y neutros.

El proceso de corrosión supone pues la generación de una pila electroquímica, a través del metal y a través del electrolito entre el ánodo y el cátodo, formando un circuito cerrado. Si el circuito se interrumpe en alguno de sus puntos, la pila no puede funcionar y la corrosión se detiene.

Es necesario resaltar que no sólo hay que considerar si un metal dado se corroe o no, sino también la velocidad a la que lo hace, ya que la corrosión puede proceder tan lentamente que a efectos de vida útil, sea despreciable.

3.2. Protección y durabilidad de las armaduras en el hormigón

El hormigón armado, además de aportar unas prestaciones mecánicas muy amplias, ha demostrado poseer una durabilidad adecuada para la mayoría de los usos a los que se le destina. Esta durabilidad del hormigón armado es el resultado natural de la acción protectora, de doble naturaleza que el hormigón ejerce sobre el acero:

- por una parte el recubrimiento del hormigón supone una barrera física
- y por otra, la elevada alcalinidad del hormigón desarrolla sobre el acero una capa pasivante que lo mantiene inalterado por tiempo indefinido.

El hormigón por su composición, es un material compacto y denso, pero con una estructura porosa. La red de poros es un entramado de capilares, no siempre comunicados entre sí, pero que permite que el hormigón presente una cierta permeabilidad a líquidos y gases. Así, aunque el recubrimiento de las armaduras supone una barrera física, ésta es permeable en cierta medida y permite el acceso de elementos agresivos hasta el acero.

La alcalinidad del hormigón es debida principalmente al hidróxido cálcico y a los álcalis, de manera que estas sustancias sitúan el pH de la fase acuosa contenida en los poros en valores entre 12,6 y 14, es decir en el extremo más alcalino de la escala de pH. A estos valores de pH y en presencia de una cierta cantidad de oxígeno, el acero de las armaduras se encuentra pasivado, es decir,



recubierto de una capa de óxidos transparentes, compacta y continua que lo mantiene protegido por períodos indefinidos, aún en presencia de humedades elevadas en el hormigón.

Esencialmente son dos las causas que pueden dar lugar a la destrucción de la capa pasivante del acero dejándolo desprotegido:

- La disminución de la alcalinidad de hormigón por reacción con sustancias ácidas del medio
- La presencia de una cantidad suficiente de cloruros en contacto con la armadura.

3.3. Oxidación en un hormigón carbonatado

Como se ha comentado anteriormente, el hormigón es un medio altamente alcalino, con rango de pH entre 12,6 y 14, y por ello protector de las armaduras contra la corrosión. Cuando esta propiedad se ve alterada y se alcanzan valores de pH del hormigón por debajo de 9, la capa de óxido pasivo existente sobre la superficie del acero pierde su estabilidad y las armaduras de acero quedan desprotegidas.

La carbonatación del hormigón es la pérdida de esa alcalinidad debido a la entrada de dióxido de carbono, CO₂, a través de la red de capilares y poros que, reaccionando con las sustancias alcalinas del cemento, transforma los hidróxidos en carbonatos reduciendo así el pH del hormigón.

El frente de carbonatación avanza desde el exterior de la pieza y cuando alcanza la armadura, la película de pasivación que protege el acero se desestabiliza y pierde su función protectora de forma generalizada, es por ello que cuando se produce la oxidación en un hormigón carbonatado ésta se presenta de manera uniforme.

Una vez desaparece la protección, se deja la puerta abierta para que, en presencia de humedad prolongada, se produzcan las reacciones de oxidación. Cabe destacar que la corrosión es una cualidad natural de los metales, pero es función del medio en el que se encuentre, de su contenido de humedad y su resistividad, lo que determina la velocidad de corrosión, y por tanto la cantidad, entidad y alcance del proceso.

Un dato importante a la hora de evaluar los efectos de la carbonatación en una pieza de hormigón armado, es la velocidad a la que avanza la carbonatación. Esta depende principalmente de

- la concentración de CO₂ en el ambiente,
- del contenido de humedad del hormigón y
- de la porosidad del hormigón.

Los hormigones con alta porosidad facilitan la entrada de agua y CO₂ por lo que este factor es determinante en la velocidad de avance de la carbonatación. De manera que en un ambiente agresivo costero, en condiciones de humedad importantes, si el hormigón es suficientemente poroso, el avance del frente de carbonatación es considerablemente rápido.

La reacción de carbonatación se acelera cuando la humedad relativa en el hormigón se encuentra entre el 50% y el 70%, a humedades menores no hay suficiente agua para que se disuelvan



cantidades significativas de hidróxido de calcio, y por encima del 70% los poros se bloquean progresivamente con agua paralizándose el proceso.

La alcalinidad de hormigón se puede averiguar mediante la prueba de la fenolftaleína que es un producto que reacciona cuando encuentra un medio alcalino, tiñendo la superficie de un color fucsia cuando el hormigón no está carbonatado. En cambio cuando el hormigón ha perdido su alcalinidad por carbonatación, la fenolftaleína no es capaz de teñir de color el hormigón

Una vez expuesto el proceso de carbonatación se puede concluir que cuanto más poroso es el hormigón que envuelve el acero y mayor es la concentración de CO₂, la velocidad de avance de la carbonatación se acelera.

3.4. Oxidación en un hormigón contaminado por Cloruros

Los cloruros se pueden encontrar dentro del hormigón de dos formas: cloruros libres, es decir en el agua contenida en los poros, que son los que pueden ser agresivos para las armaduras, y cloruros combinados, formando parte de la masa del hormigón, fundamentalmente como cloroaluminatos. La suma de libres y combinados se suele llamar cloruros totales.

En ambientes marinos es habitual encontrar un contenido de cloruros totales elevado en las capas superficiales del hormigón, debido a que los cloruros están presentes de manera intensa en la niebla salina. Si los elementos de hormigón no están bien soleados y ventilados, la humedad salina puede permanecer embebida el tiempo suficiente para penetrar y alcanzar la armadura a través de la red de poros, y generar así la corrosión localizada de la misma.

Los iones cloruro tienen la propiedad de destruir de forma puntual la capa pasivante de las armaduras cuando se encuentran en contacto con ellas, lo que provoca una corrosión conocida con el nombre de "corrosión por picaduras". Estos puntos son el ánodo de la pila de corrosión, por lo que progresan en profundidad, pudiendo llegar a producir la rotura puntual de las barras.

El tiempo que tardan los cloruros en llegar hasta la armadura o "periodo de iniciación" en el modelo de Tuutti, dependerá principalmente de:

- la concentración de cloruros en el medio exterior
- la naturaleza del catión que acompaña al cloruro
- la calidad del hormigón, tipo de cemento, proporción de aluminato tricálcico, relación a/c
- temperatura
- ancho y cuantía de las fisuras

Las normativas referentes a hormigón estructural, que no es el caso que nos ocupa pero sirve como referencia, limitan el contenido de cloruros con la intención de establecer un límite seguro por debajo del cual no exista riesgo de despasivación del acero. Un valor medio generalmente aceptado es el de 0,4% en relación al peso de cemento ó 0,05 – 0,1% en relación al peso de hormigón, en contenido de cloruros en contacto con la armadura. Cuando evaluamos el estado de



durabilidad por contenido de cloruros, de cara a establecer una estimación de la vida útil, el valor crítico recomendado puede estar sobre el 0,6% en relación al peso de cemento.

3.5. Vida útil de las armaduras

Son diversas las definiciones de lo que se entiende por vida útil. Una de ellas sería que es aquella durante la cual el elemento considerado conserva todas las características mínimas de funcionalidad, resistencia y aspectos externos exigibles.

Relacionado con el posible ataque por corrosión de las armaduras, Tuutti propuso un modelo simplificado, representando en abscisas el tiempo y en ordenadas el grado de deterioro. Se define un periodo de iniciación que es el tiempo que tarda el agresivo en atravesar el recubrimiento, alcanzar la armadura y provocar su despasivación, y un periodo de propagación que comprende una acumulación progresiva del deterioro, hasta que se alcanza un nivel inaceptable del mismo.

La presencia de cloruros y la disminución de la alcalinidad son los factores que actúan durante el período de iniciación (factores desencadenantes). Una vez que alcanzan la armadura, los factores que inciden en que el período de propagación sea más o menos rápido son el contenido de humedad y oxígeno (factores acelerantes) que rodean a la armadura.

Factores desencadenantes

En el caso que nos ocupa en el presente dictamen, hemos de tener presente que la desprotección del acero se puede producir por dos causas de manera independiente o simultánea:

- Contaminación por Cloruros
- Reducción del pH por efecto de la carbonatación del hormigón

Factores acelerantes

Una vez iniciada la corrosión y despasivado el acero la velocidad de deterioro sólo es significativa, en términos de vida útil, para una oferta suficiente de oxígeno y por encima de un mínimo de humedad. Los factores que fijan el proceso de corrosión de las armaduras son:

- El contenido de humedad, que a su vez fija la disponibilidad de oxígeno en las cercanías de la armadura
- La proporción de cloruros,
- La temperatura

El contenido de humedad es el factor que más influye en la velocidad de corrosión. Cuando los poros contienen muy poca humedad, entonces la resistividad es muy elevada y el proceso de corrosión se encuentra muy dificultado. En este caso la velocidad de corrosión también será baja, aunque el hormigón se encuentre carbonatado y contaminado de cloruros.

Las velocidades de corrosión máximas se dan en hormigones con contenidos en humedad altos,



pero sin saturar los poros. En este caso el oxígeno llega libremente hasta la armadura y la resistividad es lo suficientemente baja para permitir elevadas velocidades de corrosión.

3.6. Efectos de la corrosión

Los efectos de la corrosión se manifiestan en tres vertientes:

- a) sobre el acero con una pérdida de material,
- b) sobre el hormigón, cuando éste se fisura y
- c) sobre la adherencia acero/hormigón.

Los productos derivados de la corrosión de las armaduras son más voluminosos que el acero original, entre 2 y 6 veces su volumen, lo que se traduce en la aparición de fuerzas expansivas que someten al hormigón circundante a tensiones de tracción. Con frecuencia, se acaba produciendo una fisuración del recubrimiento que discurre longitudinalmente paralela a las armaduras corroídas. Si el proceso no es detenido puede saltar todo el recubrimiento, dejando al descubierto la armadura.

Sin embargo no siempre se produce fisuración cuando las armaduras se corroen, si el hormigón está muy húmedo, los óxidos se generan a una velocidad constante y pueden emigrar a través de la red de poros y aparecer en la superficie en forma de manchas, que incluso a veces no coinciden con la situación de las armaduras, ya que si hay circulación de agua (de la lluvia por ejemplo) aparecen en donde emerge la humedad.

4. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de este estudio se organiza desde los siguientes puntos de análisis y planteamientos de trabajo, con independencia de que el propio transcurso del trabajo requiera ajustes, modificaciones o incluso reconsideración de planteamientos específicos.

Como actividades previas al inicio del presente trabajo, se parte de una inspección visual previa del edificio objeto de reparación que sirve de banco de pruebas en esta investigación.

Los trabajos previos de inspección han sido desarrollados desde el despacho de arquitectura de Salmerón y Landmann, que además conforman la Dirección Facultativa de las obras de reparación previstas. Dicha inspección se ha desarrollado desde el entorno del edificio y con acceso desde el interior de varias de las viviendas. Como consecuencia de ello se ha podido estimar los daños existentes en los elementos estructurales del edificio y plantear así su reparación.

El inicio del desarrollo del presente estudio coincide básicamente con el inicio de las obras previstas, por lo que se ha tenido a disposición el andamio en cada una de las fachadas para poder así acometer una inspección en profundidad y cotejarla con las efectuadas en el momento inicial de la prospección.

Cabe destacar que el presente trabajo se apoya en la situación de una obra real, conformando un estudio



en paralelo a la obra pero sin condicionar ni entorpecer el trascurso normal y la programación de la misma. Para la inspección de las fachadas, concretamente los frentes de forjado afectados por corrosión de armaduras, se han planificado varios equipos de trabajo que pudieran aprovechar los tiempos muertos de los medios auxiliares. Dichos equipos siempre han sido liderados por un arquitecto, un químico, y un estudiante en fase de prácticas.

Las inspecciones desde el andamio han sido enfocadas de modo que se pudieran disponer de los síntomas existentes en los revestimientos de todas las plantas del edificio. En este sentido se han podido constatar zonas sanas, zonas con fisuración, zonas con agrietamientos, y zonas con desprendimientos iniciados.

Entre los objetivos específicos de esta inspección, se encuentran el documentado y grafiado de las lesiones existentes para poder determinar un patrón o patrones de comportamiento, detectando zonas más afectadas que otras, de modo que se puedan plantear las siguientes fases de inspección y ejecución de ensayos.

Con estos primeros datos, en trabajo de gabinete se planifican las catas necesarias y la extracción de testigos para el análisis de contaminación por ión cloruro, así como el perfil de carbonatación.

Con la inspección visual de las catas realizadas, en relación al estado de corrosión que se encuentre en las armaduras, se establecen los puntos de control en los que se realizarán ensayos de contenido de cloruros, profundidad de carbonatación, velocidad de corrosión, resistividad del hormigón, y potencial de corrosión; de modo que establezcan el punto de partida para posteriores reconocimientos del comportamiento de cada tipo de reparación.

Con esta planificación, se diseñan y ejecutan registros integrados en las fachadas, con conexiones eléctricas preparadas para poder efectuar mediciones de parámetros de corrosión a lo largo del tiempo, para lo cual se distribuyen en las fachadas más expuestas, distintas soluciones de reparación a comparar:

- Reparación tradicional
- Sustitución de la barra afectada por otra de acero galvanizado
- Sustitución de la barra afectada por otra de acero inoxidable tipo dúplex 2304

Con independencia del control de los parámetros de corrosión de las distintas alternativas de reparación, también es objeto de este trabajo el permitir describir los aspectos que son cuantificables desde el punto de vista económico, y en función de las ventajas y prestaciones de cada sistema, la optimización de los recursos que se precisen.

De modo que se puedan controlar con mayor eficacia los aspectos propios de cuantificación económica se fabrican 2 prototipos de hormigón armado en el laboratorio de la Universidad de Alicante, simulando frentes de forjado de dimensiones 300cm de largo por 60 cm de ancho y 30cm de canto.

Con estos prototipos disponemos de 4 frentes de forjado de 3m cada uno para poder efectuar los distintos sistemas de reparación en todas sus fases, midiendo los recursos destinados de mano de obra, materiales, herramientas, etc...



Si bien este sistema no es válido por sí solo para establecer un precio de mercado para reparar frentes de forjado, sí que es válido para establecer con suficiente precisión las desviaciones en % entre las distintas alternativas de reparación, que sin duda nos permitirá evaluar la idoneidad del gasto que supone cada una frente a la reparación tradicional.

5. TOMA DE DATOS

Para poder interpretar adecuadamente los datos que se deriven del presente estudio, es importante considerar la situación concreta en la que se encuentra el edificio en cuestión que sirve de apoyo a la investigación.

5.1. Descripción funcional del inmueble

Se trata de un bloque residencial de viviendas denominado "Libra I" ubicado en segunda línea de la playa de San Juan, perteneciente al municipio de Alicante. La antigüedad del inmueble, según la documentación catastral consultada es de unos 33 años.

El conjunto está compuesto por un edificio aislado destinado a viviendas, con su fachada principal que mira al mar orientada al Este, fachada trasera donde se localiza la escalera común de acceso a las diversas plantas orientada al Oeste, y las fachadas laterales al Sur y al Norte.

El edificio posee planta baja semidiáfana, cuyos únicos cuerpos cerrados corresponden al portal de acceso y a algunos cuartos destinados a mantenimiento. Por encima se desarrollan 14 plantas destinadas a uso residencial, en su mayoría de carácter vacacional, y una última planta ático también destinada a vivienda. El número de viviendas por planta es de dos y la comunicación vertical se realiza a través de dos ascensores enfrentados y una escalera común abierta al exterior situada en la fachada Oeste.

El acceso a la urbanización, tanto rodado como peatonal, se realiza desde la Calle Algas Marinas, si bien, también posee un acceso peatonal que comunica directamente la urbanización con la playa.



Fig. 6 Situación y emplazamiento del Edificio Torre Libra I

La parcela en la que se enclava la urbanización posee forma de L y cuando accedemos por su entrada principal nos encontramos una zona con pavimento asfáltico destinada en parte a aparcamiento en superficie con tres zonas cubiertas por una marquesina metálica como protección solar para los vehículos de los vecinos. Aparte observamos zonas ajardinadas, viales peatonales y zona de baño y piscina pavimentados y pintados en su totalidad con un revestimiento elástico de color rojo tipo clorocaucho. La parte Noreste de la parcela la ocupan viales peatonales y zona ajardinada que dan acceso directo a la playa.

5.2. Descripción constructiva del inmueble

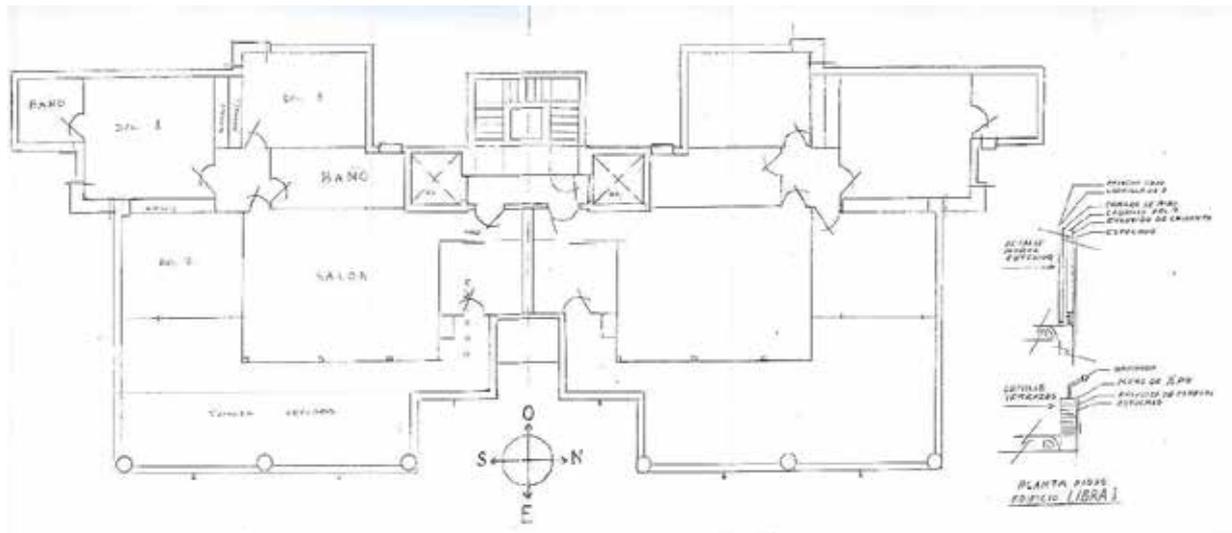
Según la documentación catastral consultada, la construcción del edificio data de 1982, así pues posee las características constructivas habituales en los inmuebles con esa misma tipología y época.

La estructura del inmueble es de hormigón armado, con pilares apantallados situados en direcciones perpendiculares, lo que induce a pensar que los forjados son de tipo reticular o bidireccional con casetones perdidos a base de bovedilla cerámica.

Según un plano de planta del edificio aportado por la propiedad, el cerramiento de fachada se ha ejecutado mediante dos hojas, una interior con ladrillo del 3 y otra exterior del 9 con cámara de aire intermedia. La fachada principal orientada al Este y al mar presenta dos cuerpos que sobresalen del plano general y que están ocupados en su mayor parte por las terrazas de cada una de las



viviendas, aunque la gran mayoría de ellas se encuentran cerradas mediante carpintería metálica y vidrio. En esta zona los antepechos están realizados con un murete de ladrillo cerámico de medio pie terminado por su parte exterior con un enfoscado de mortero de cemento de espesor muy variable, como posteriormente veremos, y un pintura pétreo con acabado rayado color crema de unos 5 mm de espesor.



En la fachada Oeste opuesta al mar, la escalera común de acceso a las viviendas se ha realizado mediante losa de hormigón armado y antepechos de ladrillo cerámico del 9 revestidos de forma idéntica a los de la fachada principal. El pavimento de la escalera se ha resuelto mediante baldosas y peldaños de terrazo tomados con mortero de cemento sobre una capa de gravín.

5.3. Inspección visual

Con independencia de la inspección inicial realizada por el despacho de Salmerón y Landmann, se ha procedido a un total de 16 visitas de inspección aprovechando la puesta a disposición del andamio del Contratista Principal de la obra AKRA REHABILITACIÓN.

Dichas visitas corresponden a dos fases bien diferenciadas de las labores de inspección. Una primera fase en la que se pretende caracterizar las afecciones de oxidación de los frentes de forjado de las fachadas del edificio de modo que se disponga de información suficiente para evaluar las situaciones que están propiciando la existencia de corrientes de corrosión prolongadas.

La segunda fase de la inspección se desarrolla una vez planificados los puntos de control que se van a evaluar a lo largo de la vida del edificio reparado. En estos puntos se determina el estado de corrosión de las armaduras, así como estimar el ámbito de afección característico.



5.4. Reparaciones anteriores

Según fuentes de la propiedad, a finales de 2012 se llevaron a cabo algunas reparaciones en el edificio. Estas actuaciones consistieron en la reparación de algunos pilares de planta baja que estaban afectados por corrosión de sus armaduras y la reparación del frente de forjado de la primera planta situado en el cuerpo Sur de la fachada principal. Es más que probable que ese frente de forjado estuviera afectado por agrietamientos y desprendimientos del revestimiento como consecuencia de la corrosión de las armaduras en esa zona. A día de hoy se pueden observar algunas fisuras en esta zona reparada.

5.5. Catas ejecutadas

Con la intención de ampliar la información sobre el estado de los elementos que configuran las fachadas y la escalera exterior, así como los puntos de control determinados se han realizado un total de 24 catas, distribuidos en las distintas orientaciones y alturas del inmueble.

CATA TIPO EN FRENTE DE FORJADO DE LA FACHADA PRINCIPAL

Con la ayuda de una maceta y un cincel, y posteriormente con un martillo eléctrico, se fue retirando el revestimiento circundante y descubriendo las armaduras situadas en la parte inferior del frente de forjado. Para conocer de forma exacta la configuración de este elemento constructivo se retiró el revestimiento tanto del frente del antepecho como de la cara inferior del forjado.

Se pudo comprobar que el forjado tiene un canto de unos 22 cm y sobre éste apoya una fábrica de ladrillo cerámico que es la que conforma los antepechos de las terrazas. Sobre el ladrillo y el frente del forjado existe un enfoscado de regularización que sirve también como soporte para la pintura pétreo rayada de acabado de la fachada. El enfoscado de mortero de cemento está aplicado en dos capas, una directa sobre el ladrillo y otra a continuación a modo de recrido, presentando un color gris más oscuro esta última capa que la primera. El espesor total del enfoscado ronda los 4-5 cm. Sobre este enfoscado se aplicó la capa de acabado de unos 5 mm de espesor mediante una pintura pétreo. Esta pintura llevaba incluido un árido de cierto grueso que se aplicaba apretando y arrastrando la masa para que dejara esas marcas características en forma de rayas o surcos que podemos observar. Sin embargo, en este caso parece que se ha aplicado además una capa final de pintura, posiblemente producto de un repintado posterior para adecentar las fachadas.

En la arista inferior del antepecho se descubrió un redondo de acero longitudinal al que acometen otros perpendiculares de menor diámetro, armaduras que muestran síntomas de corrosión, aunque todavía se llega a distinguir la corruga. El recubrimiento de hormigón del armado es de 1-2 cm, mientras que el espesor del enfoscado en el techo es de aproximadamente 1'5 cm más 5 mm de la capa de pintura pétreo de acabado.

Finalizada la cata se realizó un ensayo de carbonatación pulverizando con una disolución de fenoltaleína sobre el hormigón de la zona. A modo de recordatorio y como se detalla en el apartado



de consideraciones previas, el hormigón reacciona a esta sustancia tiñéndose de color fucsia cuando posee una alta alcalinidad, es decir, cuando no presenta carbonatación.

En este caso, se comprobó que el hormigón apenas se tiñe de color, a excepción de tímidas manchas que aparecieron alrededor de la barra inferior de armado. En otras zonas dañadas de planta baja también se realizó el mismo ensayo pero no se tiñó el hormigón en ningún caso. Es decir, el hormigón presenta claros síntomas de carbonatación hasta pasar la profundidad de las armaduras.

5.6. Ensayos y mediciones realizados

En este estudio preliminar se realizó una evaluación del estado de corrosión de las armaduras de acero de los frentes de forjado, utilizando diversas técnicas electroquímicas no destructivas: medida del potencial de corrosión del acero (E_{corr}), utilizando un electrodo de cobre-sulfato de cobre saturado ($Cu/CuSO_4$), y la medida de la velocidad de corrosión (I_{corr}), realizada esta última mediante la técnica de la resistencia de polarización con confinamiento de las líneas de corriente, mediante el corrosímetro portátil GECOR8. También se determinó la resistividad del hormigón (ρ) utilizando el equipo GECOR8.

Los puntos de control seleccionados para las mediciones del comportamiento en el tiempo de los parámetros de corrosión son los siguientes:



Para poder realizar y extraer los datos del informe preliminar, se utilizaron varios métodos, los cuales



se expondrán de manera gráfica a continuación.

5.6.1. Extracción para Probetas

Para la extracción de las probetas se ha utilizado un taladro percusor con corona circular de 5cm de diámetro con cabeza en dientes de sierra adiamantados.



Taladro en frente de forjado sin revestimiento



Introducción de broca especial



En algunas zonas se ha tenido que repetir la extracción por encontrar hormigón demasiado disgregado.



Introducción de broca especial



Introducción de broca especial



Para conseguir la estabilidad de la corona de extracción se ha dispuesto de una broca guía que permite inmovilizar la corona en la fase inicial de perforación para conseguir una probeta lo más completa posible.



Introducción de broca especial



Introducción de broca especial



En la extracción de los testigos de hormigón se han detectado diferencias en la calidad y consistencia del mismo, encontrando zonas con una gran resistencia a la perforación y otras sin embargo con un alto grado de disgregación. Accediendo al histórico del edificio, nos han podido informar que durante la obra, como consecuencia de problemas económicos, intervinieron dos empresas en la fase de ejecución de la estructura.



Retirada de broca y extracción de muestra





Muestra para probeta

Se ha procedido al documentado de todas las extracciones realizadas por el responsable de cada equipo de trabajo.



Muestra para probeta



Dimensiones de muestra



En el momento de la extracción se clasificaban las probetas según fachada, orientación, altura, etc, acompañados de los parámetros de corrosión. Cada testigo se guardaba en bolsas de plástico selladas para evitar en la medida de lo posible cualquier tipo de contaminación temprana.



Dimensiones de muestra

5.6.2. Toma mediante técnica electroquímica

Para las mediciones de los parámetros de corrosión, como ya se comentaba en apartados anteriores, se ha utilizado un electrodo de cobre-sulfato de cobre saturado (Cu/CuSO_4), y la medida de la velocidad de corrosión (I_{corr}), realizada esta última mediante la técnica de la resistencia de polarización con confinamiento de las líneas de corriente, mediante el corrosímetro portátil GECOR8. También se determinó la resistividad del hormigón (ρ) utilizando el equipo GECOR8



Medidor de corrosión



Sensor para medición de corrosión



Frente de forjado aparentemente afectado

Detectada una grieta como síntoma de la existencia de corrosión, se prepara la zona para disponer de un área de unos 30x30cm aproximadamente para colocar el sensor en la superficie de hormigón.

Posteriormente se pica una zona para poder disponer de una conexión eléctrica con la barra que se encuentra en proceso de corrosión.





Picado hasta descubrir armadura



Picado hasta descubrir armadura

Para las fases de picado y preparación se precisó ayuda de operarios de la obra facilitados por el contratista principal.



Picado hasta descubrir armadura



Lijado de armadura para llegar a sustrato sano

Una vez descubierta una zona de la barra afectada por oxidación, se procede a la limpieza de los restos de óxido que puedan dificultar las lecturas de paso de corriente que genera el instrumento de medida GECOR 8.



Zona lijada



Colocación de pinza para paso de corriente

De modo que se pueda garantizar el contacto eléctrico, y minimizar los riesgos de falseo de resultados, el responsable químico de cada equipo complementaba la conexión mediante piezas especiales imantadas.



Aplicación de sensor tras humectación



Presión de sensor sobre frente de forjado

Una vez garantizada la conexión eléctrica, se procedía a la medición de los parámetros de corrosión, mediante el sensor en el hormigón y la pinza eléctrica en la barra, de modo que se consiguiera cerrar un circuito eléctrico que devolviera lecturas coherentes.

Para conseguir el cierre del circuito eléctrico inducido es necesario la humectación previa de la superficie de hormigón que propicie un medio conductor.



Toma de resultado



Las lecturas resultantes de la aplicación directa en obra, deben ser interpretadas por personal especializado, y siempre en coherencia con los tres parámetros de corriente, a saber, Intensidad de corrosión, resistividad, y potencial de corrosión.

Si durante el cálculo de las lecturas de corrosión, se encuentran como resultado parámetros no coherentes, debe volver a reiniciarse el proceso preparatorio, incluso modificando la zona de medida unos 50cm.

6. CARACTERIZACIÓN DE LESIONES

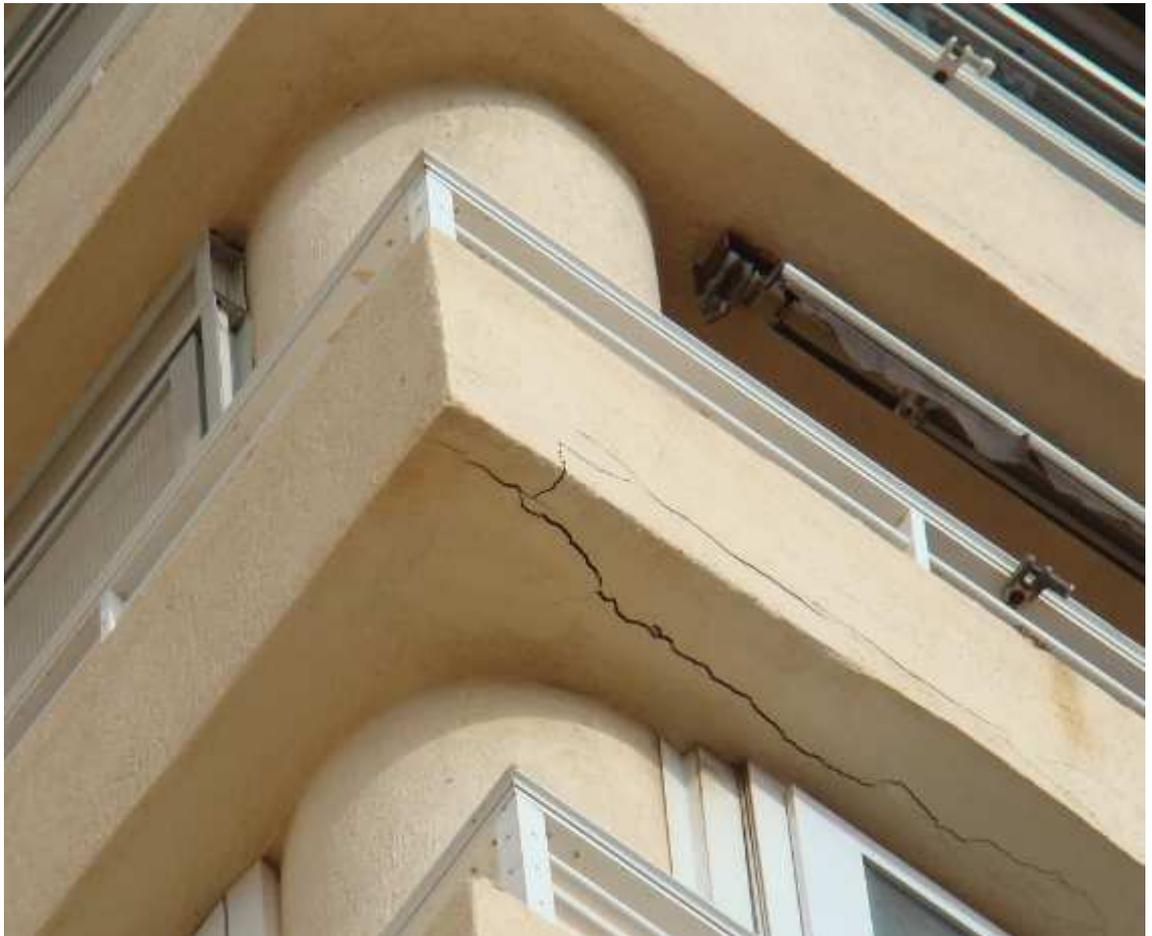
Tras las visitas al inmueble y la inspección ocular llevada a cabo se describen a continuación las lesiones detectadas en diferentes zonas del edificio que afectan a varios de sus elementos constructivos.

6.1. Grietas y desprendimientos en terrazas y escalera exterior

CUERPOS DE TERRAZAS

Las lesiones más generalizadas que se han encontrado durante la inspección de las fachadas consisten en grietas y fisuras de diferente trayectoria y magnitud, así como desprendimientos del revestimiento que cubre la fachada.

La gran mayoría de grietas y desprendimientos se concentran en los dos cuerpos de terrazas que sobresalen de la fachada principal, especialmente el Noreste. A pesar de que casi todas las terrazas se encuentran actualmente cerradas mediante carpintería metálica y vidrio, se conserva la configuración original de los antepechos y de algunas barandillas de acero, pocas puesto que la mayoría se han sustituido por otras de aluminio.



Las lesiones se concentran precisamente en la arista inferior de cada uno de los antepechos, especialmente en las esquinas y bajo el pilar central de cada cuerpo, afectando especialmente al tramo de techo que queda visible entre la expresada arista y la carpintería de cada planta donde los daños se manifiestan en mayor cantidad y en magnitud, mientras que en el frente de forjado o frontal de los antepechos aparecen puntualmente.

Las grietas que se pueden observar son sensiblemente rectilíneas y paralelas a la arista inferior de los antepechos, aunque de forma puntual adquieren trazado vertical o inclinado en las esquinas o quiebros de las fachadas. La magnitud de las grietas varía desde fisuras muy finas hasta grietas que rondan el centímetro de espesor. En los casos más graves, lo que era una grieta se ha convertido en un desprendimiento del revestimiento que cubre los antepechos, dejando al descubierto el hormigón del frente del forjado y la armadura de acero en avanzado estado de



corrosión.



Extrapolando esta situación se deduce con facilidad que la gran mayoría de grietas y fisuras en fachada “marcan” la localización y disposición de armaduras de acero corroídas, o bien, la localización de los montantes de las barandillas ya que se han apreciado grietas y fisuras tanto en los frentes del antepecho como en los vierteaguas que coinciden con la zona de empotramiento de los montantes.

En una inspección próxima de las armaduras que han quedado a la vista, se aprecia que presentan una capa de óxido y cierta exfoliación de la superficie, llegándose a distinguir en casi todos los casos, o al menos en los redondos principales de mayor diámetro, el dibujo de la corruga original.

Como ya se ha comentado, en la parte frontal de los antepechos se ha detectado una presencia mucho menor de grietas y fisuras que en los techos. Para arrojar luz sobre este hecho se analizaron las zonas abiertas donde se ha desprendido el revestimiento con la realización de catas.

Se pudo comprobar que el recubrimiento de las armaduras en los techos (plano horizontal) es muy escaso y llama la atención que debajo de muchos redondos de acero que han quedado vistos se aprecian trozos de ladrillo. Sin embargo, en el frontal de los antepechos el espesor de material que se ha encontrado recubriendo los frentes de forjado presenta unos espesores mucho más grandes.



Puntualmente se ha observado la existencia de piezas cerámicas a modo de recocado del frente del forjado. Es de destacar también el color gris oscuro del enfoscado que cubre el frente del forjado y que sirve de soporte al mortero de acabado.

Por último, es importante reseñar que al realizar el ensayo de carbonatación sobre un par de zonas dañadas con armaduras a la vista, el hormigón apenas se tiñó, a excepción de la parte en la que se realizó la cata donde aparecieron tímidas manchas alrededor de la barra de acero corrugado.

ESCALERA EXTERIOR

En este elemento del edificio se repite de nuevo la misma tipología de daños. Al tratarse de una escalera, lógicamente los daños se originan en la losa de hormigón armado, y su localización se concentra también en la parte inferior de los antepechos.

Se aprecian desprendimientos y fisuración del revestimiento en varias plantas de la escalera, teniendo las grietas y fisuras un trazado similar al descrito en los anteriores apartados, es decir, sensiblemente paralelo a la arista inferior de los antepechos. Donde ha caído el revestimiento ha quedado al descubierto el armado estructural de la losa, con presencia de óxido y exfoliación del acero en diversos grados, si bien, la mayoría de redondos de acero a la vista conservan el dibujo de la corruga. Una buena parte de los desprendimientos del revestimiento coincide con zonas de la losa donde se solapan dos redondos de acero. Tal como se constató en la fachada principal, el recubrimiento de hormigón de las armaduras por la cara inferior de la losa de la escalera también es muy escaso, apenas 1 – 1'5 cm, y también se detectaron pedazos de ladrillo debajo de las armaduras.

Cabe mencionar que en la escalera no se han detectado espesores de revestimiento excesivos, rondando en todos los casos los 1-2 cm, y que al igual que en el resto del edificio, destaca el color gris oscuro del enfoscado aplicado.

Por último, se comprobó la pendiente del pavimento de la escalera y la existencia de impermeabilización. Tal y como se ya ha mencionado anteriormente, no tiene pendiente y no dispone de barrera impermeable alguna. Al verter un cubo sobre uno de los rellanos el agua no se evacuó con celeridad, de hecho la gárgola se encontraba parcialmente obstruida de restos y suciedad y no salió agua a través de la misma, filtrándose parte de ella a través de las juntas de las baldosas y descendiendo el resto escaleras abajo.

6.2. Daños puntuales en otras zonas de fachada

Al margen de los daños descritos en apartados anteriores, se han detectado puntualmente otros de menor importancia localizados en otras zonas del edificio.

VOLADIZOS LATERALES DE FACHADAS NORTE Y SUR

El estado actual de estos balcones volados es notablemente mejor que el descrito en las terrazas



de la fachada principal. Los de la fachada Sur no presentan lesiones, al menos observables a simple vista, mientras que los de la fachada Norte sí presentan alguna afección de carácter puntual.

En el voladizo de la primera planta se ha desprendido buena parte del revestimiento que cubre el frente del forjado y el techo quedando a la vista el armado de la losa con síntomas evidentes de corrosión. Donde no se ha desprendido el revestimiento observamos grietas de similares características a las descritas en la fachada principal, sensiblemente paralelas a la arista inferior del antepecho y localizadas en el frente del forjado y en el techo o cara inferior.

Por último, aunque no se trate de un elemento de hormigón (objeto principal del presente Estudio) cabe destacar que en estos voladizos la arista inferior de casi todos ellos está rematada con un perfil metálico perimetral en cada forjado, en el que se detectan algunos puntos o manchas de óxido de leve intensidad y fisuraciones en el revestimiento.

DESCONCHADOS EN FACHADA OESTE

Se ha observado un desprendimiento del revestimiento en la fachada Oeste junto a las escaleras, concretamente sobre el frente de forjado de la planta 2. Se observan dos desconchados que han dejado al descubierto el frente de forjado de hormigón y parte de la hoja exterior del cerramiento de ladrillo que conforma la fachada.

7. DIAGNÓSTICO

Una vez analizados todos los datos obtenidos es posible analizar y, en su caso, dictaminar las causas que han dado origen a la aparición de las lesiones.

7.1. Grietas y desprendimientos en terrazas y escalera exterior

El análisis de la situación nos permite establecer dos causas principales que explican la aparición y desarrollo de la gran mayoría de lesiones existentes en fachada, lesiones que se han agravado por otras causas secundarias que veremos a continuación.

7.1.1. Causas Principales

A la vista de las pruebas de carbonatación realizadas se constata que el hormigón se encuentra carbonatado. Si bien el muestreo ha sido escaso, la antigüedad del edificio, la calidad de los hormigones que se elaboraban y la exposición continua al ambiente marino, nos permite concluir con un muy bajo riesgo de error que ese fenómeno se puede considerar generalizado en las zonas superficiales de la estructura.



La profundidad de carbonatación varía sensiblemente pero es evidente es que esta profundidad ha alcanzado sin duda a las armaduras más próximas a la cara exterior de fachada. Como se ha comentado en el apartado de *consideraciones previas*, la carbonatación del hormigón provoca una bajada del pH que desprotege las armaduras expuestas, desencadenándose en presencia de humedad el proceso de corrosión del acero.

Cuando se produce la corrosión de elementos metálicos embebidos en la obra, el acero aumenta de volumen provocando empujes y tensiones sobre el material circundante, de modo que primeramente los daños se manifiestan en forma de fisuras y grietas que, con posterioridad, acaban produciendo el desprendimiento del revestimiento.



Este aumento de volumen podría estar afectando también a los montantes de las barandillas en caso de que al ser sustituidas las antiguas de acero por las nuevas de aluminio, se dejaran empotrados en los antepechos los antiguos perfiles de acero. No se ha realizado cata en estos puntos para no dañar el interior de las viviendas pero se podría estar produciendo un fenómeno de corrosión por par galvánico entre el acero y el aluminio, o bien, ser resultado de empujes sobre las barandillas e influencia del efecto vela que generan los toldos cuando sopla fuerte viento y están desplegados.



En cuanto al grado de corrosión de las armaduras en frentes de forjado y losas de escalera podemos estimarlo como avanzado. Durante la inspección visual de las mismas se apreció oxidación superficial en las zonas más protegidas y, en las zonas más afectadas, un avanzado grado de exfoliación de la barra de acero.

En resumen se puede concluir que las causas principales de los daños tienen su origen en la desprotección de las armaduras, bien por la carbonatación del hormigón, o bien en algunos casos por picaduras puntuales consecuencia de presencia elevada de Colruos.



En esta foto podemos constatar cómo, en una zona aparentemente protegida de los vientos dominantes, apenas quedan unos milímetros de hormigón sin carbonatar, y pese a ello la falta de recubrimiento ya ha propiciado el proceso de corrosión de la barra.

7.1.2. Causas agravantes

a. Recubrimiento de las armaduras

En la inspección realizada se observaron los dos casos extremos, espesores excesivos y espesores insuficientes de recubrimiento.

Por un lado, en el plano horizontal (cara inferior de forjados, techos o losa de la escalera



exterior) se comprobó la existencia de unos recubrimientos del orden de 1 cm o menos. Esta circunstancia la corrobora la manera en que se ejecutaron los forjados y losas de escalera, colocando como elemento separador entre las armaduras y el encofrado, un trozo de ladrillo cuyo espesor no suele llegar a 1 cm. Este espesor de recubrimiento resulta a todas luces insuficiente, y más si tenemos en cuenta que el edificio se encuentra en primera línea de playa, donde el ambiente marino y la presencia de iones cloruro atacan con virulencia al acero si no está convenientemente protegido. Para que nos hagamos una idea, la normativa actual exige recubrimientos de 3-4 cm como mínimo para estructuras aéreas construidas en ambientes marinos.

Por otro lado, en el plano vertical de los antepechos (frentes de forjado) el recubrimiento del acero del forjado también es escaso pero en este caso también hay que contar con el espesor del encofrado sobre el frente de forjado, capa que se aplica para recrecer y regularizar el plano vertical de la fachada.

En la fachada principal los antepechos de las terrazas están formados por una fábrica de ladrillo cerámico de medio pie (12 cm) revestida interior y exteriormente por un encofrado de mortero de cemento y una pintura pétreo. El antepecho apoya sobre el forjado de cada planta y el revestimiento de mortero (encofrado) iguala el plano de acabado de la fachada, recubriendo tanto el antepecho como el frente del forjado, siendo necesario en algunos casos un recrecido variable en este último.

En nuestro caso, algunos recrecidos de los frentes de forjado llegan a alcanzar espesores de 6 u 8 cm cuando lo aconsejable es que no superen los 1,5 cm por capa.

Así pues, cuando las armaduras se corroen y aumentan de volumen, empujan sobre ese "macizado" existente sobre el frente de forjado y rompen la adherencia entre capas, que pueden incluso no tener toda la debida como consecuencia de una ejecución en condiciones poco cuidadas. Con semejante peso, el trozo de revestimiento afectado se desprende y cae con mucha facilidad, con el consiguiente riesgo que esto puede acarrear sobre personas vehículos que circulen por la vertical.

El hecho de que el recubrimiento en los techos sea mucho menor que en el frente de los antepechos explica que aparezcan muchas más grietas en el primer caso que en el segundo. Asimismo, también explica que las grietas horizontales que aparecen en el frente del forjado no sean consecuencia directa de la corrosión de una armadura situada detrás sino producto del empuje que ejerce la corrosión de la armadura inferior sobre el bloque que reviste el frontal del antepecho.

En las esquinas y quiebros de la fachada estos empujes generan tensiones que "expulsan" la esquina hacia afuera, lo que origina algunas grietas y fisuras verticales o sensiblemente inclinadas.



b. Presencia de filtraciones y humedad confinada en escalera

A raíz de las pruebas y cata practicada en uno de los descansillos de la escalera exterior, se pudo verificar que no posee ninguna barrera impermeable que evite la filtración de agua de lluvia hacia las capas inferiores del pavimento y la losa de hormigón armado.

Durante la prueba de evacuación se comprobó que el agua no sale por la gárgola destinada a tal efecto puesto que se encontraba parcialmente obstruida por restos varios y suciedad. Las pendientes del pavimento hacia la gárgola son prácticamente nulas e incluso se podría hablar de presencia de contrapendientes, es decir, en dirección contraria al desagüe.

Además, al verter agua sobre el pavimento se constató que se filtraba a través de las juntas entre baldosas que habían perdido el rejuntado. Dado que la gárgola se encuentra situada al mismo nivel que el pavimento, toda el agua que se filtre hacia las capas inferiores queda retenida sin posibilidad de salida, humedeciendo durante largos periodos de tiempo la zona existente entre la losa y el pavimento. Esta humedad confinada acaba afectando a la losa estructural de la escalera y favorece los fenómenos de corrosión del acero.

En cualquier caso, también es cierto que no se han encontrado manchas o restos de humedad en la zona de la escalera, por lo que no se podría hablar de que la humedad sea la causa principal de la corrosión y los desprendimientos observados en la escalera. La humedad que queda retenida debajo del pavimento ha de considerarse, por tanto, un agravante de la situación.

c. Presencia de filtraciones y humedad confinada en fachada principal

Algo similar ocurre en la fachada principal. Dado que la mayoría de terrazas se han cerrado con carpintería metálica, cada vecino ha optado por solucionar el encuentro entre el antepecho y la carpintería de una manera diferente. Hay casos en que se ha doblado el antepecho por el interior de la vivienda, otros donde han colocado piezas cerámicas a modo de vierteaguas, otros conservan el antepecho original... Y según manifestaciones de los propios vecinos, algunos padecen filtraciones y humedades cuando llueve ya que les entra el agua por las juntas de esta zona de fachada. De hecho, han tenido que realizar trabajos de sellado con silicona para evitar las filtraciones.

Por otro lado, la forma en que está resuelto el encuentro entre los antepechos y los pilares de fachada, entendemos que no ofrece muchas garantías de estanqueidad. En la fotografía 33 del anejo fotográfico podemos observar que los antepechos, al encontrarse con los pilares, aumentan de grosor para quedar ambos integrados en el perímetro de fachada como un solo elemento. Como consecuencia, alrededor de cada pilar queda una superficie completamente plana en la que no se aprecia pendiente alguna hacia el exterior, de modo que tras un periodo de lluvias, el agua se remansa y duerme sobre esta superficie horizontal. En estas condiciones es fácil que penetre por las juntas entre los pilares y el antepecho y



alcanzar el forjado.

Al margen de esta circunstancia, cabe incidir sobre otro aspecto relacionado con la estanqueidad de las terrazas. Con una antigüedad de 33 años, la impermeabilización de las mismas con toda probabilidad se encuentra fuera de servicio, con lo cual cualquier cantidad de agua que penetre a través del pavimento de las terrazas que permanecen abiertas puede alcanzar el forjado y quedar confinada en el interior, contribuyendo a la aparición y desarrollo de procesos de corrosión.

d. Débil adherencia entre el revestimiento de fachada y el soporte

Cuando se aplicó el mortero de revestimiento es muy posible que las condiciones del soporte y de su aplicación no fueran las más adecuadas. Son varios los factores que hay que tener en cuenta para una correcta aplicación del mortero de revestimiento en estos casos.

Es muy importante que el soporte, hormigón de frentes de forjado y ladrillo de los antepechos, se encuentre bien limpio, sin polvo, si no cualquier cosa que intentemos adherir sobre él ya no lo hará de la misma forma. Es conveniente también que se humedezca el soporte antes de aplicar el revestimiento, cosa que se no se hace en numerosas ocasiones. Y también es imprescindible que el revestimiento NO se aplique cuando el soporte está caliente, es decir, cuando está o ha estado a pleno sol y lógicamente ha aumentado su temperatura superficial de manera considerable.

Bajo estas condiciones, si el soporte tiene una alta temperatura y encima no ha sido humedecido previamente, estará ávido de agua y en cuanto apliquemos el mortero de cemento de revoco, el soporte le robará el agua al mortero en la zona de contacto, de modo que el fraguado en ese punto será deficiente y en consecuencia la adherencia entre ambos quedará debilitada.

Por otro lado, el color gris oscuro que presenta el enfoscado que sirve de base a la capa de acabado de las fachadas es indicador de un alto contenido de cemento en su composición. Debido a la alta alcalinidad del cemento, en los primeros años del edificio es posible que este recubrimiento haya contribuido a evitar fenómenos de corrosión tempranos, sin embargo, ha podido generar un problema que ha agravado la situación actual.

Cuanto más aumenta la dosificación de cemento de un mortero o de un hormigón, mayores son los fenómenos de retracción que experimenta la masa durante su curado y fraguado. Esto significa que la capa de enfoscado sufrió retracciones que afectaron negativamente a la adherencia entre esta capa y el soporte. De esta manera, la unión entre ambos elementos es débil y ante un empuje o tensión estas capas pueden acabar despegándose.

e. Solapes de armaduras

A la hora de montar la ferralla de cualquier elemento de hormigón armado es perfectamente normal solapar redondos de acero para conseguir dar continuidad a un armado. Esto es



simplemente consecuencia de la limitación de longitud de las barras corrugadas, las cuales se fabrican con longitudes máximas de 6 m por lo general. Cuando es necesaria mayor longitud porque el elemento a ejecutar así lo requiere, se colocan una a continuación de otra superponiéndose una determinada distancia denominada solape.

En la fachada principal del edificio objeto del presente Estudio de corrosión, se aprecian fisuras y grietas sobre la zona inferior de los forjados situada en la misma vertical que el pilar intermedio que existe en ambos cuerpos de terrazas. Si nos fijamos en el forjado de la primera planta del cuerpo Noreste, vemos que justo en esa vertical es donde se solapan las barras de acero del zuncho perimetral del forjado, situación que probablemente se repita en el resto de plantas afectadas.

Es obvio que si una barra de acero se corroe y aumenta de volumen, ejercerá un determinado empuje sobre el material que la recubre en un determinado tiempo. Si en vez de una barra hay dos juntas, el empuje será más rápido al que ejerce si solamente existe una. Por este motivo, los antepechos situados en la vertical de los pilares intermedios de la fachada se encuentran en muchos casos agrietados.

Esta misma circunstancia se ha detectado en la escalera exterior, donde los mayores daños coinciden con una zona de solape de armaduras.

f. Orientación de las fachadas

Si analizamos los daños existentes y la orientación de las fachadas resulta evidente que la mitad Sur del edificio presenta menos lesiones y de menor magnitud que la mitad Norte. Lógicamente, en las fachadas más soleadas se elimina con más facilidad y rapidez la humedad que haya podido quedar depositada o confinada en las diferentes capas de la fachada, procedente tanto de agua de lluvia como de humedad ambiental. En la mitad Norte la fachada recibe menos soleamiento y consecuentemente la humedad tarda más en evaporarse, con lo que el efecto prolongado de la misma da lugar a una mayor afección por corrosión.

7.2. Daños puntuales en otras zonas de fachada

Se trata de daños menores de carácter aislado por lo que no se les puede dar la misma relevancia que a los descritos en el apartado anterior.

7.2.1. Voladizos laterales de fachadas Norte y Sur

En los voladizos laterales de la fachada Norte se colocaron perfiles metálicos para la ejecución de los forjados que también presentan síntomas de oxidación leve. Las causas son las mismas que las anteriormente descritas con la salvedad de que estos apenas se encuentran revestidos. A pesar de ello, su estado es bastante bueno y únicamente se



observan manchas y oxidaciones localizadas y alguna fisura en el revestimiento.

8. REPARACIÓN PREVISTA

En lo referente a las lesiones encontradas en los frentes de forjados afectados por corrosión de sus armaduras, se ha procedido a su reparación según el siguiente esquema.



8.1. Procesos de reparación

Las actuaciones de reparación consisten en los siguientes pasos:

- **Picado y retirada de enfoscado**

Inicialmente se procederá a la retirada del revestimiento de mortero en una banda de unos 40cm dejando al descubierto la superficie limpia de los frentes de forjado.

Una vez con la zona limpia y despejada, la D.F. procederá a inspeccionar los frentes de forjado con el fin de determinar las zonas donde sea necesario picar el hormigón para descubrir las armaduras.



Delimitadas dichas zonas y antes de picar el hormigón se procederá a documentar fotográficamente el estado de fisuración del mismo y se efectuarán a modo de muestreo, test de fenolftaleína necesarios para caracterizar el estado y profundidad de carbonatación de aquellas zonas sin daño visible.

- **Picado de hormigón**

Sobre las zonas determinadas a reparar, como norma general se picará el hormigón en todo el canto del frente de forjado hasta dejar al descubierto todas las armaduras.

La armadura a tratar deberá estar totalmente descubierta de modo que se pueda acceder a ella desde todos los ángulos para la correcta aplicación de los productos de reparación, por lo que habrá que retirar como mínimo 3 cm de hormigón alrededor de ésta en todo su contorno.

Una vez con la zona limpia y despejada, la Dirección Facultativa procederá a inspeccionar el frente de forjado con el fin de determinar el alcance de la corrosión y la necesidad o no de un refuerzo del armado.

Se debe comprobar que el acero no haya tenido una pérdida de sección mayor del 25%.

- **Lijado-Saneado**

Tras la eliminación del hormigón que recubre las armaduras se realizará una limpieza mediante cepillado mecánico. Con esta limpieza se eliminarán los restos de oxidaciones y de exfoliación ligera dejando la superficie de las armaduras sana.

En el caso de que sea necesario la colocación adicional de estribos con barras corrugadas de 6 mm, se picará y se soldarán varillas corrugadas a las barras principales, regenerando el frente de forjado posteriormente con el tratamiento que se describe a continuación.

Acabado el tratamiento de limpieza y la colocación de nuevos cercos se eliminarán los restos de material y se dejará la superficie metálica exenta de restos sueltos, polvo, arena o cualquier otro producto mediante soplado de las armaduras y las zonas circundantes.

- **Inhibidor de corrosión**

En las zonas donde se determine que no es necesario picar el hormigón, a modo de protección, se aplicará el inhibidor de corrosión migratorio definido en este proyecto conforme se describe en el punto 5.2. Aplicación inhibidor de corrosión del presente documento.

- **Protección anticorrosiva**

Sobre la superficie metálica se aplicará el tratamiento pasivante y de puente de unión especificado en el presente proyecto que la recubra en su totalidad en una capa continua y uniforme de espesor homogéneo siguiendo siempre las instrucciones del fabricante en cuanto a espesor, modo de mezclado y tiempo de espera entre capas sucesivas, etc.



- **Puente de unión entre hormigón viejo y nuevo**

Sobre la superficie de hormigón endurecido preexistente se deberá proceder a eliminar el agua estancada, grasas o aceites y restos de otros oficios mediante cepillado mecánico con cepillo de púas de acero preferiblemente, hasta conseguir una superficie totalmente limpia y suficientemente rugosa.

Se procederá al soplado de la zona para eliminar restos de polvo y suciedad. Posteriormente sobre el soporte limpio (puede estar húmedo pero no encharcado) se aplicará el puente de unión para elementos de hormigón estructural siempre según las indicaciones del fabricante.

- **Reconstrucción con mortero especial de reparación**

Transcurrido el tiempo indicado por el fabricante del puente de unión, se procederá a reconstruir la geometría con morteros de reparación tixotrópico fibroreforzado R3.

El mortero se aplicará en capas de espesor máximo según indicaciones del fabricante previo humedecido del soporte. Si es necesario un mayor espesor se aplicará en varias capas, dejando fraguar la capa soporte antes de aplicar la siguiente. En cualquier caso, se seguirán las especificaciones y recomendaciones del fabricante.

Una vez recompuesto el frente de forjado se aplicará una última capa de mortero regenerador pero en este caso con áridos de granulometría fina para obtener un acabado fino superficial.

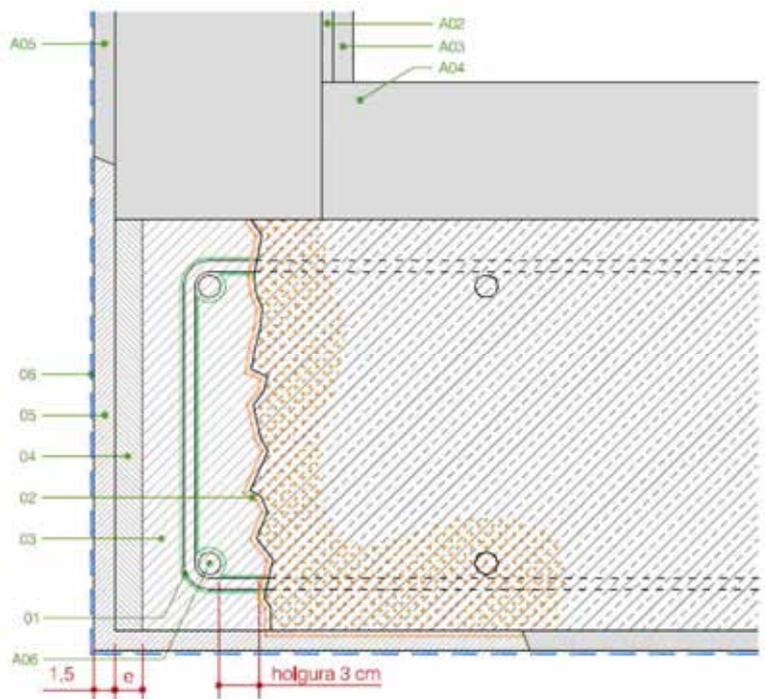
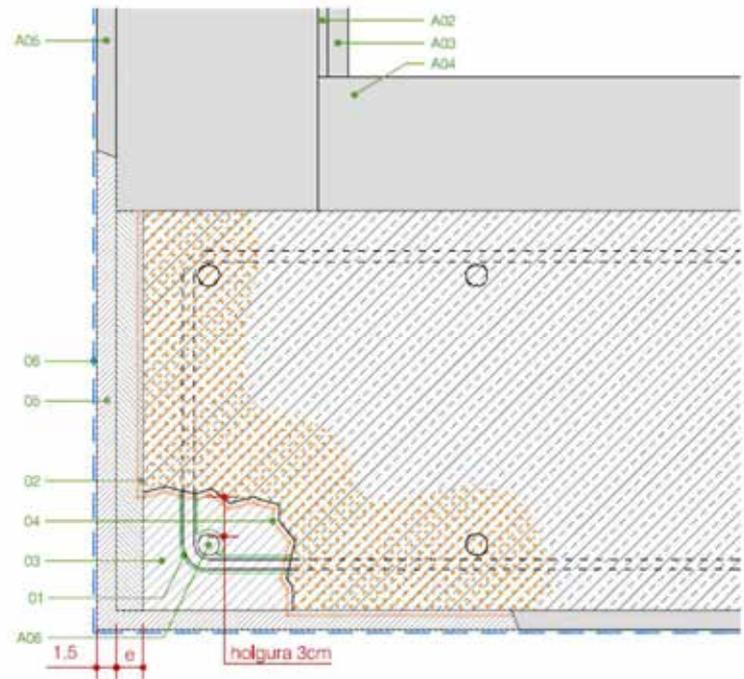
Cuando los frentes de forjado estén reparados y haya transcurrido el tiempo necesario para el correcto fraguado del mortero, según lo recogido en la ficha técnica del fabricante, se limpiará la superficie.

- **Revestimiento**

Para concluir la actuación y devolver las características iniciales al edificio se realizarán las labores de enfoscado, igualado de superficies y pintado con pintura al silicato.

Como parte del presente Estudio del uso del Corrugado de acero inoxidable en los procesos de reparación del hormigón armado, se ha procedido a incorporar como alternativa la sustitución de barras afectadas por otras nuevas de acero inoxidable tipo dúplex 2304 facilitadas por CEDINOX para el presente estudio.

Como ya se ha comentado en los apartados anteriores, se ha planificado el muestreo en los puntos de control seleccionados en los que se podrá comparar la durabilidad a lo largo del tiempo de la reparación tradicional, la sustitución con corrugado galvanizado y la sustitución con corrugado inoxidable.



En paralelo al estudio del comportamiento en el tiempo, en relación a la durabilidad de las soluciones, se ha planteado un control de ejecución desde el punto de vista de su cuantificación



económica para poder evaluar las desviaciones entre cada una de las alternativas. Para poder desarrollar un proceso de reparación con acero inoxidable óptimo que aproveche la mejora de prestaciones de éste frente al acero al carbono, se ha construido en el laboratorio de la Universidad de Alicante, 2 prototipos de frentes de forjado para su puesta en práctica y evaluación.



8.2. Condiciones de los materiales

Los materiales empleados en la reparación son los siguientes:

8.2.1. Morteros especiales de reparación para elementos estructurales

- **Definición**

Se empleará en reparaciones y regularización de elementos de hormigón, como es el caso de los frentes de forjado y las losas de escalera.

Estos serán de tipo R3, tixotrópicos y fibrorreforzados sin retracción, y cumplirán lo especificado en la normativa EN 1504-3 de obligado cumplimiento para reparaciones en elementos



estructurales de hormigón.

- **Características**

Producto monocomponente ligero, modificado con polímeros y reforzado con fibras sintéticas.

El producto dispondrán de Sello de Calidad o marca AENOR y cumplirán las siguientes condiciones:

- Mortero a base de cementos, resinas especiales, fibras y cargas finas.
- Resistencia a compresión ≥ 25 MPa.
- Contenido de ión cloruro menor o igual $\leq 0.05\%$
- Adherencia ≥ 1.5 Mpa
- Resistencia a la carbonatación $dk \leq$ hormigón de control MC (0,45)
- Durabilidad-compatibilidad térmica a ciclos hielo/deshielo: adh. tras 50 ciclos ≥ 1.5 MPa
- Durabilidad-compatibilidad térmica a lluvia tormentosa: adherencia tras 30 ciclos ≥ 1.5 MPa
- Durabilidad-compatibilidad térmica ciclos en seco: adherencia tras 30 ciclos ≥ 1.5 MPa.
- Módulo elástico > 15 y < 20 GPa.
- Absorción Capilar ≤ 0.5 Kg·m²·h^{-0,5}

8.2.2. Protección anticorrosiva

- **Definición**

Protección para prevenir la oxidación de elementos de acero, (barras, perfiles, etc.) y hacer de puente de unión entre la armadura y el nuevo mortero de reparación estructural.

- **Características**

La protección anticorrosiva está formada por un sistema de pintura multicapa de curado químico con ligantes epoxídicos definida según la UNE_EN ISO 12944-5 en su Anexo A como sistema A5M.06

8.2.3. Puente de unión

- **Definición**

Se empleará el puente de unión cuando se deba unir mortero original de la construcción o acero de las armaduras con hormigón nuevo de reparación para elementos estructurales.

- **Características**

Se aplicará uniformemente como lechada antes del mortero o incorporado al mismo según indicaciones del fabricante, asegurándose de que se cubren todos los huecos en las superficies rugosas.

- El sustrato deberá estar limpio y libre de grasas y polvo.
- Será impermeable al agua, aceites, otros agentes químicos, así como al oxígeno y a los



cloruros.

- Poseerá una excelente adherencia sobre acero de armaduras y hormigón antiguo.
- Será compatible con la humedad del mortero fresco, así como morteros sintéticos e hidráulicos.
- Poseerá sello de calidad o marca AENOR o estará homologado.

8.2.4. Acero galvanizado en caliente por inmersión

- **Definición**

Se empleará acero galvanizado para los elementos de refuerzo de armado en las zonas donde sea necesario y según establezca la Dirección Facultativa.

- **Características**

Todo el material galvanizado en caliente habrá recibido este tratamiento mediante procesos de inmersión en zinc fundido (galvanización general) según la Norma UNE EN ISO 1461. Todos los procesos de transformación mediante plegado, cortes, taladros, soldaduras, etc., serán previos a la inmersión para su galvanización.

Los recubrimientos mínimos de galvanización estarán establecidos en la norma UNE EN ISO 1461, los criterios para determinar la calidad de los recubrimientos son:

- El aspecto superficial
- El espesor
- La adherencia

El espesor es la característica más relevante, ya que la duración de la protección es directamente proporcional a su espesor.

Los espesores mínimos exigibles a estos recubrimientos serán los especificados expresamente para cada elemento en la documentación del presente proyecto y en cualquier caso se regirán como mínimo según la norma UNE EN-ISO 1461 que son los que se indican en la siguiente tabla, en relación con el espesor del acero base.

Espesor de la pieza	Valor Local mínimo		Valor Medio	
	[g/m ²]	[μm]	[g/m ²]	[μm]
Acero ≥ 6mm	505	70	610	85
Acero ≥ 3mm y	395	55	505	70
Acero ≥ 1.5mm y	325	45	395	55
Acero ≥ 3mm y	250	35	325	45
Piezas moldeadas ≥	505	70	575	80
Piezas moldeadas <	430	60	505	70



8.2.5. Acero inoxidable

- **Definición**

Se empleará acero inoxidable para reparar los elementos de viguetas y viga.

- **Características**

Se denomina Acero Inoxidable a cualquier tipo de Acero aleado cuyo peso contenga como mínimo 10,50 % de Cromo, pero no más de 1,20 % de Carbono, con cualquier otro elemento de aleación o sin él.

En el caso que nos ocupa utilizaremos Acero inoxidable Duplex EN 1.4362 (2304), cuya microestructura está formada por ferrita y austenita en una relación aproximada de 50:50, de forma que se combinan las mejores propiedades de estas dos familias de inoxidable. Dicho acero deberá cumplir las siguientes condiciones en su composición:

Duplex 1.4362 (2304)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
≤0.03	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.015	22.00-24.00	3.50-5.50	0.10-0.60	0.05-0.20

El Acero Inoxidable contiene cromo, níquel y otros elementos de aleación, que lo mantienen brillantes y resistente a la corrosión a pesar de la acción de la humedad o de ácidos y gases.

Algunos Aceros Inoxidables son muy duros; otros son muy resistentes y mantienen esa resistencia durante largos periodos a temperaturas extremas.

Se empleará acero inoxidable AISI 316L A4 en todos los elementos de tornillería, anclajes o sujeción de las piezas, así como las varillas roscadas para el anclaje en frente de forjado de los registros de los puntos de control.

8.2.6. Inhibidor de corrosión

- **Definición**

Material a base de silano en inhibidores de corrosión organofuncionales. Se empleará para la protección y prevención frente a la corrosión en hormigón armado, además como medida preventiva de la corrosión.

- **Características**

Impregnación hidrófoba a base de silano en inhibidores de corrosión organofuncionales. Además poseerá las siguientes características:

- Densidad 0,9 gr/cm³
- Permeable al vapor de agua
- No cambia el aspecto del hormigón



- Repele la entrada de agua y cloruros
- Reducción de la corrosión por carbonatación

9. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL

De cara a poder disponer de una idea aproximada del tiempo de vida útil de los elementos de hormigón armado que nos encontramos, podemos utilizar la herramienta de cálculo que facilita la EHE08 en su Anejo 9.

Desde el punto de vista del prescriptor, cuando se enfrenta a una obra de reparación de elementos de hormigón afectados por corrosión, la aplicación de este procedimiento de cálculo es demasiado complejo, y en la mayoría de los casos precisa de conocimientos químicos fuera del alcance de la formación recibida por estos. Por este motivo se cree necesario desarrollar un procedimiento simplificado que permita al prescriptor evaluar de una manera aproximada las soluciones a aplicar en su obra de modo que forme parte de los parámetros necesarios para tomar decisiones sobre las soluciones que proponga.

En el siguiente apartado se desarrolla un método simplificado para poder estimar la vida útil de un elemento de hormigón armado.

10. METODO SIMPLIFICADO DE ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL

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 del edificio que se pretende reparar. El instrumento de Estimación simplificada que se propone nace con referencia a los métodos de cálculo establecidos en el Anejo 9 de la EHE 08, en cuanto a Estados Límite de Durabilidad.

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⁻).

10.1. Exposición a la lluvia

Se trata de identificar si el elemento va a estar expuesto a situaciones que permitan la existencia de un medio electrolítico en el hormigón favorezca el que se puedan producir corrientes de corrosión.



Parece razonable, que ante un elemento que precisa de reparación por oxidación, 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

CASOS	Exposición a la lluvia	Resistencia a compresión	Espesor de recubrimiento	% Cl ⁻ en peso de cemento	Velocidad de corrosión	Tiempo de iniciación	Tiempo de propagación
Situación A	EXPUESTO	- KN/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación B	EXPUESTO	- KN/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación C	EXPUESTO	- KN/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años

10.2. Resistencia media del hormigón

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.

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. . .

A menor resistencia del hormigón menor durabilidad frente a la oxidación, 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	Resistencia a compresión	Espesor de recubrimiento	% Cl ⁻ en peso de cemento	Velocidad de corrosión	Tiempo de iniciación	Tiempo de propagación
Situación A	EXPUESTO	120 Kg/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación B	EXPUESTO	175 Kg/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación C	EXPUESTO	250 Kg/cm ²	- mm	-	- μm/año	- años	- años



10.3. Espesor de recubrimiento real

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

CASOS	Exposición a la lluvia	Resistencia a compresión	Espesor de recubrimiento	% Cl- en peso de cemento	Velocidad de corrosión	Tiempo de iniciación	Tiempo de propagación
Situación A.1	EXPUESTO	120 Kg/cm ²	10 mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación A.2			25 mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación B.1	EXPUESTO	175 Kg/cm ²	10 mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación B.2			25 mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación C.1	EXPUESTO	250 Kg/cm ²	10 mm	-	- μm/año	- años	- años
Situación C.2			25 mm	-	- μm/año	- años	- años

10.4. 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 para las exposiciones IIIa, IIIb, IIIc y IV definidas en la EHE08.

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.

A la hora de estimar el contenido de cloruros, seguramente nos encontremos en una clase de Exposición designada por la EHE como IIIa, es decir, 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%

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	Resistencia a compresión	Espesor de recubrimiento	% Cl ⁻ en peso de hormigón	Velocidad de corrosión	Tiempo de iniciación	Tiempo de propagación		
Situación A.1.1	EXPUESTO	120 Kg/cm ²	10 mm	0,14%	- μm/año	- años	- años		
Situación A.1.2				0,20%	- μm/año	- años	- años		
Situación A.1.3				0,25%	- μm/año	- años	- años		
Situación A.2.3			25 mm	0,14%	- μm/año	- años	- años		
Situación A.2.3				0,20%	- μm/año	- años	- años		
Situación A.2.3				0,25%	- μm/año	- años	- años		
Situación B.1.1			EXPUESTO	175 Kg/cm ²	10 mm	0,14%	- μm/año	- años	- años
Situación B.1.2						0,20%	- μm/año	- años	- años
Situación B.1.3						0,25%	- μm/año	- años	- años
Situación B.2.3	25 mm	0,14%			- μm/año	- años	- años		
Situación B.2.3		0,20%			- μm/año	- años	- años		
Situación B.2.3		0,25%			- μm/año	- años	- años		
Situación C.1.1	EXPUESTO	250 Kg/cm ²			10 mm	0,14%	- μm/año	- años	- años
Situación C.1.2						0,20%	- μm/año	- años	- años
Situación C.1.3						0,25%	- μm/año	- años	- años
Situación C.2.3			25 mm	0,14%	- μm/año	- años	- años		
Situación C.2.3				0,20%	- μm/año	- años	- años		
Situación C.2.3				0,25%	- μm/año	- años	- años		



10.5. 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.

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.

Con este planteamiento obtenemos el siguiente cuadro:

CASOS	Exposición a la lluvia	Resistencia a compresión	Espesor de recubrimiento	% Cl en peso de hormigón	Velocidad de corrosión	Tiempo de iniciación	Tiempo de propagación	
Situación A.1.1.1	EXPUESTO	120 Kg/cm ²	10 mm	0,14%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.1.1.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.1.2.1				0,20%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.1.2.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.1.3.1				0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.1.3.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.1.1		120 Kg/cm ²	25 mm	0,14%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.1.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.2.1				0,20%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.2.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.3.1				0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación A.2.3.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.1.1.1		EXPUESTO	175 Kg/cm ²	10 mm	0,14%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.1.1.2						50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.1.2.1					0,20%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.1.2.2						50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.1.3.1					0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.1.3.2						50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación B.2.1.1	175 Kg/cm ²		25 mm	0,14%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.2.1.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.2.2.1				0,20%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.2.2.2					50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.2.3.1				0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	
Situación B.2.3.1					20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años	



Situación B.2.3.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.1.1		0,14%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.1.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.2.1		10 mm	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.2.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.3.1		0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.1.3.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.1.1	250 Kg/cm ²		20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.1.2		0,14%	50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.2.1		25 mm	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.2.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.3.1		0,25%	20 $\mu\text{m/año}$	- años	- años
Situación C.2.3.2			50 $\mu\text{m/año}$	- años	- años

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.

11. REPARACIÓN CON ACERO INOXIDABLE

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 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.

Este cambio de variante en el método de reparación tradicional, conlleva sin embargo algunas modificaciones en los procesos que precisan de una evaluación experimental para poder optimizar los rendimientos desde el punto de vista económico.

Para ello hemos desarrollado en combinación con mediciones en obra, dos prototipos de hormigón



simulando frentes de forjado.

11.1. Maqueta escala real de frente de forjado

Las piezas fabricadas miden 3m de largo por 30cm de canto y 60cm de profundidad, con lo que por cada pieza se dispone de 2 frentes de forjado simulados para experimentar la técnica, optimizarla y medir los rendimientos en comparación con la reparación tradicional.

Dichos prototipos se han ejecutado en el laboratorio de materiales de la Universidad de Alicante, ambos con idénticas características, dimensiones y armados. De este modo se consigue que los datos y rendimientos obtenidos de los distintos procedimientos aplicados sean comparables.



Para la ejecución de estas maquetas se preparó en laboratorio unos encofrados de madera en forma de cuba, cerrados por 5 de sus caras y abiertos por la parte superior para su vertido, de modo que se pudiera controlar convenientemente las dimensiones correctas de las piezas.

Una vez fabricados los encofrados de madera de ambas piezas se tomaron medidas para poder fabricar en taller el armado correspondiente con barra corrugada de diámetro 16mm y estribos de 8mm.

Para la colocación de los armados, se utilizaron calzos de PVC y de hormigón para garantizar un



recubrimiento uniforme a lo largo de las piezas de modo que los resultados que se obtuviesen no se vieran influenciados por una ejecución no uniforme.



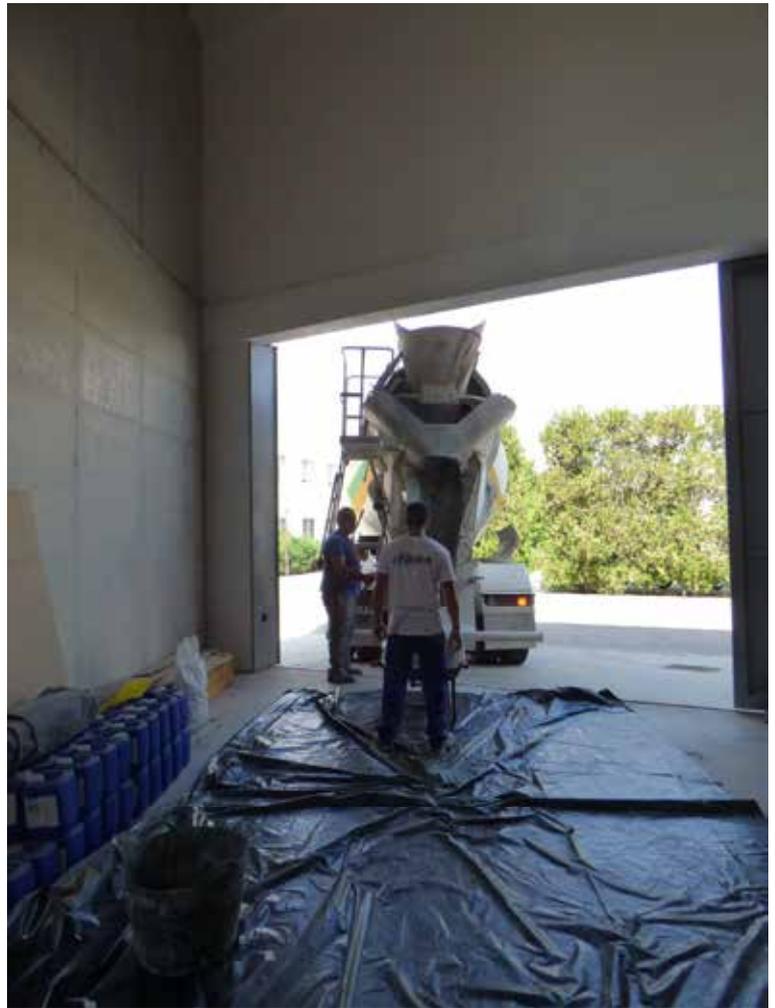
Una vez colocado el armado garantizando la homogeneidad de los recubrimientos, se dispusieron de los medios necesarios para fijar el conjunto al encofrado de madera, de modo que durante el proceso de vertido se evitara cualquier tipo de desplazamiento del mismo de manera incontrolada.



En la cara superior de las piezas se ejecutaron a modo de espera un armado adicional para el correcto izado posterior con el puente grúa.

Una vez preparadas las piezas correctamente se procedió al vertido de hormigón de planta HA-25/B/20/IIa, de modo que ambas piezas fueron hormigonadas al mismo tiempo con el mismo hormigón.





Con el proceso de hormigonado se llenaron hasta 12 probetas para ensayar posteriormente como confirmación de las características del hormigón, además de poder controlar la adherencia diferencial entre los diferentes armados, a saber, acero al carbono, acero galvanizado y acero inoxidable, mediante ensayos de Pull-out.



Se llevó especial cuidado en controlar cualquier efecto de disgregación del hormigonado que pudiese afectar a los resultados y mediciones posteriores por no homogeneidad de la muestra.

Para dicho control se procedió al hormigonado en espesores de 10cm y vibrado en su totalidad en cada una de las capas.



Una vez llenados los dos encofrados, se dejó un tiempo de fraguado de 28 días antes de proceder a las pruebas de puesta en ejecución. En ambas piezas se llevaron los mismos cuidados, mediante tapado con lámina de polietileno, y humectación.

Pasado el tiempo y cuidados de fraguado, se procedió al desencofrado de las piezas, y colocación en las zonas de trabajo preparadas para ejecutar los distintos procesos de reparación objeto de comparación.



Una vez ejecutadas las dos piezas de 3 metros de longitud, disponíamos de 4 caras de 3m x 30cm de canto para desarrollar los distintos procesos de reparación incluyendo la optimización de la



sustitución mediante barras de acero inoxidable.

11.2. Procesos de reparación

En esta fase se ejecutaron los diferentes procesos de reparación en cada uno de los pasos que comprenden las reparaciones.

Estos trabajos se desarrollaron durante 2 semanas de modo que se iba controlando y midiendo las actuaciones, desde los siguientes aspectos:

- Herramientas necesarias
- Desgaste de herramientas en la fase de picado del hormigón
- Medición y cálculo de las zonas y volúmenes en las fases de picado
- Tiempos de mano de obra
- Distintos sistemas de picado con la ayuda de radial de corte
- Control de consumos de discos de corte de hormigón, de acero, y universales
- Procesos de sustitución de barras
- Pruebas de tipos de soldaduras a tope o por solape, y evaluación de su idoneidad en obra
- Lijados y limpieza de soldaduras
- Protección anticorrosión
- Puentes de unión
- Mortero de reparación para reconstrucción de volúmenes, etc

El detalle de estos procedimientos se adjunta en el anejo 2 del presente documento.

El primer objetivo de esta intervención era poder llegar a optimizar el proceso de sustitución de las barras por otras nuevas de acero inoxidable de modo que se alcancen las prestaciones técnicas y de durabilidad apropiadas para poder estudiar el coste económico con precisión pues es una actividad no recogida en bases de precios.

Cabe destacar que el hecho de que la nueva barra a colocar sea de acero inoxidable incorpora al procedimiento tradicional de reparación ciertas ventajas que repercuten directamente sobre el precio de los procesos.

11.3. Evaluación de rendimientos y cálculo de costes

Desde el punto de vista de la evaluación de costes de cada uno de los tipos de reparación, recurrimos al procedimiento de análisis por descompuestos para poder efectuar una comparativa lo más fiel posible a la realidad.

Este sistema consiste en descomponer al máximo la actividad de reparación en los siguientes conceptos:



- Mano de obra de los distintos operarios que intervienen
- Herramientas, alquiler, consumo, desgaste, etc...
- Materiales que se utilizan, medidos y contabilizados para cada tipo de intervención
- Costes directos complementarios
- Costes indirectos
- Gastos generales
- Beneficio industrial

Cabe destacar las siguientes diferencias calculadas en cada uno de los procesos de la reparación:

PICADO

Cuando nos enfrentamos al proceso de picado del hormigón existente para descubrir la barra afectada por oxidación, en la reparación tradicional de limpiar y pasivar la barra nos vemos en la obligación de picar con una holgura aproximada de unos 3cm en todo el contorno de la barra, primero para poder limpiar y proteger correctamente la parte interior de la barra, y segundo para eliminar todo el hormigón contaminado que va a quedar en la proximidad de la barra reparada. En el caso en el que vayamos a sustituir por una barra nueva de acero inoxidable, podemos reducir considerablemente la cantidad de picado pues no necesitamos acceder con holgura a la parte trasera, y además si queda hormigón contaminado en contacto con la nueva barra de acero inoxidable apenas tenemos riesgo de que se vuelvan a producir deterioros por corrosión. En esta fase se ahorra tiempo de mano de obra en el picado y desgaste de herramientas.

LIMPIEZA Y PROTECCIÓN

Estos pasos desaparecen completamente cuando sustituimos por barras corrugadas de acero inoxidable, por lo que se ahorra mano de obra, tiempos de espera entre procesos, y protección anticorrosión.

Por el contrario debemos incorporar un coste adicional por el uso del acero inoxidable frente a la reparación tradicional.

PUNTES DE UNIÓN

En el caso de colocar una barra nueva, disponemos de la corruga completa de la barra por lo que no necesitamos puente de adherencia entre acero y mortero de reparación, ahorrando en mano de obra de preparación, colocación y material.

RECONSTRUCCIÓN DE VOLÚMENES

En el caso de la sustitución con barra corrugada inoxidable, al haber podido reducir la cantidad de picado también reducimos el volumen que hay que reconstruir con mortero de reparación cuyo importe tiene una alta repercusión en la totalidad de la partida.

En una primera fase del ensayo se procedió a la ejecución de la reparación tradicional para poder disponer de tiempos y cantidades correspondientes a estas muestras. Para poder tener



datos ciertos, se ejecutaron 2 reparaciones con todos los procesos en una cara de una de las piezas y se compararon con los rendimientos que se pueden obtener de la base de precios del IVE para el año 2016, confirmando la proporcionalidad de lo ejecutado y medido in situ con datos externos.

Como consecuencia de esta primera fase podemos concluir con el siguiente muestreo de costes para la reparación tradicional:

Precio descompuesto. REPARACIÓN FRENTE DE FORJADO

m Reparación tipo defrente de forjado de hormigón de canto 30 cm , sin incremento de capacidad

unidad	concepto	rendimiento	precio	importe
h	Mano de obra Oficial 1ª	0,32	19,33	6,19
h	Mano de obra Peón especializado construcción	0,30	17,14	5,14
h	Martillo neumático rompedor	0,18	2,59	0,47
h	Radial eléctrica	0,16	1,20	0,19
ud	Disco de lija	1,05	2,45	2,57
kg	Protección anticorrosión	0,38	6,84	2,60
l	Puente de unión entre hormigón y mortero	0,12	18,45	2,21
kg	Cuántía de refuerzo de barra corrugada de acero galvanizado	0,00	1,20	0,00
kg	Cuántía de refuerzo de barra corrugada inox duplex 2304	0,00	3,20	0,00
kg	Mortero de reparación según UNE 1504	27,34	1,05	28,71
%	Costes directos complementarios	2,00	48,08	0,96
%	Costes indirectos	3,00	48,08	1,44
%	Gastos generales	13,00	50,48	6,56
%	Beneficio industrial	6,00	50,48	3,03
TOTAL				60,07

(Base de precios del IVE 2016 para Alicante)

En el caso de la reparación mediante la sustitución por una barra nueva de acero corrugado inoxidable, considerando los aspectos descritos en el apartado anterior, podemos obtener la siguiente evaluación de costes.



Precio descompuesto. REPARACIÓN FRENTE DE FORJADO

m Reparación de frente de forjado de hormigón de canto 30 cm , sin incremento de capacidad, con sustitución de barras por acero inoxidable

unidad	concepto	rendimiento	precio	importe
h	Mano de obra Oficial 1ª	0,28	19,33	5,41
h	Mano de obra Peón especializado construcción	0,26	17,14	4,46
h	Martillo neumático rompedor	0,16	2,59	0,41
h	Radial eléctrica	0,05	1,20	0,06
ud	Disco de lija	0,20	2,45	0,49
kg	Protección anticorrosión	0,10	6,84	0,68
l	Puente de unión entre hormigón y mortero	0,12	18,45	2,21
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada de acero galvanizado	0,00	1,20	0,00
kg	Cuantía de refuerzo de barra corrugada inox duplex 2304	3,50	3,20	11,20
kg	Mortero de reparación según UNE 1504	23,85	1,05	25,04
%	Costes directos complementarios	2,00	49,97	1,00
%	Costes indirectos	3,00	49,97	1,50
%	Gastos generales	13,00	52,47	6,82
%	Beneficio industrial	6,00	52,47	3,15
TOTAL				62,44
	(Base de precios del IVE 2016 para Alicante)		incremento por inox	3,94%

El aspecto interesante de la presente evaluación de costes debe considerarse desde el punto de vista de acotar una desviación porcentual entre ambos tipos de reparación para poder opinar sobre la adecuación o no del nuevo sistema de reparación mediante armado inoxidable.

Podemos observar que en caso de la reparación de frentes de forjado, la desviación económica que se puede constatar es irrelevante en el conjunto de una obra de reparación.



12. CONCLUSIONES

En el presente estudio hemos podido desarrollar el proceso tipo de reparación de frente de forjado mediante el sistema de sustitución de la barra existente por otra nueva de acero corrugado inoxidable tipo dúplex 2304, optimizando todos los procesos del sistema de modo que se alcance una solución de mejores prestaciones que la reparación tradicional y con mayores garantías de durabilidad.

El presente documento constituye el Informe Final sobre los trabajos de investigación que se han desarrollado al amparo del Convenio de Asesoramiento y Asistencia Científico-Técnica entre CEDINOX (Asociación para la investigación y desarrollo del acero inoxidable), la empresa SALMERON y LANDMANN Arquitectura y la UNIVERSIDAD DE ALICANTE.

Alicante, Noviembre 2019

Miguel Salvador Landmann
Dpto. de Construcciones Arquitectónicas
Universidad de Alicante

Antonio Salmerón Martínez
S+L ARQUITECTURA

ANEXO 1

EJECUCIÓN DE REGISTROS EN EDIFICIO



ANEXO 1

EJECUCIÓN DE REGISTROS EN EDIFICIO

A continuación se acompaña un breve reportaje fotográfico sobre los trabajos realizados para la caracterización y ejecución de registros en el edificio que sirve de base documental para el presente Estudio.



Foto 1. Picado frente de forjado y forrado de ladrillo



Foto 2. Replanteo de ubicación de registro



Foto 3. Ubicación de registro



Foto 4. Detalle de estado de armados



Foto 5. Corte de barras existentes



Foto 6. Corte de barras existentes



Foto 7. Detalle de corte de la barra existente



Foto 8. Corte con radial



Foto 9.Retirada de barra



Foto 10.Herramienta de corte



Foto 11. Corte de estribos existentes



Foto 12. Corte de estribos existentes



Foto 13. Corte de barras existentes



Foto 14. Zona para ubicación de registro



Foto 15. Corte de barras existentes



Foto 16. Replanteo de nuevas barras



Foto 17.Preparación de soldadura a pie de obra



Foto 18.Soldadura in situ



Foto 19. Soldadura barra existente con barra inoxidable



Foto 20. Pruebas iniciales de soldadura y tipos de solapes



Foto 21. Soldadura en obra



Foto 22. Punteo inicial de soldara



Foto 23. Material de aporte utilizado en la prueba



Foto 24. Grupo utilizado en la prueba



Foto 25. Pruebas de soldadura



Foto 26. Detalle de prueba de soldadura en obra



Foto 27. Pruebas de colocación de estribos



Foto 28. Detalle de colocación de estribo con anclaje químico



Foto 29. Protección de zonas



Foto 30. Protección y puente de unión

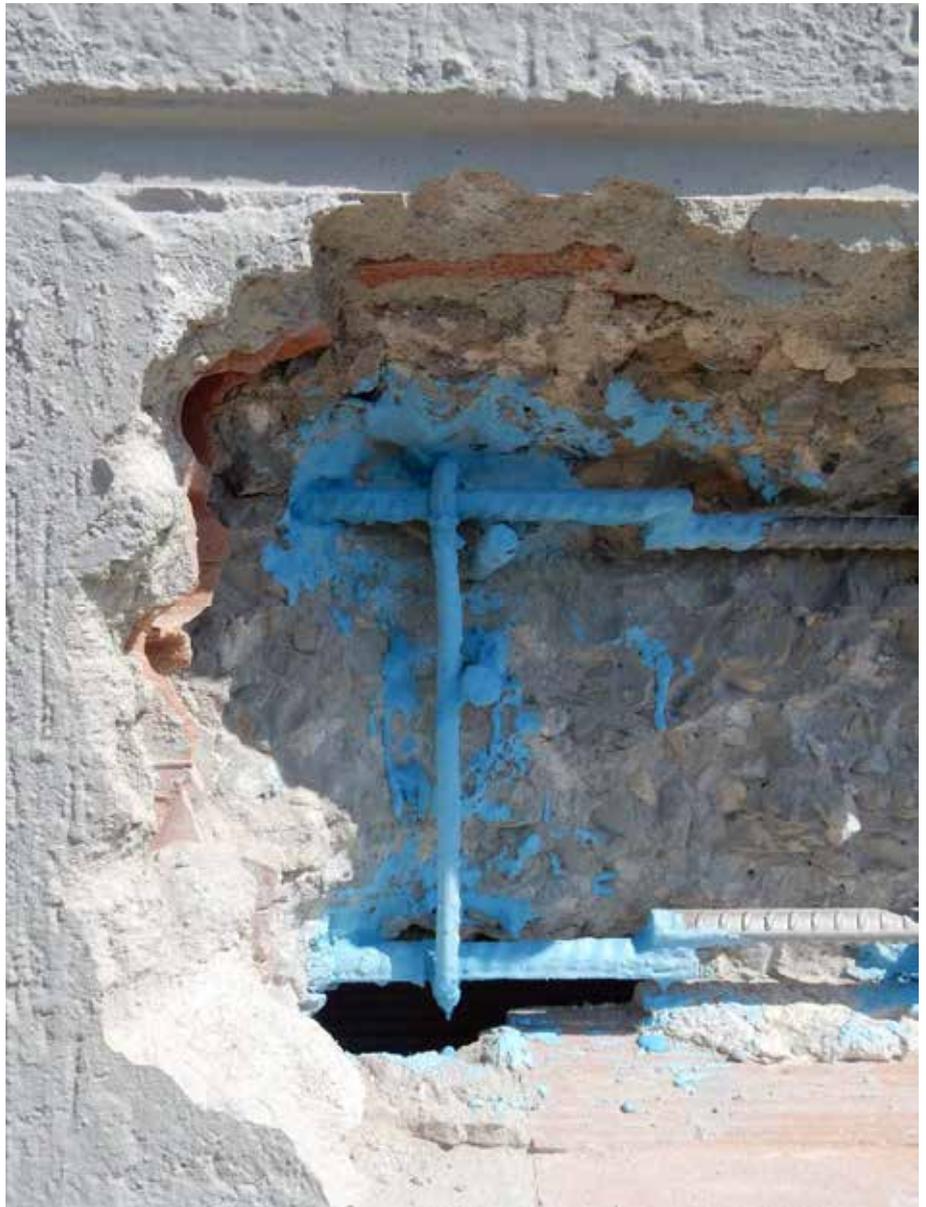


Foto 31. Detalle de protección anticorrosión



Foto 32. Mortero de reparación



Foto 33. Aplicación de mortero de reparación



Foto 34.Retacado de mortero



Foto 35.Detalle de conexión eléctrica para posteriores mediciones



Foto 36.Replanteo de registro



Foto 37.Preparación de esperas para anclajes de registro



Foto 38. Colocación de marco de registro



Foto 39. Fijación de marco



Foto 40. Anclaje de marco



Foto 41. Vista lateral de anclaje de marco



Foto 42. Replanteo de puerta y mecanismos de apertura oculta



Foto 43. Ajuste puerta



Foto 44. Detalle de puerta de registro



Foto 45. Integración de registro en fachada



Foto 46. Comprobación de aperturas



Foto 47. Eliminación de excesos de la varilla de anclaje



Foto 48. Vista lateral de registro antes del retacado



Foto 49. Cierre del hueco del frente de forjado



Foto 50. Forrado de ladrillo en frente de forjado reparado



Foto 51. Revestimiento para cierre de zona de registro



Foto 52.Regularización con mortero



Foto 53.Ajustes interiores



Foto 54. Impermeabilización en zonas de registro



Foto 55. Capa estanca en la zona registrable



Foto 56. Comprobación de conexión eléctrica

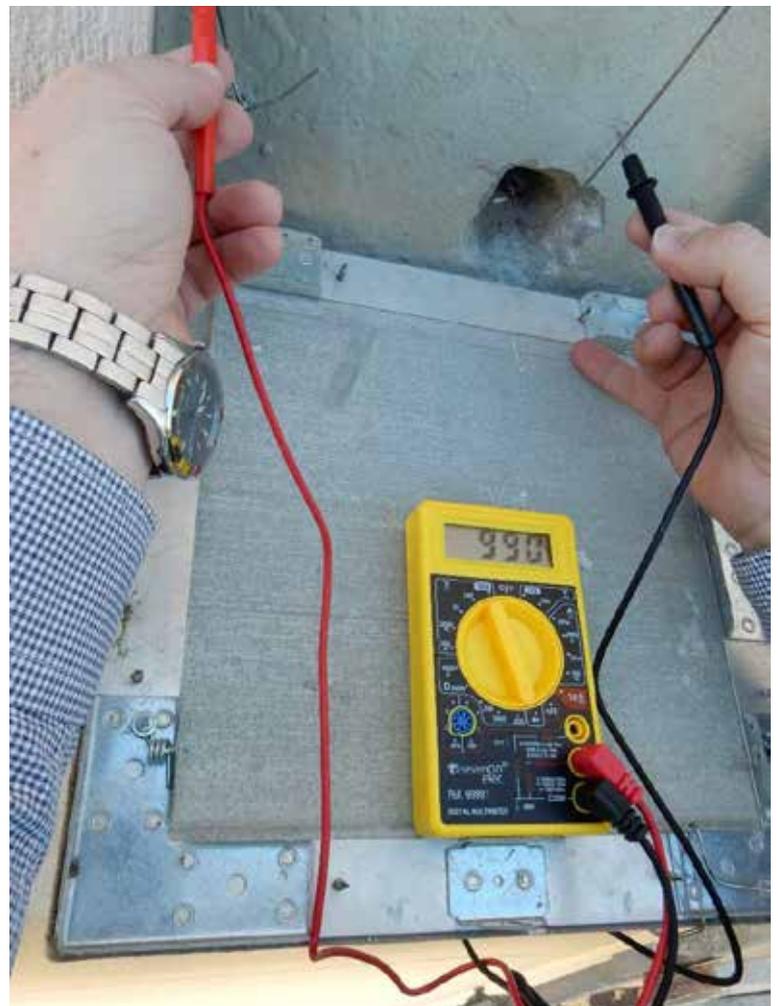


Foto 57. Comprobación de cierre de circuito



Foto 58.Revestimiento para cierre de zona de registro



Foto 59.Repasos y acabados

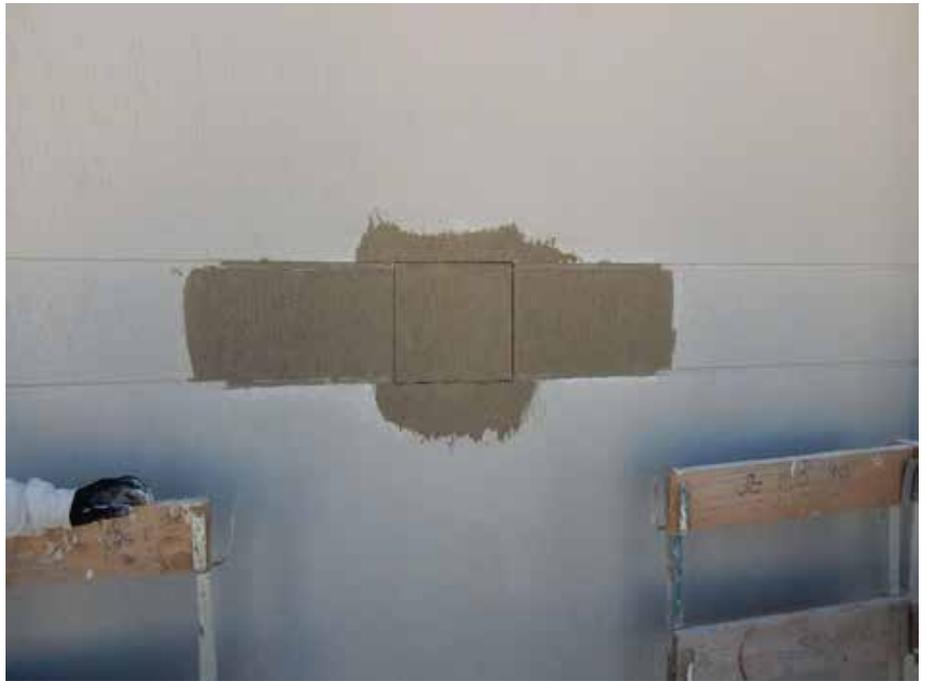


Foto 60.Registro integrado en fachada

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1.Picado frente de forjado y forrado de ladrillo	71
Foto 2.Replanteo de ubicación de registro.....	71
Foto 3.Ubicación de registro	72
Foto 4.Detalle de estado de armados	72
Foto 5.Corte de barras existentes	73
Foto 6.Corte de barras existentes	73
Foto 7.Detalle de corte de la barra existente	74
Foto 8.Corte con radial	74
Foto 9.Retirada de barra	75
Foto 10.Herramienta de corte	75



Foto 11.Corte de estribos existentes	76
Foto 12.Corte de estribos existentes	76
Foto 13.Corte de barras existentes	77
Foto 14.Zona para ubicación de registro.....	77
Foto 15.Corte de barras existentes	78
Foto 16.Replanteo de nuevas barras.....	78
Foto 17.Preparación de soldadura a pie de obra.....	79
Foto 18.Soldadura in situ.....	79
Foto 19.Soldadura barra existente con barra inoxidable.....	80
Foto 20.Pruebas iniciales de soldadura y tipos de solapes	80
Foto 21.Soldadura en obra.....	81
Foto 22.Punteo inicial de soldara.....	81
Foto 23.Material de aporte utilizado en la prueba	82
Foto 24.Grupo utilizado en la prueba.....	82
Foto 25.Pruebas de soldadura.....	83
Foto 26.Detalle de prueba de soldadura en obra.....	83
Foto 27.Pruebas de colocación de estribos	84
Foto 28.Detalle de colocación de estribo con anclaje químico	84
Foto 29.Protección de zonas	85
Foto 30.Protección y puente de unión	85
Foto 31.Detalle de protección anticorrosión.....	86
Foto 32.Mortero de reparación.....	87
Foto 33.Aplicación de mortero de reparación	87
Foto 34.Retacado de mortero	88
Foto 35.Detalle de conexión eléctrica para posteriores mediciones	88
Foto 36.Replanteo de registro.....	89
Foto 37.Preparación de esperas para anclajes de registro	89
Foto 38.Colocación de marco de registro	90
Foto 39.Fijación de marco.....	90
Foto 40.Anclaje de marco	91
Foto 41.Vista lateral de anclaje de marco.....	91
Foto 42.Replanteo de puerta y mecanismos de apertura oculta.....	92
Foto 43.Ajuste puerta	92
Foto 44.Detalle de puerta de registro	93
Foto 45.Integración de registro en fachada.....	93
Foto 46.Comprobación de aperturas.....	94
Foto 47.Eliminación de excesos de la varilla de anclaje	94
Foto 48.Vista lateral de registro antes del retacado	95



Foto 49.Cierre del hueco del frente de forjado	95
Foto 50.Forrado de ladrillo en frente de forjado reparado	96
Foto 51.Revestimiento para cierre de zona de registro.....	96
Foto 52.Regularización con mortero	97
Foto 53.Ajustes interiores	97
Foto 54.Impermeabilización en zonas de registro.....	98
Foto 55.Capa estanca en la zona registrable	98
Foto 56.Comprobación de conexión eléctrica.....	99
Foto 57.Comprobación de cierre de circuito	99
Foto 58.Revestimiento para cierre de zona de registro.....	100
Foto 59.Repasos y acabados	100
Foto 60.Registro integrado en fachada	101

ANEXO 2

MUESTRAS EN LABORATORIO



ANEXO 2

MUESTRAS EN LABORATORIO

A continuación, se acompaña un breve reportaje fotográfico sobre los trabajos realizados para el desarrollo y optimización del sistema de reparación de frentes de forjado con sustitución de armaduras existentes por otras de acero corrugado inoxidable, que sirve de base documental para el presente Estudio.



Foto 1. Muestra 1 en laboratorio Universidad de Alicante



Foto 2. Inicio de ejecución y control de los procesos



Foto 3. Proceso de picado



Foto 4. Replanteo fase de picado tomando 1m de referencia



Foto 5. Detalle del replanteo inicial



Foto 6. Picado de un tramo de 1m



Foto 7. Eliminación de restos de polvo



Foto 8. Comparación de zonas con y sin limpieza



Foto 9. Detalle de limpieza con agua tras picado



Foto 10. Disco de alambres de acero para limpieza de barras



Foto 11. Detalle de herramienta de limpieza



Foto 12. Proceso de limpieza de barras



Foto 13. Limpieza de barras



Foto 14. Limpieza de barras en parte trasera



Foto 15. Proceso de limpieza en cara interior



Foto 16. Protección anticorrosión utilizada



Foto 17. Condiciones de aplicación de la protección anticorrosión



Foto 18. Preparación de la protección anticorrosión in situ



Foto 19.Preparación de la protección



Foto 20.Grado de limpieza antes de la protección



Foto 21.Aplicación de la protección



Foto 22. Aplicación de la protección



Foto 23. Protección en la parte trasera de las armaduras



Foto 24. Protección en parte trasera



Foto 25. Aplicación de la protección



Foto 26. Detalle de la protección en todas las zonas expuestas



Foto 27. Detalle de barra protegida



Foto 28. Protección anticorrosión en zona de estribos



Foto 29. Fin de ejecución y control del proceso

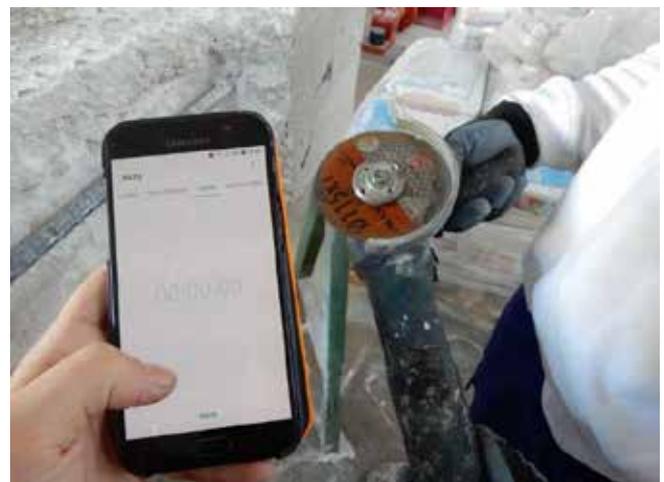


Foto 30. Inicio ejecución por corte y sustitución de armadura



Foto 31. Proceso de corte de los estribos



Foto 32. Corte de las armaduras



Foto 33. Fin proceso de corte



Foto 34. Estado tras el corte



Foto 35. Detalle del estado tras el corte: armadura y estribo



Foto 36. Superficie de la armadura tras el corte



Foto 37. Cepillo



Foto 38. Proceso de cepillado



Foto 39. Armadura tras el cepillado



Foto 40. Resultado tras el cepillado



Foto 41. Detalle del extremo tras el cepillado



Foto 42. Comprobación longitud de solape



Foto 43. Medición y replanteo nueva barra



Foto 44. Preparación corte nueva barra



Foto 45. Presentación y anclaje de la barra sobre anclajes



Foto 46. Barras ancladas



Foto 47. Proceso de soldado de las barras



Foto 48. Resultado tras la soldadura



Foto 49. Resultado tras la soldadura



Foto 50. Detalle tras la soldadura



Foto 51. Preparación del cepillo



Foto 52. Cepillado



Foto 53. Estado tras el cepillado



Foto 54. Preparación del lijado



Foto 55. Lijado de las soldaduras



Foto 56. Resultado



Foto 57. Nuevo cepillado



Foto 58. Tras el cepillado



Foto 59. Medición estribos



Foto 60 Corte de los estribos



Foto 61. Estribos ya preparados



Foto 62. Presentación de los estribos para fijar posición taladros



Foto 63. Ejecución de los taladros



Foto 64. Limpieza de los taladros por soplado



Foto 65. Producto a inyectar



Foto 66. Proceso de inyección



Foto 67. El producto debe rebosar



Foto 68. Resultado tras inyección y colocación estribos



Foto 69. Punto de soldadura entre armadura y estribos



Foto 70. Limpieza del hormigón



Foto 71. resultado de la limpieza



Foto 72. Inicio aplicación protección anticorrosión



Foto 73. Aplicación protección anticorrosión



Foto 74. Resultado aplicación protección anticorrosión



Foto 75. Detalle aplicación protección anticorrosión



Foto 76. Sierra de disco



Foto 77. Medida de la hoja de la sierra



Foto 78. Aspirador



Foto 79. Preparación del aspirador



Foto 80. Corte del hormigón



Foto 81. Corte del hormigón



Foto 82. Corte del hormigón



Foto 83. Corte del hormigón. Particular de la aspiración



Foto 84. Corte del hormigón



Foto 85. Corte del hormigón



Foto 86. Corte del hormigón



Foto 87. Corte del hormigón



Foto 88. Corte del hormigón.



Foto 89. Corte del hormigón



Foto 90. Picado del hormigón



Foto 91. Picado del hormigón



Foto 92. Picado del hormigón



Foto 93. Picado del hormigón



Foto 94. Picado del hormigón



Foto 95. Picado del hormigón



Foto 96. Picado del hormigón



Foto 97. Corte de las armaduras



Foto 98. Corte de las armaduras



Foto 99. Fase intermedia



Foto 100. Fase intermedia



Foto 101. Corte zona estribos



Foto 102. Picado del hormigón



Foto 103. Picado del hormigón



Foto 104. Corte armadura



Foto 105. Resultado corte armaduras



Foto 106. Tratamiento del corte de las armaduras



Foto 107. Preparación nueva armadura



Foto 108. Presentación de las barras a testa



Foto 109. Soldado de las barras



Foto 110. Soldado de las barras



Foto 111. Soldado de las barras



Foto 112. Soldado de las barras a testa



Foto 113. Resultado de la soldadura a testa



Foto 114. Detalle de la soldadura



INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Foto 1.Muestra 1 en laboratorio Universidad de Alicante	106
Foto 2.Inicio de ejecución y control de los procesos	106
Foto 3.Proceso de picado	106
Foto 4.Replanteo fase de picado tomando 1m de referencia.....	107
Foto 5.Detalle del replanteo inicial	107
Foto 6.Picado de un tramo de 1m	107
Foto 7.Eliminación de restos de polvo.....	108
Foto 8.Comparación de zonas con y sin limpieza.....	108
Foto 9.Detalle de limpieza con agua tras picado	108
Foto 10.Disco de alambres de acero para limpieza de barras	109
Foto 11.Detalle de herramienta de limpieza	109
Foto 12.Proceso de limpieza de barras	109
Foto 13.Limpieza de barras.....	110
Foto 14.Limpieza de barras en parte trasera.....	110
Foto 15.Proceso de limpieza en cara interior	110
Foto 16.Protección anticorrosión utilizada.....	111
Foto 17.Condiciones de aplicación de la protección anticorrosión.....	111
Foto 18.Preparación de la protección anticorrosión in situ	111
Foto 19.Preparación de la protección.....	112
Foto 20.Grado de limpieza antes de la protección	112
Foto 21.Aplicación de la protección.....	112
Foto 22.Aplicación de la protección.....	113
Foto 23.Protección en la parte trasera de las armaduras	113
Foto 24.Protección en parte trasera.....	113
Foto 25.Aplicación de la protección.....	114
Foto 26.Detalle de la protección en todas las zonas expuestas	114
Foto 27.Detalle de barra protegida	114
Foto 28.Protección anticorrosión en zona de estribos	115
Foto 29.Fin de ejecución y control del proceso.....	115
Foto 30.Inicio ejecución por corte y sustitución de armadura	115
Foto 31.Proceso de corte de los estribos	116
Foto 32.Corte de las armaduras	116
Foto 33.Fin proceso de corte	116



Foto 34.Estado tras el corte	117
Foto 35.Detalle del estado tras el corte: armadura y estribo	117
Foto 36.Superficie de la armadura tras el corte.....	117
Foto 37.Cepillo.....	118
Foto 38. Proceso de cepillado	118
Foto 39.Armadura tras el cepillado	118
Foto 40.Resultado tras el cepillado.....	119
Foto 41.Detalle del extremo tras el cepillado.....	119
Foto 42.Comprobación longitud de solape	119
Foto 43.Medición y replanteo nueva barra	120
Foto 44.Preparación corte nueva barra	120
Foto 45.Presentación y anclado de la barra sobre anclajes	120
Foto 46.Barras ancladas	121
Foto 47.Proceso de soldado de las barras.....	121
Foto 48.Resultado tras la soldadura	121
Foto 49.Resultado tras la soldadura	122
Foto 50.Detalle tras la soldadura	122
Foto 51.Preparación del cepillo.....	122
Foto 52.Cepillado	123
Foto 53. Estado tras el cepillado.....	123
Foto 54.Preparación del lijado	123
Foto 55.Lijado de las soldaduras	124
Foto 56.Resultado	124
Foto 57.Nuevo cepillado	124
Foto 58.Tras el cepillado	125
Foto 59.Medición estribos	125
Foto 60 Corte de los estribos	125
Foto 61.Estribos ya preparados.....	126
Foto 62.Presentación de los estribos para fijar posición taladros	126
Foto 63.Ejecución de los taladros.....	126
Foto 64.Limpieza de los taladros por soplado	127
Foto 65.Producto a inyectar	127
Foto 66.Proceso de inyección.....	127
Foto 67.El producto debe rebosar	128
Foto 68. Resultado tras inyección y colocación estribos	128
Foto 69.Punto de soldadura entre armadura y estribos	128
Foto 70.Limpieza del hormigón.....	129
Foto 71.resultado de la limpieza	129



Foto 72. Inicio aplicación protección anticorrosión	129
Foto 73. Aplicación protección anticorrosión	130
Foto 74. Resultado aplicación protección anticorrosión	130
Foto 75. Detalle aplicación protección anticorrosión	130
Foto 76. Sierra de disco	131
Foto 77. Medida de la hoja de la sierra.....	131
Foto 78. Aspirador	131
Foto 79. Preparación del aspirador.....	132
Foto 80. Corte del hormigón	132
Foto 81. Corte del hormigón	132
Foto 82. Corte del hormigón	133
Foto 83. Corte del hormigón. Particular de la aspiración	133
Foto 84. Corte del hormigón	133
Foto 85. Corte del hormigón	134
Foto 86. Corte del hormigón	134
Foto 87. Corte del hormigón	134
Foto 88. Corte del hormigón.	135
Foto 89. Corte del hormigón	135
Foto 90. Picado del hormigón.....	135
Foto 91. Picado del hormigón.....	136
Foto 92. Picado del hormigón.....	136
Foto 93. Picado del hormigón.....	136
Foto 94. Picado del hormigón.....	137
Foto 95. Picado del hormigón.....	137
Foto 96. Picado del hormigón.....	137
Foto 97. Corte de las armaduras	138
Foto 98. Corte de las armaduras	138
Foto 99. Fase intermedia.....	138
Foto 100. Fase intermedia.....	139
Foto 101. Corte zona estribos	139
Foto 102. Picado del hormigón.....	139
Foto 103. Picado del hormigón.....	140
Foto 104. Corte armadura	140
Foto 105. Resultado corte armaduras	140
Foto 106. Tratamiento del corte de las armaduras.....	141
Foto 107. Preparación nueva armadura	141
Foto 108. Presentación de las barras a testa	141
Foto 109. Soldado de las barras.....	142



Foto 110. Soldado de las barras.....	142
Foto 111. Soldado de las barras.....	142
Foto 112. Soldado de las barras a testa.....	143
Foto 113.Resultado de la soldadura a testa.....	143
Foto 114. Detalle de la soldadura.....	143