



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Edificación

Validación de reparaciones de estructuras de hormigón
armado mediante la utilización de sensores embebidos.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Edificación

AUTOR/A: Nzang Ondo, Vanesa Pilar

Tutor/a: Liso Ferrando, Josep Ramon

Cotutor/a: Martínez Ibernón, Ana

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Agradecimientos

La realización de este trabajo no habría sido posible sin la guía, apoyo y ayuda de mis tutores, Dr. Josep Ramon Lliso Ferrando y Dra. Ana Martínez Ibernón, con los que estoy muy agradecida por transmitir y compartir su conocimiento y aceptarme como su alumna para el desarrollo de este Trabajo Final de Máster.

Gracias también a todos los profesionales que forman el equipo SMaRT del Laboratorio de Electroquímica de la ETSIE, todos ellos han hecho posible el desarrollo, realización y finalización de este trabajo.

Un especial agradecimiento a mis amigos y compañeros que empezamos esta aventura que está ya en su fase final, por su apoyo en todo momento. Mil gracias.

A mi familia por vuestro apoyo incondicional en cada paso que doy en mi carrera profesional, por vuestro aliento y confianza en los momentos difíciles, que han sido muchos en este camino. Mil gracias por todo.

Resumen

El hormigón armado es hoy en día el material de construcción más utilizado del mundo para la ejecución de estructuras, tanto en edificación como ingeniería civil. Entre las características que lo han llevado a su uso extendido, destacan sus propiedades mecánicas, coste, trabajabilidad, capacidad de adaptarse a diferentes formas y durabilidad.

La durabilidad se define como la habilidad del material de mantener intactas sus propiedades iniciales frente a solicitaciones o condiciones de exposición. En el caso del hormigón armado, su alta durabilidad se traduce en un periodo de vida útil más amplio que el que pueden ofrecer otros materiales. Sin embargo, desde los años 90 se ha identificado que la corrosión de las armaduras es una de las principales causas de merma y deterioro, reduciendo así la vida útil de las estructuras. Este fenómeno y sus consecuencias llevan asociado un elevado coste económico, tanto desde el punto de vista de las reparaciones, como del mantenimiento de las estructuras.

Debido a esto, es de vital importancia la inspección periódica de las estructuras de hormigón armado, y en su caso, siempre que sea necesario, llevar a cabo reparaciones fiables que permitan asegurar la minimización del proceso de corrosión de las armaduras y prevenir su futura reaparición.

En este trabajo se presenta una validación de diferentes procesos de reparación de estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión de las armaduras en ambientes marinos. En el caso de estudio de este Trabajo Final de Máster, el análisis se centra en los productos aplicados en superficie, y más concretamente, en el Sikagard-705 L, impregnación hidrófuga inhibidora de la corrosión aplicada en superficie. Como variables de estudio, se evalúa la eficacia del producto según su aplicación, antes de que aparezca el daño o una vez ya ha aparecido.

Para la validación de las diferentes variables estudiadas, en el trabajo se ha empleado una estrategia de monitorización de la corrosión mediante sensores embebidos. Además, el estudio propuesto se ha analizado también sobre una estructura a escala con graves daños de corrosión tras cinco años de vida útil.

Los resultados obtenidos han permitido demostrar la eficacia del producto analizado y la respuesta que ofrece en ambientes marinos de gran agresividad (ambiente de exposición XS3).

Palabras clave: Corrosión, Hormigón Armado, Reparación, Monitorización, Sensores.

Resum

Hui en dia, el formigó armat és el material de construcció més utilitzat del món per a l'execució d'estructures, tant en edificació com en enginyeria civil. Entre les característiques que han portat al seu ús estes, destaquen les seues propietats mecàniques, cost, treballabilitat, capacitat d'adaptar-se a diferents formes i durabilitat.

La durabilitat es defineix com l'habilitat del material de mantenir intactes les seues propietats inicials enfront de sol·licitacions o condicions d'exposició. En el cas del formigó armat, la seua alta durabilitat es tradueix en un període de vida útil més ampli que el que poden oferir altres materials. No obstant això, des dels anys 90 s'ha identificat que la corrosió de les armadures és una de les principals causes de minvament i deteriorament, reduint així la vida útil de les estructures. Aquest fenomen i les seues conseqüències porten associat un elevat cost econòmic, tant des del punt de vista de les reparacions, com del manteniment de les estructures.

A causa d'això, és de vital importància la inspecció periòdica de les estructures de formigó armat, i si és el cas, sempre que siga necessari, dur a terme reparacions fiables que permeten assegurar la minimització del procés de corrosió de les armadures i previndre la seua futura reaparició.

En aquest treball es presenta una validació de diferents processos de reparació d'estructures de formigó armat afectades per la corrosió de les armadures en ambients marins. En el cas d'estudi d'aquest Treball Final de Màster, l'anàlisi es centra en els productes aplicats en superfície, i més concretament, en el Sikagard-705 L, impregnació hidròfuga inhibidora de la corrosió aplicada en superfície. Com a variables d'estudi, s'avalua l'eficàcia del producte segons la seua aplicació, abans que hi haja problemes per corrosió, o una vegada ja s'ha produït l'inici del procés electroquímico en l'armadura.

Per a la validació de les diferents variables estudiades, en el treball s'ha emprat una estratègia de monitoratge de la corrosió mitjançant sensors embeguts. A més, l'estudi proposat s'ha analitzat també sobre una estructura a escala amb greus danys per corrosió després de cinc anys de vida útil.

Els resultats obtinguts han permés demostrar l'eficàcia del producte analitzat i la resposta que ofereix en ambients marins de gran agressivitat (ambient d'exposició XS3).

Paraules clau: Corrosió, Formigó Armat, Reparació, Monitoratge, Sensors.

Abstract

Today, reinforced concrete is the most widely used construction material in the world for the construction of structures, both in building and civil engineering. Among the characteristics that have led to its widespread use are its mechanical properties, cost, workability, ability to adapt to different shapes and durability.

Durability is defined as the material's ability to maintain its initial properties intact in the face of stresses or exposure conditions. In the case of reinforced concrete, its high durability translates into a longer service life than other materials can offer. However, since the 1990s, corrosion of the reinforcement has been identified as one of the main causes of deterioration and early failure, thus reducing the service life of structures. This phenomenon and its consequences are associated with high economic costs, both in terms of repairs and maintenance of structures.

Because of this, it is of vital importance to periodically inspect reinforced concrete structures and, where necessary, carry out reliable repairs to ensure that the corrosion process of the reinforcement is minimised and to prevent its future reappearance.

This work presents a validation of different repair processes for reinforced concrete structures affected by reinforcement corrosion in marine environments. In the case study of this Master's thesis, the analysis focuses on surface-applied products, and more specifically, on Sikagard-705 L, a surface-applied hydrophobic corrosion-inhibiting impregnation. As study variables, the efficacy of the product is evaluated according to its application, before the damage appears or once it has already appeared.

For the validation of the different variables studied, a corrosion monitoring strategy using embedded sensors has been used in the work. In addition, the proposed study has also been analysed on a scale structure with severe corrosion damage after five years of service life.

The results obtained have demonstrated the effectiveness of the product analysed and the response it offers in highly aggressive marine environments (XS3 exposure environment).

Keywords: Corrosion, Reinforced Concrete, Repairs, Monitoring, Sensors.

ÍNDICE:

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN.....	5
RESUM	7
ABSTRACT	9
ÍNDICE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
1. OBJETIVOS	17
1.1. <i>Objetivo principal</i>	17
1.1.1. Objetivos específicos	17
1.2. <i>Metodología</i>	17
2. ESTADO DEL ARTE.....	19
2.1. <i>Introducción</i>	19
2.2. <i>Corrosión</i>	21
2.2.1. Electroquímica de la corrosión	21
2.2.2. Pila electroquímica	22
2.3. <i>Corrosión en hormigón armado</i>	23
2.3.1. Corrosión en el acero embebido en el hormigón	23
2.3.2. Factores desencadenantes de la corrosión	24
2.3.3. Diagrama de Tuutti	25
2.3.4. Consecuencias de la corrosión	27
2.4. <i>Análisis de la corrosión</i>	28
2.5. <i>Métodos de reparación</i>	33
2.5.1. Principios y métodos relativos a defectos en hormigón	36
2.5.2. Principios y métodos relativos a la corrosión de las armaduras.....	38
3. PLAN EXPERIMENTAL	39
3.1. <i>Fabricación de sensores</i>	39
3.2. <i>Fabricación de hormigones</i>	42
3.3. <i>Proceso de curado de los hormigones</i>	45
3.4. <i>Caracterización de los hormigones fabricados</i>	47
3.4.1. Resistencia a compresión	47
3.4.2. Porosidad accesible al agua	47
3.4.3. Absorción de agua por capilaridad	48
3.4.4. Permeabilidad al oxígeno	49
3.4.5. Migración de cloruros D_{nssm}	50
3.4.6. Carbonatación acelerada	51
3.4.7. Resistividad eléctrica	52
3.5. <i>Monitorización de la corrosión</i>	52
3.5.1. Probetas utilizadas	52
3.5.2. Acondicionamiento de las probetas de hormigón armado	53
3.5.3. Variables de estudio.....	54
3.5.4. Condiciones de exposición de las probetas	55
3.5.5. Monitorización de la corrosión	58
3.6. <i>Monitorización de la corrosión en un caso real</i>	59
4. RESULTADOS	63
4.1. <i>Caracterización del hormigón</i>	63
4.2. <i>Monitorización de las probetas</i>	64
4.2.1. Seguimiento de la corrosión	64
4.2.2. Pérdida de masa	67
4.2.3. Pérdida de sección	69
4.3. <i>Monitorización de estructura real</i>	70
5. CONCLUSIONES.....	72
BIBLIOGRAFÍA	74

ANEXOS	77
5.1. <i>Anexo 1. Sikaflex 111 Stick and Seal</i>	78
5.2. <i>Anexo 2. Sikagard-62</i>	82
5.3. <i>Anexo 3. SikaViscoCrete-20 HE</i>	86
5.4. <i>Anexo 4. Sikagard-705L</i>	89
5.5. <i>Anexo 5. Impermeabilización marca Ureña</i>	93

Índice figuras

Figura 2. 1. Ejemplo de problemas de corrosión en edificios.....	21
Figura 2. 2. Pila Electroquímica. Adaptación	22
Figura 2. 3. Diagrama de Tuutti. Adaptación.....	26
Figura 2. 4. Proceso de evaluación estructural de una construcción existente. Adaptación.....	29
Figura 2. 5. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (I). Visión global. Adaptación.....	30
Figura 2. 6. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (II). Análisis cualitativo. Adaptación	31
Figura 2. 7. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (III). Análisis cuantitativo. Adaptación	32
Figura 2. 8. Evolución del rendimiento de una estructura de hormigón armado bajo procesos de corrosión con el tiempo. Adaptación.	33
Figura 2. 9. Actuaciones de reparación en estructuras de hormigón armado en función del avance de la corrosión. (a) reparaciones de mantenimiento continuo, (b) reparaciones periódicas, (c) reparación profunda. Adaptación.....	33
Figura 2. 10. Esquema de una impregnación hidrófoba típica. Adaptación.....	37
Figura 2. 11. Esquema de una impregnación típica. Adaptación.....	37
Figura 2. 12. Esquema de revestimiento típico. Adaptación	38
Figura 3. 1. Geometría del sensor. Elaboración propia	39
Figura 3. 2. Fabricación de sensores. A. Sujeción de tubería en el sargento, B. Piezas cortadas de 20 mm y 30 mm de tubo de PVC, C. Corte de armaduras (L=120 mm), D. Cepillado mecánico de armaduras en taladro de columna. E. Armaduras limpias, F. Identificación numérica de las armaduras.	40
Figura 3. 3. Fabricación de sensores. A. Encamisado de sensores parte inferior (A) y superior (B) con Sikaflex 111. C y D. Sellado con Sikaguard 62 parte inferior (C) y superior (D)	41
Figura 3. 4. Evaluación de la humedad de los áridos	43
Figura 3. 5. Fabricación de hormigones. A. Hormigonado por tongadas, B. Vibrado de probetas. C. probetas vibradas, D. Colocación de sensores en hormigón con ayuda de un vibrador, E. Sensores colocados, F. Probetas para la caracterización vibradas.....	45
Figura 3. 6. Proceso de curado de los hormigones. A. Curado de probetas en la calle. B. Curado de probetas en cámara de curado. C. Cámara de curado. D. Humedecido de probetas en cámara de curado.....	46
Figura 3. 7. Descripción de las probetas utilizadas para realizar el estudio de monitorización de la corrosión.	53
Figura 3. 8. Preparación probetas. A. Marcado de 10 mm en caras laterales de probetas con cinta de carroceros. B. Impermeabilización laterales probetas. C. Impermeabilización caras superiores probetas. D. Identificación probetas según grupo SP, CP, CPT.....	54
Figura 3. 9. Impermeabilización con impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión Sikagard-705 L. A. Grupo CP (t=0 días), B. Grupo CPT (t=183 días).....	55

Figura 3. 10. Condiciones de exposición probetas. A. Bombas, B. Probetas colocadas en cubetas, C. Esquema de funcionamiento bombas.	56
Figura 3. 11. A. recogida y pesado del agua de grifo, B. Pesado de la sal común. C. Mezcla de agua con sal con taladro con broca mezcladora. D. Vertido de agua con sal en las cubetas, E. Agua con sal en cubetas hasta la marca de impermeabilización de probetas, F. Montaje final del sistema con las bombas.....	57
Figura 3. 12. Ejemplo de ciclos de mareas recreado sobre las probetas de hormigón armado. Elaboración propia	57
Figura 3. 13. Monitorización de la corrosión en probetas. A. Equipo de microprocesadores. B. Conexión de sensores al equipo de microprocesadores.....	58
Figura 3. 14. Intervención en estructura real. A. Estructura antes de la intervención. B. Identificación de armaduras. C. Cuadrícula de armaduras identificadas.....	60
Figura 3. 15. A. Extracción de testigos con taladro saca testigos de broca de 42 mm. B. Testigos extraídos. C. Comprobación del recubrimiento de la losa. D. Prueba de la fenolftaleína. E. Medida de profundidad de carbonatación	60
Figura 3. 16. Intervención estructura real. A. Cepillado armadura losa, B. Preparación de armadura losa. C. sensor utilizado para conexión con la armadura de la losa, D. Sensores conectados con puntos de soldadura, E. Sellado de sensores con pintura epoxi Sikaguard-62.....	61
Figura 3. 17. Intervención estructura real. A y B. Colocación depósito de agua de mar con sellado de juntas, C. Aplicación de inhibidor de la corrosión Sikaguard-705L aplicado, D. Sistema de monitorización montado, E. Agua de mar con el nivel bajado, F. Presencia de fisuras en la zona de los sensores.	62
Figura 4 1. Evolución de la intensidad de corrosión. Elaboración propia.....	64
Figura 4 2. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,45. Elaboración propia	65
Figura 4 3. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,65. Elaboración propia	66
Figura 4 4. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,85. Elaboración propia	67
Figura 4 5. Evolución de la pérdida de masa de las armaduras. Elaboración propia	68
Figura 4 6. Evolución de la pérdida de sección. Elaboración propia	70
Figura 4 7. Evolución de la corrosión en puntos de medida generados en estructura existente. Elaboración propia	71

Índice de tablas

Tabla 2. 1. Principios y métodos relativos a los defectos del hormigón. Adaptación	35
Tabla 2. 2. Principios y métodos de reparación relativos a la corrosión de las armaduras. Adaptación.....	36
Tabla 3. 1. Dosificación de componentes del hormigón (kg/m ³).	42
Tabla 3. 2. Volumen de hormigón necesario por mezcla.	43
Tabla 3. 3. Cantidad de material (kg) para la fabricación de 35 litros de hormigón	43
Tabla 3. 4. Humedades de los áridos.	44
Tabla 3. 5. Dosificación definitiva utilizada.	44
Tabla 4 1. Resultados de caracterización de los distintos hormigones fabricados...	63

1. OBJETIVOS

En este capítulo se establecen tanto el objetivo principal como los objetivos específicos del trabajo. Por otro lado, se presenta la metodología que se ha seguido para desarrollar el trabajo y alcanzar dichos objetivos.

1.1. Objetivo principal

El objetivo principal de este trabajo es analizar la eficacia de un inhibidor de la corrosión aplicado en superficie (Sikagard-705 L, impregnación hidrófuga a base de silanos) en reparaciones de estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión de sus armaduras.

1.1.1. Objetivos específicos

Con la finalidad de alcanzar el objetivo principal, se plantean también una serie de objetivos específicos.

- Realizar un vaciado bibliográfico en torno a los métodos más habituales para la ejecución de trabajos de reparación en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión de las armaduras, haciendo hincapié en los casos de corrosión por exposición a ambientes marinos.
- Fabricar y caracterizar seis hormigones con distintas relaciones agua/cemento y procesos de curado.
- Monitorizar la corrosión mediante sensores embebidos en probetas de hormigón sometidas a condiciones de exposición XS3 (zona de carrea de mareas afectadas por el oleaje o las salpicaduras). Parte de estas muestras contarán con el producto inhibidor de la corrosión (Sikagard-705L) aplicado en superficie.
- Determinar la influencia del producto inhibidor de la corrosión dependiendo del momento de aplicación, previamente al inicio de la exposición a un ambiente marino, o bien cuando los cloruros del ambiente ya han difundido hacia el interior del hormigón.
- Evaluar la respuesta del producto (Sikagard-705 L) en un caso real tras la intervención en una estructura a escala existente con un nivel previo de corrosión alto. Monitorización de la corrosión a través de sensores embebidos.

1.2. Metodología

La metodología de trabajo para conseguir los objetivos planteados en el apartado anterior se divide en los siguientes capítulos.

- Capítulo 1. Se definen los objetivos y la metodología a seguir en este Trabajo Final de Máster
- Capítulo 2. Estado del arte y revisión de la literatura existente en torno al eje central de este Trabajo. Este subapartado se divide en los siguientes puntos:
 - introducción al proceso electroquímico de la corrosión y descripción de los principios y procesos de este fenómeno;
 - descripción del proceso electroquímico de la corrosión en las estructuras de hormigón armado: cuál es su origen, cómo se desarrolla y cuáles son sus consecuencias;

- evaluación de las metodologías para la inspección de la corrosión en estructuras de hormigón armado existentes;
 - descripción de los métodos y procedimientos descritos en la normativa UNE-EN 1504 para ejecutar reparaciones en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión de sus armaduras.
- Capítulo 3. Se describe el plan experimental seguido para el análisis de la eficacia del producto de reparación de estructuras de hormigón armado afectadas por procesos de corrosión utilizado en este trabajo. Se describe:
 - la fabricación de los sensores utilizados para la monitorización de la corrosión, los distintos hormigones fabricados y las probetas para llevar a cabo el estudio;
 - los ensayos realizados para la caracterización del material;
 - las condiciones de exposición de las probetas donde se monitorizó la corrosión mediante sensores embebidos;
 - el proceso de monitorización de la corrosión utilizado;
 - el trabajo de reparación e implementación de sensores realizado sobre estructura existente fabricada a escala para la evaluación del producto de reparación en un caso real.
- Capítulo 4. Se presentan los resultados obtenidos en:
 - los ensayos de caracterización del material;
 - el proceso de monitorización de la corrosión en probetas de hormigón armado;
 - la monitorización de la corrosión en una estructura existente.
- Capítulo 5. Se presentan las conclusiones del trabajo, extraídas a partir de los resultados obtenidos.
- Bibliografía.
- Anexos

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica en torno al eje central de este trabajo, la problemática de la corrosión en las estructuras de hormigón armado (implicaciones a nivel estructural, costes económicos, sociales, medioambientales) y las soluciones utilizadas actualmente para hacerles frente. Para ello, esta sección se ha dividido en un primer bloque, donde se describen los fundamentos teóricos para entender el fenómeno electroquímico de la corrosión: cómo afecta a las estructuras de hormigón armado, las causas que lo originan y sus consecuencias. Posteriormente, se recalca la importancia de llevar a cabo evaluaciones o inspecciones periódicas para el análisis de este fenómeno, enumerando las metodologías y técnicas más utilizadas actualmente y, por último, se explican los métodos de reparación utilizados para garantizar la vida útil de las estructuras.

2.1. Introducción

En la actualidad, la corrosión de las armaduras es una de las principales causas de fallo prematuro de las estructuras de hormigón armado (1). El daño causado por este fenómeno se puede observar tanto en estructuras de más de 50 años como en estructuras cuya vida útil es inferior a 20 años (2).

Los daños producidos por la corrosión en las estructuras de hormigón armado son habitualmente estéticos, sin embargo, sus consecuencias pueden ir mucho más allá, causando una merma importante en la capacidad mecánica de la propia estructura (3). Entre los problemas más habituales, destacan la pérdida de sección de acero, la merma en la adherencia acero-hormigón o el desprendimiento del recubrimiento (4). Todo esto lleva asociado un coste económico importante, un desaprovechamiento de los recursos al no llegar las estructuras a la vida útil para la que fueron diseñadas, pero, sobre todo, un riesgo importante en la seguridad estructural y humana.

La corrosión es un fenómeno que se desarrolla internamente en las estructuras de hormigón armado y es difícilmente detectable hasta que no se encuentra bastante avanzado. La despreocupación, el desconocimiento, o la falta de atención de este fenómeno en las estructuras implica la necesidad de llevar a cabo reparaciones una vez el daño es grave, lo que genera una gran cantidad de costes que son difícilmente cuantificables (5). Por un lado, se encuentran los costes directos, ligados a las tareas de reparación, donde existen diferentes metodologías (parcheado, refuerzo, etc.). Por otro lado, a este gasto económico también se deben añadir los costes indirectos, relacionados con la paralización de uso de estructuras o también con costes sociales y medioambientales. Los costes medioambientales están vinculados a la generación de nuevos residuos, consumo de recursos naturales (áridos) y emisiones de CO₂. Mientras que los costes sociales están relacionados con la interrupción en la utilización de la estructura mientras se está reparando y pérdidas de producción (6).

Un artículo publicado en la WCO, de sus siglas en inglés *World Corrosion Organization*, explica que la primera evaluación del coste de la corrosión (el informe Hoar) se realizó en la década los 70. Este documento revelaba que entre el 3% y 4% del Producto Interior Bruto (PIB) de los países industrializados se debía invertir anualmente

en trabajos para paliar los daños por corrosión. Estudios de los años posteriores señalaban datos similares, aunque el porcentaje variaba en función de cada país (7).

En 2001 la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA), con el apoyo de NACE Internacional, publicó el último estudio sobre el coste generado por la corrosión. Estos estudios documentaron que en EE.UU. el 3,14% del PIB, equivalente a 276 mil millones de dólares, se destinaba anualmente a paliar los daños o efectos de la corrosión. Esta cantidad incluye únicamente los costes directos de sustitución de materiales y elementos dañados. Se estimó que los costes indirectos relacionados con la pérdida de producción, impactos ambientales, lesiones y otras pérdidas suponían un coste similar al gasto directo, duplicando el gasto. Es difícil cuantificar el coste a nivel global, ya que no todos los países cuentan con datos actualizados. Sin embargo, algunos estudios indican de manera aproximada que la corrosión en todo el mundo generaba a principios de siglo costes del orden de 552 mil millones de dólares (7).

Actualmente, según la WCO, los costes directos estimados de la corrosión en todo el mundo se sitúan entre 1,3 y 1,4 billones de euros al año. Algunos autores indican que se podría ahorrar entre un 20% y un 25% si se aplicaran correctamente las tecnologías de control actuales de este fenómeno (8). Esto conduciría a una reducción significativa de los gastos en intervenciones, reparaciones y/o sustitución de las estructuras, generando también un impacto en el PIB de los países más desarrollados, donde se ahorrarían grandes cantidades de dinero y se permitiría un mayor número de inversiones en recursos tecnológicos para el seguimiento y control de las estructuras para garantizar su vida útil. (8).

En el caso particular de las estructuras de hormigón armado, el coste de la vida útil de una estructura es el sumatorio de los costes de construcción más los costes de mantenimiento y reparación, donde estas últimas suelen prolongarse en el tiempo (6). En algunos casos, se estima que los costes de mantenimiento y reparación de las estructuras de hormigón armado suele ser generalmente superior al coste inicial de construcción (6).

$$Coste\ total_{vida\ útil} = costes_{const.} + \sum Costes_{reparaciones} \quad Ec\ 2.1$$

Sin embargo, para profundizar en la corrosión y específicamente, en el caso de la corrosión en las estructuras de hormigón armado, en primer lugar, debe realizarse una breve revisión de los fundamentos electroquímicos del proceso y sus características para el caso que abarca este trabajo.

En la Figura 2. 1 se muestran ejemplos de los efectos de la corrosión en los edificios y estructuras de hormigón armado.



Figura 2. 1. Ejemplo de problemas de corrosión en edificios

2.2. Corrosión

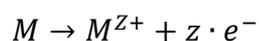
El hierro, como muchos otros minerales, se encuentran en la naturaleza formando parte de otros compuestos, como óxidos, por lo que difícilmente se puede obtener en su estado puro. De las industrias siderúrgicas es posible obtenerlo en su estado natural, pero como todo metal, tiende a volver a su estado natural, es decir, a un estado combinado (8).

En este apartado se describen los procesos electroquímicos de la corrosión para entender este fenómeno.

2.2.1. Electroquímica de la corrosión

La corrosión es el deterioro de un material, generalmente un metal, que resulta de la reacción química o electroquímica con su entorno. Este deterioro conlleva la modificación de sus propiedades (8).

El proceso fundamental de la corrosión se expresa mediante la siguiente fórmula:



Ec 2. 2

De lo anterior se puede entender que químicamente, la corrosión se define como el paso de un metal (M) en su estado elemental, a su forma iónica (M^{z+}) cediendo un número (z) de electrones (e^-). Esto significa que el metal tiende volver a un estado combinado, por tanto, a su forma oxidada. Este proceso ocurre de forma natural y espontánea (2).

La naturaleza electroquímica de la corrosión genera que exista una zona anódica que pierde electrones, es decir, se oxida, mientras que otra región se define como catódica, es decir, que recibe electrones reduciéndose. Por otro lado, es fundamental que el metal o los metales que forman parte del proceso electroquímico se encuentren conectados eléctricamente y embebidos en un mismo electrolito, el cual es el conductor de los iones de la zona anódica a la zona catódica (9).

Para entender este proceso es necesario analizar la relación existente entre la corrosión y la pila electroquímica.

2.2.2. Pila electroquímica

En el siglo XIX, Alessandro Volta analizó cómo reaccionaban dos metales, cobre y zinc al sumergirlos en una disolución iónica. Sumergió cada uno de los metales en un electrolito con iones Zn^{++} y Cu^{++} respectivamente, y separados por un tabique poroso, tal como se muestra en la Figura 2. 2. En este caso el Zinc posee un potencial de reducción electroquímica mucho más negativo que el cobre, por lo que, el Zinc se corroe más que el cobre (2).

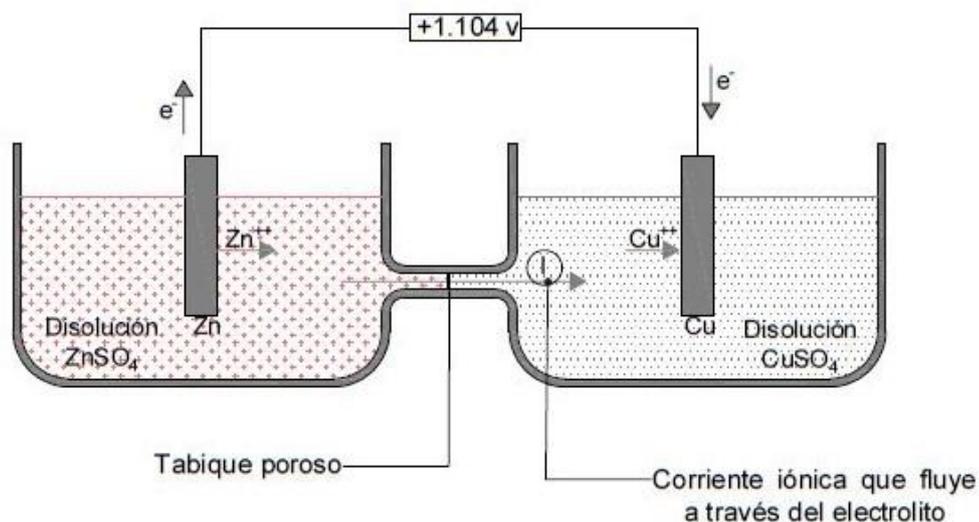


Figura 2. 2. Pila Electroquímica. Adaptación

En la figura anterior se observa que existe una corriente eléctrica entre los dos electrodos donde el sentido del flujo depende del potencial de reducción electroquímica de cada uno de los metales (10). El zinc es electroquímicamente más negativo que el cobre, así pues, los electrodos liberados por los cationes Zn^{2+} fluyen por el circuito desde el zinc al cobre debida a la diferencia de potencial entre los dos metales, por lo que, estos electrones son captados por los iones Cu^{2+} reduciéndose sobre el electrodo (2).

En el hormigón armado el proceso de corrosión ocurre igual que en la pila electroquímica, sólo que, en un único metal, el acero (armadura). Esta corrosión ocurre

por la existencia de una diferencia de potencial eléctrico entre las diferentes zonas del acero, tal como ocurre entre el zinc y el cobre en la pila electroquímica. Además, es necesario la presencia de un agente que propicie la corrosión como es el oxígeno (2).

De la región anódica del acero se ceden los electrones transfiriéndose a la zona catódica a través de la propia armadura. En la región catódica, el oxígeno disuelto en el hormigón se combina con los electrones cedidos por el acero con la ayuda de la humedad presente en el hormigón y la resistividad eléctrica de este (10).

2.3. Corrosión en hormigón armado

La corrosión en hormigón armado y cómo afecta a estas estructuras ha sido objeto de numerosos estudios por el motivo de que este fenómeno es una de las principales causas de deterioro prematuro de las estructuras de hormigón armado llegando a mermar la durabilidad y vida útil de ellas (2).

La durabilidad de las estructuras de hormigón armado no sólo se ve mermada por las cargas y sollicitaciones a las que van a estar sometidas, sino también por procesos de degradación tanto del hormigón como del acero embebido en este

La corrosión de las armaduras en estructuras de hormigón armado se produce cuando las estructuras son expuestas a un ambiente agresivo, llegando alterar la protección que confiere el hormigón al acero al formarse una capa de óxido pasivante en la interfaz hormigón-acero. Esta capa de óxido pasivante se forma en unas condiciones de alcalinidad determinadas de pH ($\text{pH} > 12,5$) del hormigón, junto con la existencia de un potencial electroquímico adecuado (8).

Esta capa pasivante que se forma sobre el acero tiene un espesor muy pequeño y cuando se modifica el pH del hormigón, esta se destruye causando así que el potencial de las barras de acero embebidas en el hormigón cambie a valores más electronegativos (8).

Las dos causas principales que pueden destruir dicha capa de óxido pasivante son:

- Ataque por cloruros
- Disminución de la alcalinidad, por carbonatación del hormigón

Estos factores pueden ocurrir de forma aislada o simultáneamente, lo que aumenta la gravedad del proceso. La corrosión conduce a la formación de productos expansivos que generan tensiones internas en el hormigón provocando una pérdida de adherencia y desprendimiento de recubrimiento. Por tanto, es muy importante realizar el seguimiento de los procesos de corrosión en las etapas de iniciación y propagación para asegurar la vida útil de las estructuras (8).

En este apartado se explicará cómo se comporta la corrosión en el acero que está embebido en el hormigón, los factores desencadenantes de la corrosión, el momento que se produce la corrosión (diagrama de Tuutti) y, por último, las consecuencias de la corrosión.

2.3.1. Corrosión en el acero embebido en el hormigón

En un acero embebido en el hormigón coexisten zonas anódicas y catódicas en la superficie de este acero.

El potencial electroquímico es función del entorno químico donde se encuentre el metal. Este entorno químico depende del contenido de oxígeno O₂, por tanto, no es necesaria la presencia de dos metales distintos para que funcionen las pilas de corrosión.

La región con un bajo contenido en oxígeno tendrá menor potencial y actuará de ánodo, lo que significa que se producirá la corrosión (9).

En este apartado se explican los factores que influyen para que se produzca la corrosión en el hormigón.

2.3.2. Factores desencadenantes de la corrosión

Tal como se ha mencionado anteriormente en el apartado 2.3, los principales factores desencadenantes de la corrosión que destruyen la capa de óxido pasivante son por:

- Reducción de alcalinidad del hormigón: **carbonatación, CO₂**
En este caso el dióxido de carbono, CO₂, presente en el ambiente disuelve la capa pasiva protectora del acero. La corrosión producida por carbonatación es de forma generalizada (9).
- Acción de iones pasivantes: **iones cloruro Cl⁻**
Los cloruros, Cl⁻ destruyen la capa pasiva, pero de forma localizada, produciendo corrosión en forma de picaduras en el acero. Esta corrosión se produce principalmente en ambientes marinos o en zonas donde se utilizan sales para el deshielo (9).

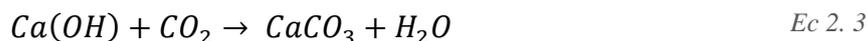
No obstante, también existen otros factores secundarios desencadenantes de la corrosión, estos son:

- Pilas de pH y de O₂
- Pares galvánicos
- Corrientes erráticas

En este apartado se analizará detalladamente los dos principales factores desencadenantes de la corrosión: la carbonatación y los cloruros.

2.3.2.1. Corrosión producida por la carbonatación del hormigón.

La carbonatación es la penetración del dióxido de carbono (CO₂) ambiental en la red porosa del hormigón, reaccionando químicamente con el hidróxido cálcico que procede de la hidratación del cemento y transformándose en carbonato cálcico (CaCO₃). Esta penetración del CO₂ genera una reducción del pH del hormigón el cual se sitúa en valores menos que 9 (pH ≈ 8,3) haciendo que la capa pasivante se vuelva inestable y, por consiguiente, se inicie la corrosión de las armaduras.



La velocidad de avance del frente de carbonatación se reduce con el tiempo ya que la carbonatación produce en el hormigón la reducción y obstrucción de la red de poros. Esta velocidad de carbonatación se define como:

$$d = K x t^{\frac{1}{n}} \quad Ec 2. 4$$

Siendo [d] la profundidad de carbonatación expresada en mm y [t] el tiempo en años. [K] es el coeficiente de carbonatación expresado en mm/año^{1/2}. [n] es un coeficiente de valor 2 (2).

En una inspección in situ la manera de saber si el hormigón está carbonatado y determinar la profundidad de carbonatación será mediante la utilización de un reactivo, la fenolftaleína. Según el color que se torne el hormigón se determinará que este está carbonatado y se podrá medir la profundidad.

Así pues, si el hormigón se torna de color rosado o rosa fucsia, significa que el pH de este es mayor a 9. Sin embargo, si es incoloro, el pH es inferior a 9 y, por tanto, el hormigón está carbonatado.

color rosado → pH > 9 → *medio ácido*

incoloro → pH < 9 → *carbonatación*

2.3.2.2. Corrosión producida por los cloruros

La presencia de cloruros (Cl⁻) en el interior de la masa de hormigón produce la disminución y destrucción de la capa de óxido pasivante de la armadura, provocando la corrosión local de esta (9).

El contenido de cloruros en el hormigón depende de:

- Contenido de humedad en el hormigón seco/hormigón saturado
- Calidad del hormigón, puesto que si aumenta la calidad del hormigón disminuye la permeabilidad
- Nivel de carbonatación del hormigón. En hormigones carbonatados el nivel de cloruros es más elevado (9).

A diferencia de la carbonatación que produce una corrosión generalizada en la armadura, los cloruros provocan corrosión localizada en forma de picaduras (11).

La corrosión producida por cloruros, picaduras, genera una pérdida de sección de la armadura de manera puntual, ya que la zona anódica es pequeña comparado con la zona catódica. La corrosión por picaduras suele ser considerada más peligrosa que cualquier otro tipo de corrosión puesto que puede alcanzar hasta 10 veces la penetración media de la corrosión generalizada (10).

La presencia de cloruros en el hormigón puede estar ocasionada por:

- Uso de materias primas como el agua o áridos contaminados con cloruros (10). También por la posible utilización de compuestos acelerantes de fraguado cloruro cálcico incorporado en el amasado del hormigón (2).
- Cloruros presentes en determinados ambientes, como medios marinos, zona de uso de sales de deshielo o por el contacto con aguas subterráneas que pudieran contener sales (2).

2.3.3. Diagrama de Tuutti

La vida útil de una estructura es el periodo de tiempo durante el cual esta mantiene su aptitud para el servicio y conserva todas sus características de funcionalidad, capacidad

portante y aspecto estético con un nivel de seguridad suficiente (2). El investigador sueco Kyösti Tuutti fue uno de los primeros en estudiar la vida útil de las estructuras de hormigón armado en función del fenómeno de la corrosión.

En 1982, Tuutti definió el modelo básico de vida útil de las estructuras de hormigón armado, donde se relaciona el grado de corrosión de las armaduras y la vida útil de las estructuras. Tuutti dividió este modelo en dos fases: periodo de iniciación y periodo de propagación tal como se muestra en la Figura 2. 3.

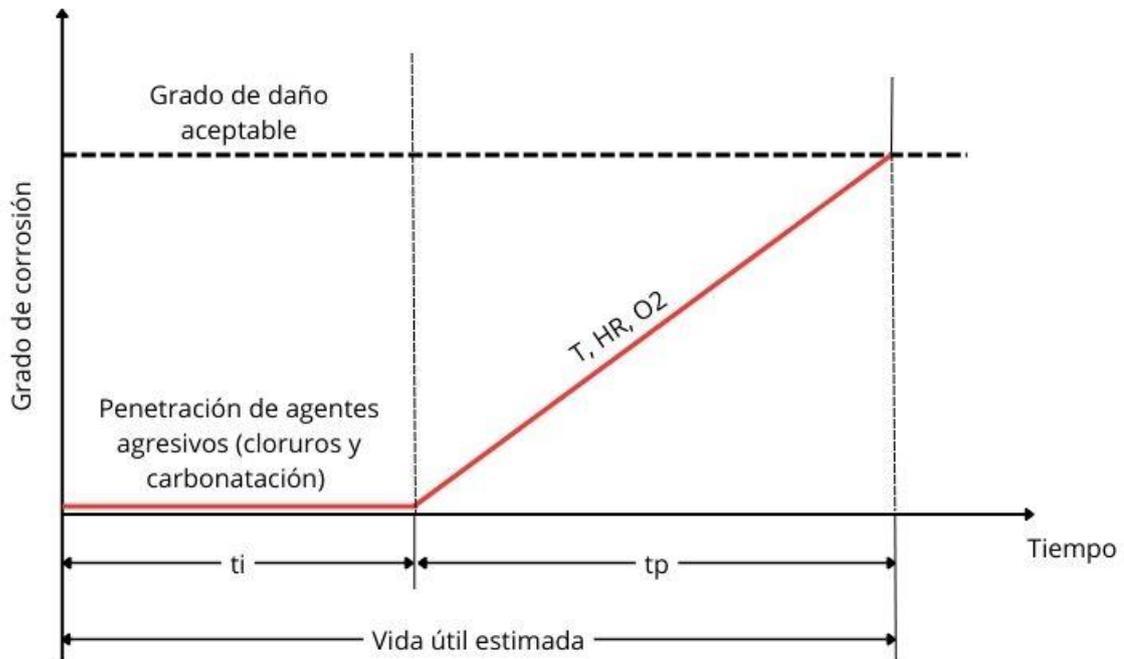


Figura 2. 3. Diagrama de Tuutti. Adaptación.

El periodo de iniciación (t_i) corresponde al tiempo en el que penetran los agentes agresivos, Cl^- y CO_2 a través del recubrimiento hasta llegar a la armadura, desestabilizando la capa pasiva protectora de la armadura y desencadenando así el inicio de la corrosión (10).

El periodo de propagación (t_p) comienza cuando termina la despasivación de la armadura y se ha iniciado la corrosión de esta. A partir de este momento, la corrosión llega a regularse dependiendo de las condiciones ambientales como la temperatura y humedad relativa y las condiciones propias de la estructura. Por lo que, el daño por este fenómeno aumenta progresivamente (2).

Según Tuutti, es en esta segunda etapa cuando la estructura empieza a perder capacidad resistente, ya que la corrosión genera una pérdida de sección de la armadura, menor capacidad mecánica, menor ductilidad del acero y pérdida de la adherencia en la interfaz hormigón-acero. Este periodo finaliza cuando la estructura pierde totalmente su capacidad y aptitud para el servicio (2).

Es en este periodo de propagación cuando es necesario acometer reparaciones y mantenimiento en las estructuras de hormigón armado antes de que esta llegue a perder por completo su capacidad resistente, debiendo determinar previamente el nivel de daño

existente en la estructura y los factores desencadenantes de la corrosión para poder elegir un método de reparación adecuado.

2.3.4. Consecuencias de la corrosión

Las consecuencias que la corrosión provoca en las estructuras de hormigón armado se pueden manifestar de tres maneras: sobre el hormigón, provocando su fisuración y desprendimiento, sobre la propia armadura, reduciendo su sección transversal, capacidad mecánica y su ductilidad, y sobre la adherencia entre el hormigón y el acero (10).

2.3.4.1. Efectos sobre el hormigón.

Los productos derivados de la corrosión de las armaduras son más voluminosos que el acero original de 2 a 6 veces (9). Estos productos son un conjunto de óxidos e hidróxidos conocidos comúnmente como herrumbre, que es un gel de color rojizo-amarronado (2).

La acumulación de estos productos puede llegar a migrar la herrumbre a la superficie del hormigón si la porosidad de este es alta y se puede identificar a simple vista. En caso de no alcanzar la superficie, estos productos se acumulan en los poros y espacios adyacentes a la región donde se produce la corrosión, en la interfaz entre el hormigón y el acero, lo cual, genera tensiones internas en el hormigón, provocando la fisuración en el recubrimiento (2). Este proceso termina con la pérdida del recubrimiento lo que se conoce como “spalling”.

Las fisuras constituyen una entrada de los agentes agresivos que provocan un aumento de la velocidad de corrosión y, por consiguiente, la disminución de la vida útil de la estructura (9).

2.3.4.2. Efectos sobre el acero.

El efecto que tiene la corrosión en el propio acero internamente se traduce en la merma de la capacidad mecánica de las armaduras debida a una pérdida de sección transversal de estas (2).

El proceso de corrosión que afecta a la barra de acero puede ser de forma generalizada, por carbonatación o únicamente en una parte de la sección, lo que se conoce por corrosión localizada (2).

Otra consecuencia de la corrosión en el acero es la pérdida de la ductilidad de la armadura debida a la acidificación del medio por los procesos de corrosión produciendo el aumento del hidrógeno en ese entorno. Esto ocasiona la reducción de la tenacidad de la armadura y la fácil rotura de esta (2).

2.3.4.3. Efectos en la adherencia acero-hormigón.

La aparición de fisuras en el recubrimiento del hormigón provocada por la corrosión de las armaduras ocasiona la pérdida de confinamiento ejercida por el hormigón sobre el acero, reduciendo así la fricción en la interfaz hormigón-acero y, como consecuencia, la pérdida de adherencia entre el hormigón y acero (10).

De igual forma, la corrosión afecta a las corrugas de las barras de acero, las cuales colaboran que haya una buena adherencia entre los dos materiales. Algunos estudios

demuestran que una pérdida de sección del 3% de una armadura supone una pérdida de más del 25% de la corruga (2).

2.4. Análisis de la corrosión

Tal como se ha mencionado en los puntos anteriores la corrosión es un problema al que se debe prestar mucha atención y solucionar. El Código Estructural en su capítulo 6 establece las bases generales para la gestión de las estructuras durante su fase de servicio. El artículo 24 de este capítulo explica los criterios generales para el mantenimiento de las estructuras refiriéndose al conjunto de actividades de mantenimiento necesarias a realizar por la propiedad para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada una estructura no disminuya durante su vida útil por debajo de un cierto umbral, en lo referido a características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, características estéticas (12).

Estas actividades de mantenimiento son de carácter obligatorio y preventivo para evitar o retrasar la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una solución más complicada. En la Figura 2. 4 se muestra el esquema del procedimiento para la redacción del informe de validación.

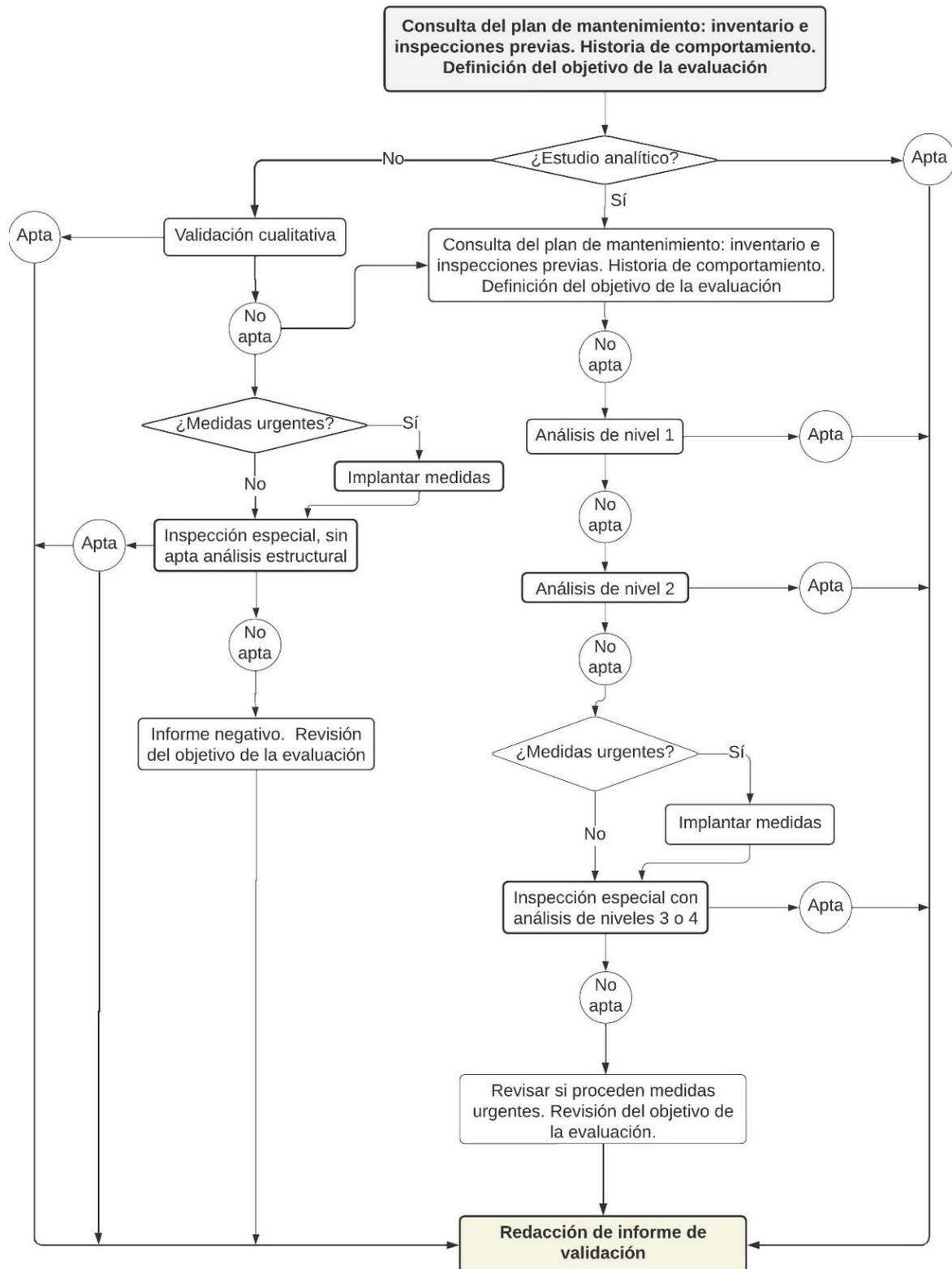


Figura 2. 4. Proceso de evaluación estructural de una construcción existente. Adaptación

En el caso de las estructuras existentes, el Artículo 25 de este capítulo establece los criterios y procedimientos generales para la evaluación de estas estructuras para asegurar que se alcanza la vida de servicio prevista en fase de proyecto (12). Estos procedimientos de evaluación en edificios son genéricos puesto que se realiza una evaluación preliminar mediante un estudio de la planificación de las tareas de inspección a realizar

posteriormente, una inspección visual con el objetivo principal de detectar daños producidos por la corrosión, delimitar las zonas con probabilidad de corrosión detectando manchas de óxido, fisuras, desprendimientos, etc; y las zonas de estudio futuro. Realización de técnicas cualitativas determinando las condiciones del recubrimiento mediante el uso del pachómetro, determinar el riesgo o la probabilidad de que las armaduras estén corroídas, etc. En la Figura 2. 5 se muestra el proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado.

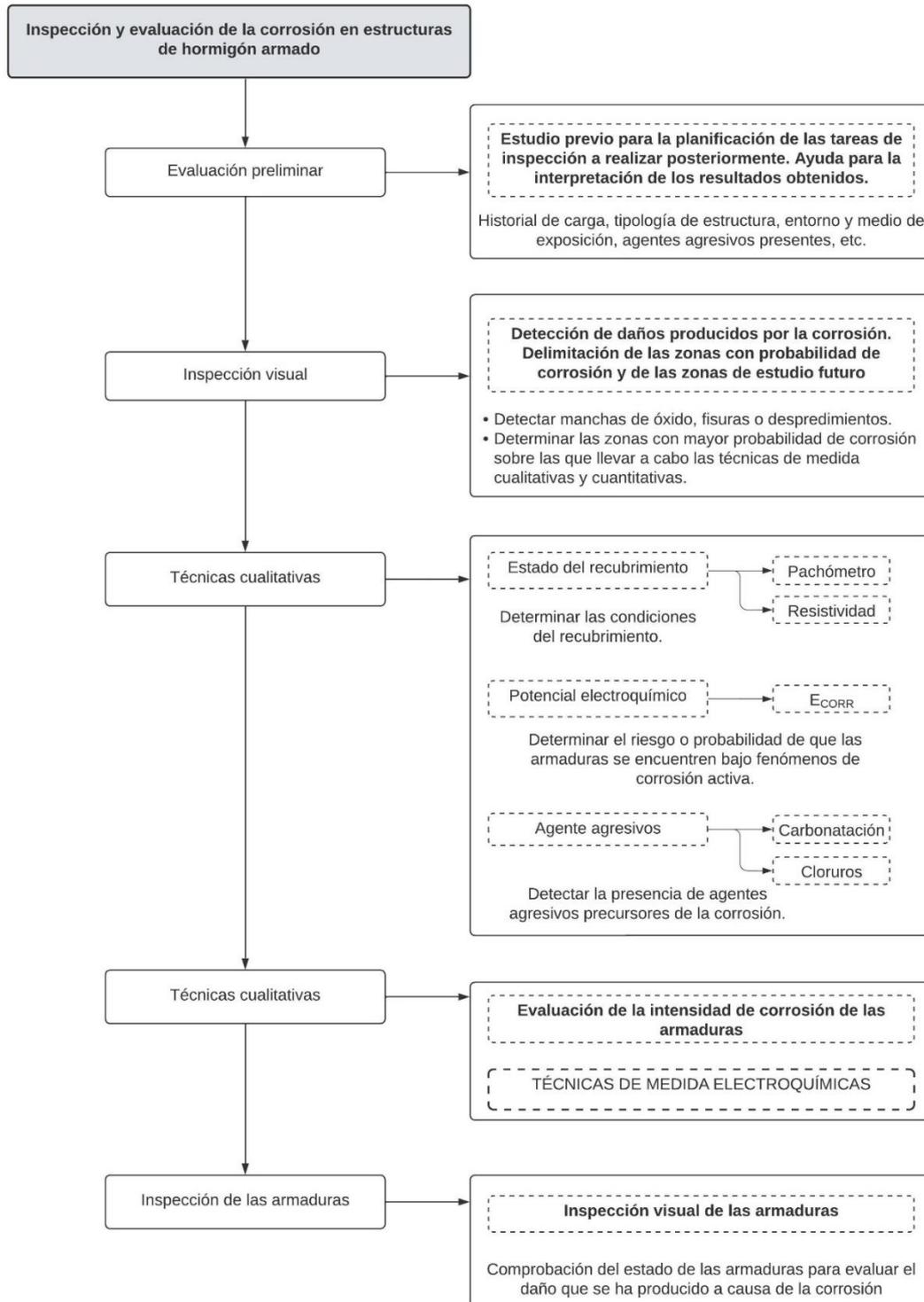


Figura 2. 5. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (I). Visión global. Adaptación

Las técnicas cualitativas no dan resultados numéricos, sino un índice de riesgo sobre la existencia de corrosión en las armaduras de las estructuras de hormigón armado y no son del todo fiables. En la Figura 2. 6 se muestra el proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de una inspección cualitativa.

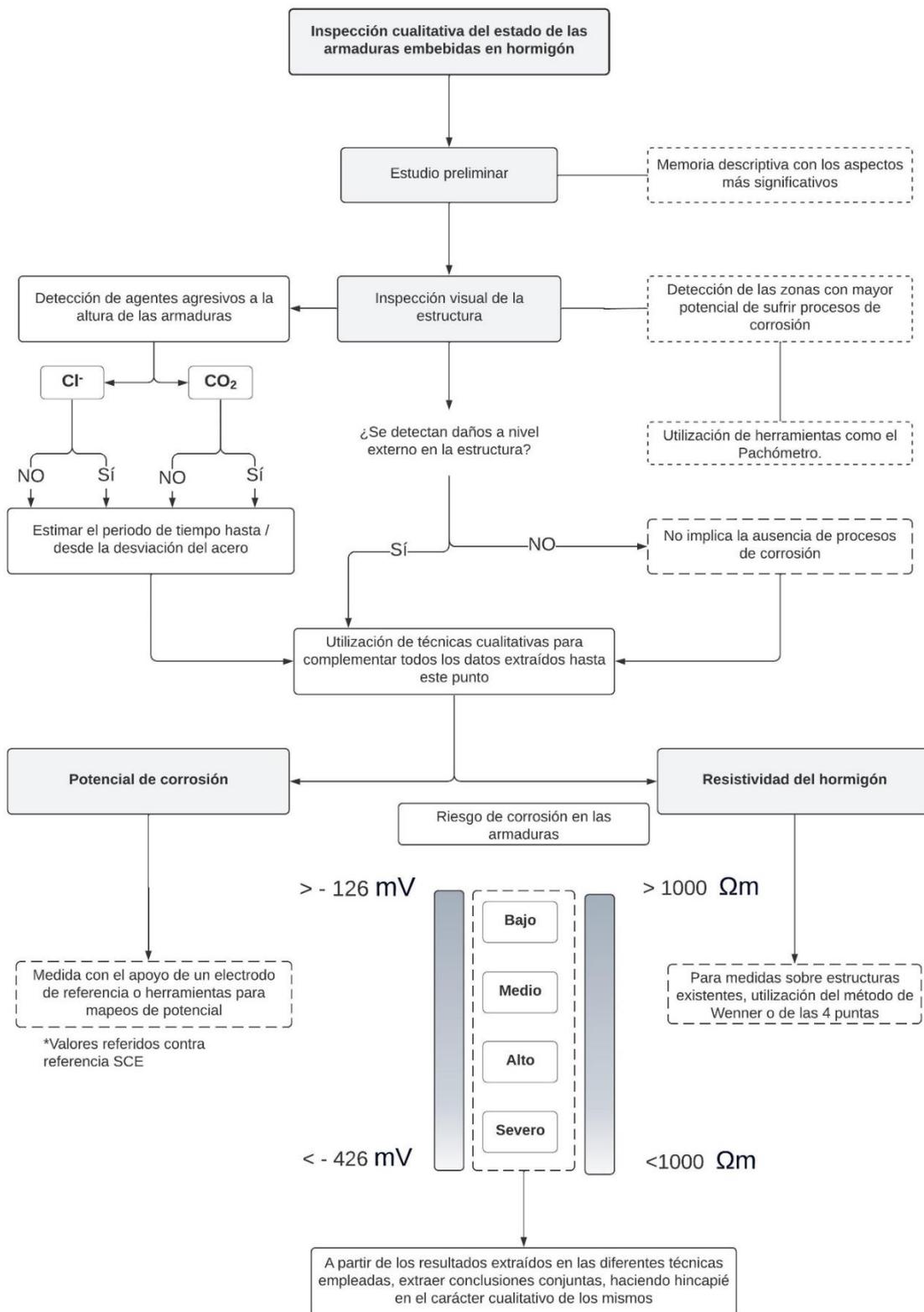


Figura 2. 6. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (II). Análisis cualitativo. Adaptación

Puesto que las técnicas cualitativas no dan resultados fiables es necesario realizar una inspección más en profundidad mediante técnicas cuantitativas llevando a cabo medidas in situ como los pulsos galvanostáticos. Y también se puede llevar a cabo sistemas de monitorización embebidos para la medida de la corrosión (celda de medida de 2 electrodos), detección de agentes agresivos como los sensores potenciométricos y haciendo uso de sensores integrados.

Sin embargo, estas técnicas presentan el inconveniente de que requieren del desplazamiento de personal experto, con experiencia suficiente para interpretar los datos, lo que supone un alto coste económico. También presentan el inconveniente de la accesibilidad, es decir, están limitados a elementos accesibles (2).

En la Figura 2. 7 se muestran los procesos de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de una inspección cuantitativa.

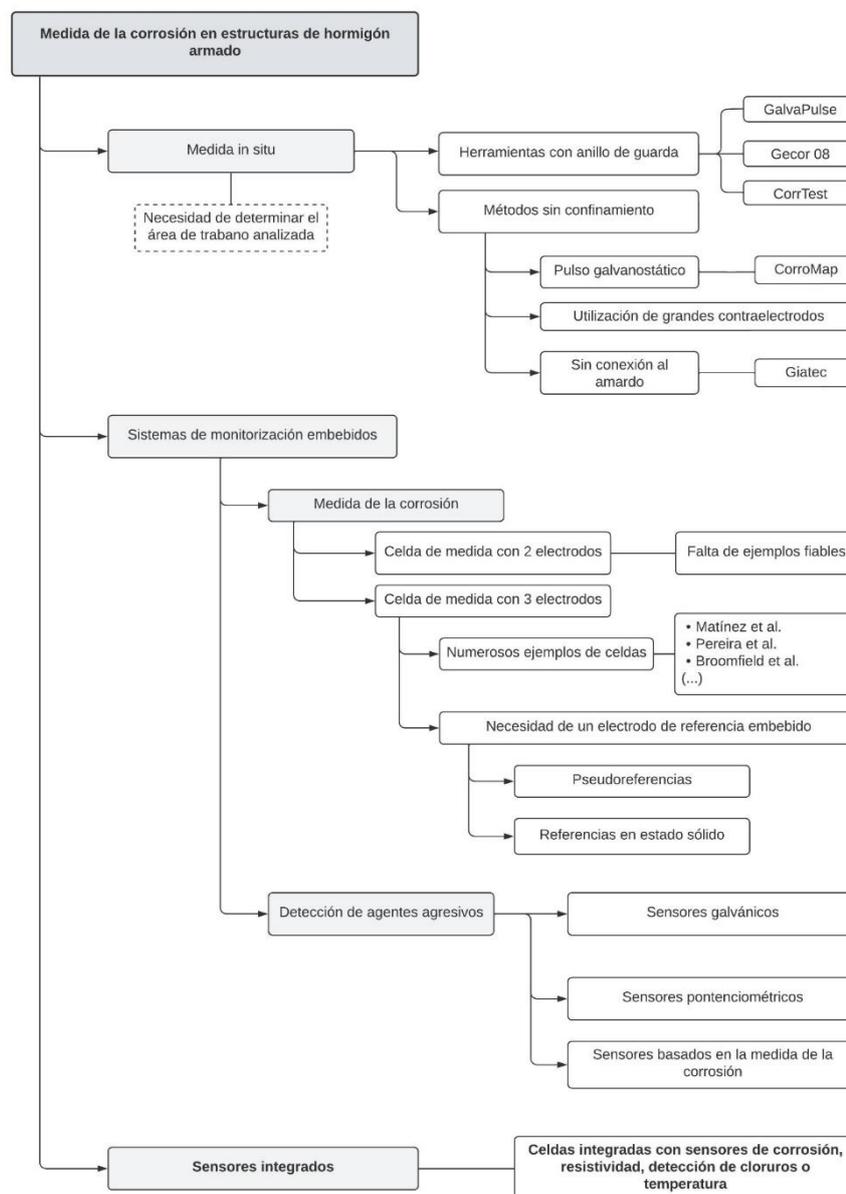


Figura 2. 7. Proceso de evaluación de una estructura de hormigón armado desde el punto de vista de la corrosión (III). Análisis cuantitativo. Adaptación

2.5. Métodos de reparación.

Tal como se ha explicado en los puntos anteriores el fenómeno de la corrosión causa daños en las estructuras de hormigón armado que pueden llegar a ser irreversibles si estos no se llegan a solucionar. Tal y como se muestra en el siguiente diagrama, una no actuación conlleva a la merma progresiva del rendimiento de la estructura hasta alcanzar límites a partir de los que ya no será apta para el servicio. En cambio, una actuación sobre la estructura, paliando el daño por corrosión de manera eficiente podrá conducir a asegurar la vida útil de la estructura o a mantener un nivel de rendimiento adecuado durante el periodo de servicio para el que fue diseñada.

Las estructuras, debido al daño ocasionado por la corrosión, se van deteriorando a medida que va progresando y aumentando el daño hasta llegar al punto de que las estructuras ya no funcionan como deberían y es entonces cuando es necesario realizar actuaciones de reparación. Estas reparaciones pueden ser profundas, periódicas o un mantenimiento continuo.

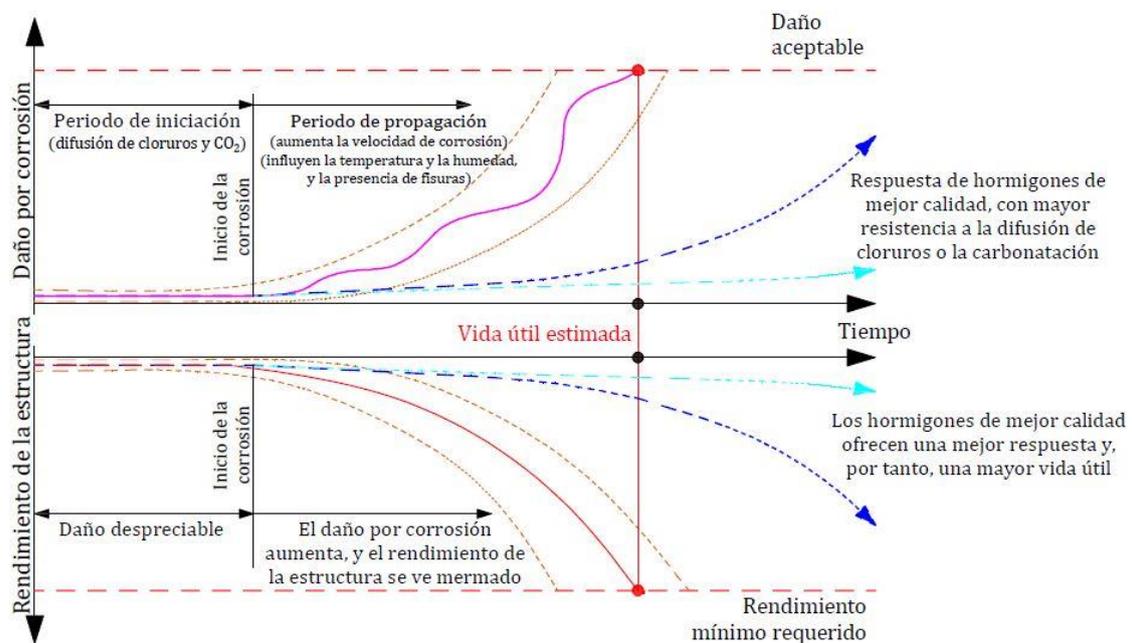


Figura 2. 8. Evolución del rendimiento de una estructura de hormigón armado bajo procesos de corrosión con el tiempo. Adaptación.

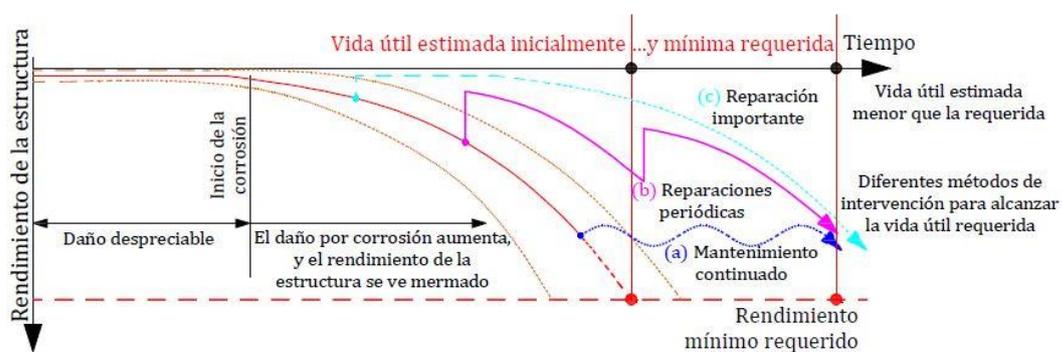


Figura 2. 9. Actuaciones de reparación en estructuras de hormigón armado en función del avance de la corrosión. (a) reparaciones de mantenimiento continuo, (b) reparaciones periódicas, (c) reparación profunda. Adaptación

Debido a esto, es fundamental conocer cuáles son los métodos más adecuados para paliar los daños por corrosión o al menos, minimizar su impacto en las estructuras de hormigón armado. Estos daños se deben solucionar de la manera más eficaz posible. Para ello es necesario acometer tareas de evaluación, operaciones de reparación y mantenimiento de estas estructuras.

Los trabajos de reparación a realizar en las estructuras de hormigón armado deben tener en cuenta tanto las especificaciones de los métodos como los requisitos de los productos a utilizarse para la ejecución de dichas reparaciones con el objetivo de detener el daño causado en las estructuras.

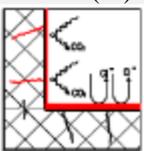
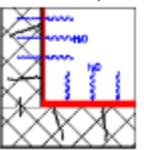
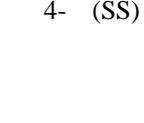
En este apartado, se explican los métodos de reparación utilizados según la norma española UNE EN-1504 (13) que establece los términos relativos a los productos y sistemas utilizados para la reparación, el mantenimiento y la protección, la restauración y el refuerzo de las estructuras de hormigón.

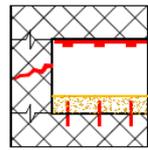
Esta norma UNE se divide en dos tipos de principios:

- Principios y métodos relativos a defectos en hormigón
- Principios y métodos relativos a la corrosión de las armaduras

En la Tabla 2. 1 y Tabla 2. 2. Principios y métodos de reparación relativos a la corrosión de las armaduras. Adaptación

se explican brevemente estos principios.

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO
1- (PI) 	Protección contra la penetración: Reducción o prevención de la entrada de agentes adversos como agua, otros líquidos, vapor, gas, agentes químicos o biológicos.	1.1. Impregnaciones hidrófobas 1.2. Impregnaciones 1.3. Revestimientos 1.4. Fisuras con vendaje local 1.5. Relleno de fisuras 1.6. Continuidad de las fisuras a través de las juntas Levantamiento de paneles exteriores 1.7. Aplicación de membranas
2- (MC) 	Control de la Humedad: Ajuste y mantenimiento del contenido de humedad en el hormigón dentro de un intervalo de valores especificados.	2.1. Impregnaciones hidrófobas 2.2. Impregnaciones 2.3. Revestimiento superficial 2.4. Levantamiento de paneles exteriores 2.5. Tratamiento electroquímico
3- (CR) 	Restauración del Hormigón: Restauración del hormigón original de un elemento de la estructura a la forma y función especificada originalmente. Restauración de la estructura de hormigón por sustitución parcial.	3.1. Aplicación manual del mortero 3.2. Relleno con hormigón y mortero 3.3. Proyección de hormigón y mortero 3.4. Reemplazo de elementos
4- (SS) 	Refuerzo estructural: Incremento o restauración de la capacidad portante de un elemento de la estructura de hormigón.	4.1. Adición o reposición de las barras de acero estructural embebidas o exteriores. 4.2. Instalación de barras de unión en agujeros prefabricados u horadados en el hormigón.



- 4.3. Adhesión de chapas.
- 4.4. Adición de mortero u hormigón.
- 4.5. Inyección de fisuras, huecos o intersticios.
- 4.6. Relleno de fisuras, huecos e intersticios.
- 4.7. Pretensado (Postensado)

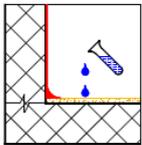
5- (PR)



Resistencia al ataque físico: Incremento de la resistencia al ataque físico o mecánico.

- 5.1. Capas o revestimientos
- 5.2. Impregnación
- 5.3. Adición de mortero u hormigón

6- (RC)



Resistencia a productos químicos: Incremento de la resistencia de la superficie del hormigón al deterioro por ataque químico.

- 6.1. Capas o revestimientos
- 6.2. Impregnación
- 6.3. Adición de mortero u hormigón

Tabla 2. 1. Principios y métodos relativos a los defectos del hormigón. Adaptación

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN	MÉTODO
7- (RP)	Conservación o restauración del pasivado: Creación de las condiciones químicas en las que la superficie de la armadura se mantenga o retorne a las condiciones de pasivado	<ul style="list-style-type: none"> 7.1. Incremento del recubrimiento de la armadura con mortero de cemento u hormigón adicional 7.2. Reemplazo del hormigón contaminado o carbonatado 7.3. Realcalinización del hormigón contaminado o carbonatado 7.4. Realcalinización del hormigón carbonatado por difusión. 7.5. Extracción electroquímica de los iones cloruro
8- (IR)	Incremento de la resistividad: Incremento de la resistividad eléctrica del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> 8.1. Impregnación hidrofóbica 8.2. Impregnación 8.3. Revestimiento superficial
9- (CC)	Control Catódico: Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente catódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción anódica	Limitación del contenido de oxígeno (en el cátodo) por saturación o revestimiento superficial
10- (CP)	Protección catódica	Aplicación de un potencial eléctrico
11- (CA)	Control de áreas anódicas: Creación de las condiciones para que las áreas potencialmente anódicas de la armadura hagan imposible alcanzar una reacción de	<ul style="list-style-type: none"> 11.1. Pintado de la armadura con revestimientos que contengan pigmentos activos 11.2. Pintado de la armadura con revestimiento barrera 11.3. Aplicación de inhibidores de corrosión al hormigón

Tabla 2. 2. Principios y métodos de reparación relativos a la corrosión de las armaduras.
Adaptación

A continuación, se explican algunos métodos de reparación estructural empleados relativos tanto a defectos superficiales en hormigón como los relativos a la corrosión de las armaduras.

2.5.1. Principios y métodos relativos a defectos en hormigón.

Entre otros principios y sistemas, se encuentra el principio PI, el cual es un sistema de protección superficial para el hormigón regido por la norma UNE-EN 1504-2. Este principio trata sobre protección contra la penetración de agentes adversos como el agua, vapor, gas, agentes químicos o biológicos (14).

Los productos de protección superficial para el hormigón se aplican directamente sobre las estructuras de hormigón armado durante las operaciones de reparación y mantenimiento de las estructuras, con objetivo de mejorar la durabilidad del hormigón y de las estructuras de hormigón armado (13).

Dentro de los métodos de reparación a utilizar indicados por esta norma se encuentran las impregnaciones hidrófobas, impregnaciones, revestimientos, aplicación de membranas, entre otros.

2.5.1.1. Impregnaciones hidrófobas.

El método de protección mediante impregnación hidrófoba es un tratamiento sobre el hormigón destinado a producir una superficie hidrófoba (repelente al agua) llegando a cubrir el interior de los poros y de los capilares, pero sin llegar a rellenarlos. No existe una película sobre la superficie del hormigón y la apariencia de esta no cambia o cambia poco (14).

Estas impregnaciones pueden ser utilizadas como un método de reparación y protección de estructuras de hormigón armado que ya presenten daños por corrosión, pero que no requieran de una reparación estructural. También pueden ser utilizadas como una protección adicional aplicado superficialmente en una reparación convencional con morteros de reparación, ya que penetran fácilmente a través del recubrimiento, en caso de que el inhibidor sea líquido (10).

En la Figura 2. 10 se puede observar un esquema de una impregnación hidrófoba típica.

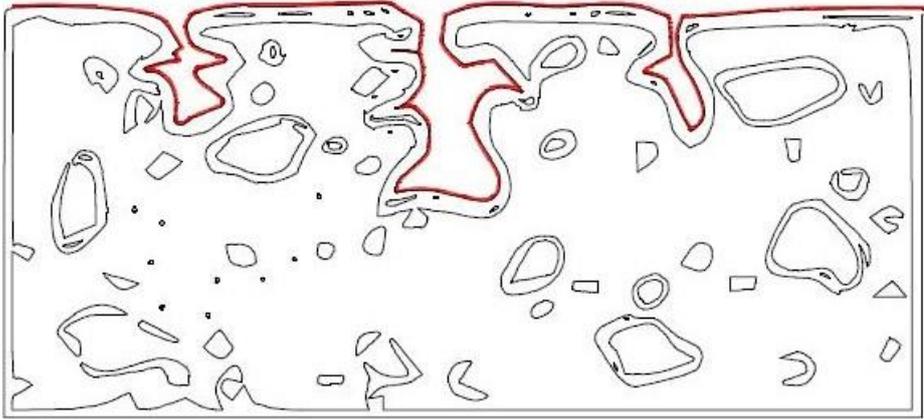


Figura 2. 10. Esquema de una impregnación hidrófoba típica. Adaptación

Esta norma establece que el espesor mínimo de la película d_{\min} se debe considerar como el fractil inferior del 5% de la distribución normal (Gaussiana) de las medidas del espesor. El espesor mínimo absoluto de la película seca que se puede alcanzar durante la aplicación será al menos $0,7*d_{\min}$ (14).

2.5.1.2. Impregnaciones.

Este tipo de métodos se destina para reducir la porosidad superficial y a reforzar la superficie donde los poros y capilares están completa o parcialmente rellenos. Este tratamiento por lo general produce una película delgada en la superficie del hormigón. Los conglomerantes suelen ser polímeros orgánicos. En la Figura 2. 11 se observa un esquema de una representación de una impregnación.

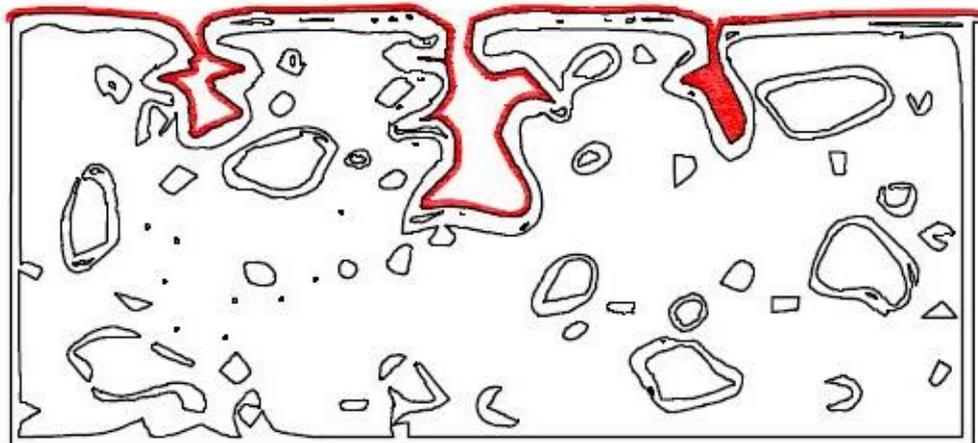


Figura 2. 11. Esquema de una impregnación típica. Adaptación

2.5.1.3. Revestimientos.

Este tratamiento produce una capa protectora continua en la superficie del hormigón. El espesor de la capa oscila entre 0,1 mm y 5 mm, pudiendo ser necesario un espesor superior a 5 mm en ciertas aplicaciones. Los conglomerantes suelen ser polímeros orgánicos, polímeros orgánicos que contengan cemento. En la Figura 2. 12 se puede ver el esquema de la representación de un revestimiento.

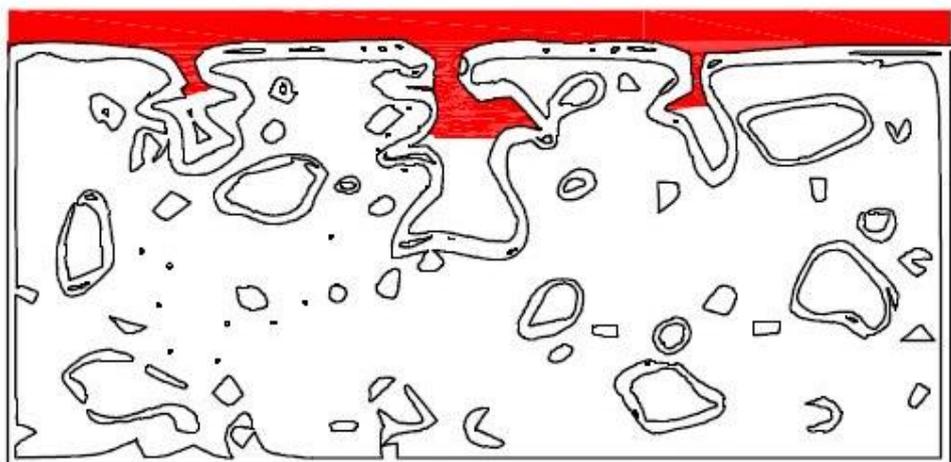


Figura 2. 12. Esquema de revestimiento típico. Adaptación

2.5.2. Principios y métodos relativos a la corrosión de las armaduras.

Dentro de este principio se encuentra el principio (RP): conservación o restauración del pasivado, (IR): incremento de resistividad, (CC): control catódico, (CP): protección catódica, (CA): control de áreas anódicas.

Para estos principios se puede hacer uso de métodos de impregnación hidrófoba, impregnación y revestimiento superficial anteriormente explicados. También se pueden emplear potencial eléctrico, revestimientos activos y revestimientos barrera, entre otros.

La parte 7 de esta norma UNE especifica los requisitos para la identificación y las prestaciones de los productos y sistemas para revestimientos activos y de barrera para la protección de las armaduras de acero sin revestimiento y de acero inoxidable en las estructuras de hormigón en reparación (15).

2.5.2.1. Revestimientos activos.

Este tipo de sistemas contienen pigmentos electroquímicamente activos con capacidad de inhibir o proporcionar una protección catódica localizada. Estos revestimientos pueden ser cementos, que se consideran pigmentos activos por su alcalinidad (15).

2.5.2.2. Revestimientos barrera.

Estos revestimientos aíslan la armadura del agua intersticial de la matriz a base de cemento que rodea a la armadura.

3. PLAN EXPERIMENTAL

En este capítulo se describe el plan experimental que se ha seguido para llevar a cabo el estudio principal del trabajo, enmarcando tanto la fabricación de los sensores embebidos, los hormigones fabricados y sus dosificaciones, las probetas utilizadas, los métodos de ensayo y el proceso de monitorización en una estructura existente de hormigón armado, incluyendo también los materiales y herramientas utilizados.

Este apartado se ha subdividido en las fases en las que se ha ido ejecutando cada etapa del trabajo.

- Fase 1. Fabricación de sensores.
- Fase 2. Fabricación de hormigones.
- Fase 3. Proceso de curado de los hormigones.
- Fase 4. Caracterización de los hormigones fabricados.
- Fase 5. Monitorización de la corrosión.
- Fase 6. Monitorización de la corrosión en un caso real.

3.1. Fabricación de sensores

En primer lugar, se fabricaron un total de 72 sensores para ser embebidos en hormigón. Estos sensores son los habitualmente utilizados por el grupo de investigación SMaRT (Laboratorio de Electroquímica de la ETSIE) para la monitorización de la corrosión en estructuras reales, y son el fruto de muchos años de trabajo y desarrollo. La geometría de los sensores fabricados se describe en la Figura 3. 1.

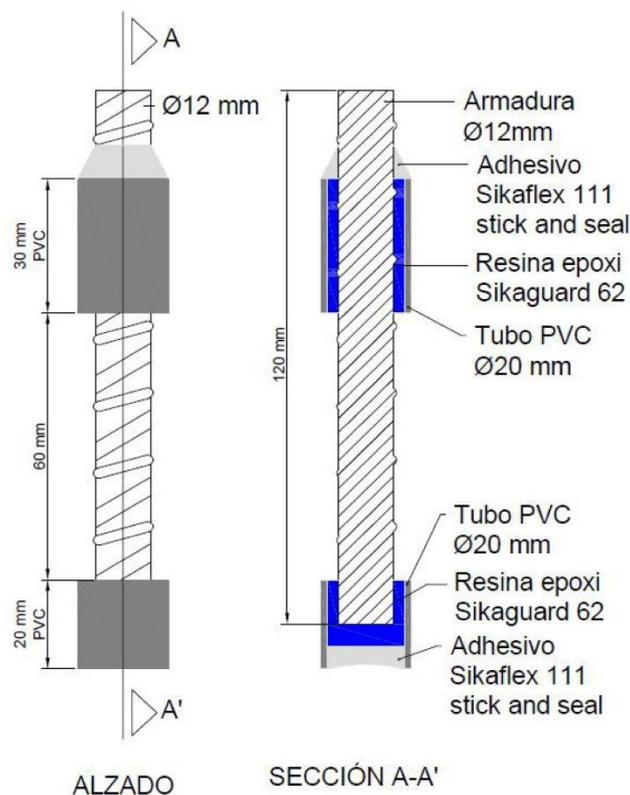


Figura 3. 1. Geometría del sensor. Elaboración propia

El sensor se caracteriza por componerse de un fragmento de armadura aislado y con una superficie conocida en contacto con el hormigón, que será de utilidad para normalizar las medidas de la corrosión que sobre él se realicen. Para su fabricación, se siguió un desarrollo por fases.

En primer lugar, se cortaron los fragmentos de tubería de PVC de $\text{Ø}12,5$ mm de diámetro necesarios para realizar el encamisado de cada sensor. En total se prepararon 72 piezas de 30 mm y otras 72 de 20 mm. Esta primera tarea se realizó con la ayuda de un sargento para fijar la tubería, y con sierra de arco se cortaron las piezas. Con la ayuda de una lima se repasaron las aristas para corregir cualquier imperfección.

En segundo lugar, se preparó el acero para la fabricación del sensor. Para ello, se cortaron 72 fragmentos de acero corrugado (B500SD, $\text{Ø}12$ mm) de 120 mm de longitud. Una vez cortados, se limpiaron haciendo uso de un cepillo manual de púas metálicas primero, y, posteriormente, mediante cepillado mecánico con la ayuda de un taladro de columna. Esta limpieza tenía como objetivo principal retirar el óxido superficial acumulado durante el acopio del material en el laboratorio. Una vez limpios los sensores, estos fueron pesados con una balanza de precisión ($\pm 0,01$ mg) para conocer su peso inicial (Peso₀) y con la finalidad de llevar a cabo una validación gravimétrica al final del estudio. Durante esta fase, cada armadura fue identificada numéricamente.

En la Figura 3. 2 y Figura 3. 3 se muestran algunas imágenes de estas primeras fases de la fabricación de los sensores.



Figura 3. 2. Fabricación de sensores. A. Sujeción de tubería en el sargento, B. Piezas cortadas de 20 mm y 30 mm de tubo de PVC, C. Corte de armaduras ($L=120$ mm), D. Cepillado mecánico de armaduras en taladro de columna. E. Armaduras limpias, F. Identificación numérica de las armaduras.

Una vez preparados los sensores y las tuberías para realizar el encamisado, comenzó su ensamblaje, primero por la parte inferior. En este caso, sobre los fragmentos de tubería de 20 mm de longitud se presentó el sensor, y se selló la parte inferior con adhesivo Sikaflex-111 Stick and Seal (ver ficha técnica en Anexo 1), dejando secar el material durante 24 horas. Tras el secado, el vacío interior se rellenó con un revestimiento protector a base de resinas epoxi, Sikaguard-62 (ver ficha técnica en Anexo 2), mezclando el producto con una proporción de 3 a 1, tal y como indica el suministrador. En este caso, se precisó la ayuda de una espátula de laboratorio para el mezclado, y una pipeta para verter con precisión el producto.

Este proceso requirió de varias manos, para asegurar el llenado adecuado de los encamisados. Un defecto en este elemento podría conducir a generar resultados anómalos durante la monitorización de la corrosión. Una vez seco, se realizó idéntico proceso en la parte superior, pero en este caso, dejando entre 20 mm y 30 mm de acero por encima libres, y limitando la superficie de acero libre central en una longitud lineal de 60 mm. La parte superior se dejó totalmente libre para facilitar las conexiones eléctricas durante el periodo de estudio.

Al finalizar ambos encamisados, todos los sensores (sobre el PVC) fueron enumerados siguiendo el marcado inicial, para seguir la evolución de pérdida de masa de cada uno. A continuación, se muestran imágenes de todo el proceso de fabricación de los sensores.



Figura 3.3. Fabricación de sensores. A. Encamisado de sensores parte inferior (A) y superior (B) con Sikaflex 111. C y D. Sellado con Sikaguard 62 parte inferior (C) y superior (D)

3.2. Fabricación de hormigones

Para el estudio que este trabajo abarca, se fabricaron tres hormigones con diferentes dosificaciones, fabricando dos amasadas de cada uno, ya que el estudio analizaría dos condiciones de curado distintas (CC: curado en cámara; y CA: curado al aire). En la Tabla 3. 1. Dosificación de componentes del hormigón (kg/m³).

se muestran las seis dosificaciones utilizadas. Para este estudio se analizaron hormigones con tres relaciones agua/cemento distintas:

- 0,85, correspondiente a una mezcla fuera de los valores aceptados por el Código Estructural (12) debido a poseer una gran cantidad de agua, pero útil en trabajos de laboratorio para obtener resultados en un corto periodo de tiempo;
- 0,65, relación en el límite aceptable por la normativa para ambientes con una agresividad nula;
- 0,45, relación agua/cemento recomendada para ambientes agresivos y que permite obtener hormigones de mayor calidad que los obtenidos con las dos relaciones definidas anteriormente.

Para la fabricación de las seis mezclas se utilizó un CEM II/B-M (S-LL) 42,5 R y dos áridos, una arena 0/4 y una grava 4/12,5. Además, en cada mezcla se incluyó un aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad, sobre todo en las relaciones agua/cemento más bajas (Sika ViscoCrete-20 HE), cuya ficha técnica se incluye en el Anexo 3. En la Tabla 3. 1 se muestran las seis dosificaciones utilizadas.

	0.85CA	0.85CC	0.65CA	0.65CC	0.45CA	0.45CC
Agua	186,89	186,89	186,55	186,55	185,91	185,91
Cemento	221,2	221,2	289,2	289,2	417,8	417,8
Superplastificante	1,11	1,11	1,45	1,45	2,09	2,09
Arena	1.294,37	1.294,37	1.255,93	1.255,93	1.183,32	1.183,32
Grava	728,45	728,45	706,81	706,81	665,95	665,95
Ratio a/c	0,85	0,85	0,65	0,65	0,45	0,45

Tabla 3. 1. Dosificación de componentes del hormigón (kg/m³).

*Los datos presentados en la Tabla 3.1*Tabla 3. 1. Dosificación de componentes del hormigón (kg/m³).

se corresponden a las cantidades (kg) de material para la fabricación de un metro cúbico de hormigón, sin embargo, para este estudio se preparó una cantidad menor. El número de litros a fabricar por cada dosificación se estimó de acuerdo con el volumen de hormigón necesario para rellenar las probetas con sensores y las necesarias para la caracterización del material, enumeradas en la Tabla 3. 2.

Probeta (mm)	Ensayo	Volumen por unidad	Número de probetas	Volumen total
Cúbica 150x150x150	Corrosión	3,37 L	3	10,11 L
Cilíndrica Ø100x200	Compresión	1,50 L	4	6,00 L
Cilíndrica Ø100x200	Porosidad	1,50 L	1	1,50 L
Cilíndrica Ø100x200	Capilaridad	1,50 L	1	1,50 L
Cilíndrica Ø150x300	Permeabilidad	5,30 L	1	5,30 L
Cilíndrica Ø100x200	Migración	1,50 L	1	1,50 L
Prismática 40x40x160	Carbonatación	0,25 L	6	1,50 L
Prismática 40x40x160	Resistividad	0,25 L	6	1,50 L
Total				29,91 L

Tabla 3. 2. Volumen de hormigón necesario por mezcla.

En total se estimó la necesidad de fabricar 29,91 litros por cada mezcla. Sin embargo, con el objetivo de prevenir pérdidas de material que se puedan producir y evitar ajustarse demasiado a lo necesario, en total se fabricaron 35 litros por mezcla. En la Tabla 3. 3 se muestran las cantidades totales de material necesarias para cada tipo de hormigón.

	0.85CA	0.85CC	0.65CA	0.65CC	0.45CA	0.45CC
Agua	6,54	6,54	6,53	6,53	6,51	6,51
Cemento	7,74	7,74	10,12	10,12	14,62	14,62
Superplastificante	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07
Arena	45,30	45,30	43,96	43,96	41,42	41,42
Grava	25,50	25,50	24,74	24,74	23,31	23,31
Ratio a/c	0,85	0,85	0,65	0,65	0,45	0,45

Tabla 3. 3. Cantidad de material (kg) para la fabricación de 35 litros de hormigón

Por otro lado, y tras definir las cantidades de hormigón necesarias, previamente al hormigonado, se realizó un estudio del contenido de humedad de los áridos con el objetivo de corregir el excedente de agua que estos pudieran contener. Para ello, los áridos fueron sometidos a un análisis del cambio de masa, pesado antes y después de ser secados en estufa (Figura 3. 4).



Figura 3. 4. Evaluación de la humedad de los áridos

En la Tabla 3. 4 se muestran los resultados de los seis días en los que se analizó la humedad de los áridos (correspondientes a las seis jornadas de hormigonado), y en la Tabla 3. 5 se recogen las cantidades definitivas utilizadas cada día para fabricar las seis mezclas, correspondientes ya a la cantidad de litros necesaria.

	0.85CA	0.85CC	0.65CA	0.65CC	0.45CA	0.45CC
Humedad total	1,41	1,34	1,93	1,05	1,25	1,31
Coefficiente de absorción	1	1	1	1	1	1
Humedad superficial	0,41	0,34	0,93	0,05	0,25	0,31

Tabla 3. 4. Humedades de los áridos.

	0.85CA	0.85CC	0.65CA	0.65CC	0.45CA	0.45CC
Agua	6,35	6,39	6,12	6,51	6,41	6,38
Cemento	7,74	7,74	10,12	10,12	14,62	14,62
Superplastificante	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07
Arena	45,49	45,45	44,37	43,98	41,52	41,55
Grava	25,50	25,50	24,74	24,74	23,31	23,31
Ratio a/c	0,85	0,85	0,65	0,65	0,45	0,45

Tabla 3. 5. Dosificación definitiva utilizada.

La fabricación de los hormigones se realizó en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación, que dispone de una amasadora con capacidad para 60 Litros. La mezcla se preparó, de acuerdo con la experiencia previa, mezclando los áridos y el cemento, y progresivamente, añadiendo el agua y el superplastificante hasta la obtención de una mezcla lo suficientemente homogénea. Una vez que se consiguió la consistencia requerida de cada mezcla (blanda-fluida), se procedió a hormigonar las probetas por tongadas hasta llenarlas, compactando con vibrador circular. En las probetas cúbicas con sensores, estos se introdujeron una vez llenos los moldes, con la ayuda del vibrador y utilizando piezas fabricadas con impresión 3D para asegurar recubrimientos homogéneos de todas las piezas (en este caso fue de 15 mm). En la Figura 3. 5 se muestran algunas imágenes del proceso.

Tras la fabricación de las probetas, estas se dejaron en sus moldes durante 48 horas en condiciones de laboratorio. Para evitar la excesiva pérdida de humedad, fueron protegidas con telas plásticas y, periódicamente, fueron humedecidas de nuevo con un vaporizador. Transcurrido este proceso, fueron desmoldadas, identificando cada probeta con un código, correspondiente a la relación agua/cemento de la mezcla y de acuerdo con el tipo de curado que se realizaría (CC o CA).



Figura 3. 5. Fabricación de hormigones. A. Hormigonado por tongadas, B. Vibrado de probetas. C. probetas vibradas, D. Colocación de sensores en hormigón con ayuda de un vibrador, E. Sensores colocados, F. Probetas para la caracterización vibradas.

3.3. Proceso de curado de los hormigones

Tal y como se ha adelantado anteriormente, los seis hormigones fueron curados en distintas condiciones. Al desmoldarse, tres de las mezclas (una por cada relación

agua/cemento fabricada) fueron almacenadas hasta la edad de 28 días en cámara de curado, donde las condiciones eran de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa se mantenía constantemente por encima del 90%. Por otro lado, las otras tres mezclas fueron almacenadas en la calle, expuestas a las condiciones ambientales, lo que se corresponde a un curado inadecuado.

Por un lado, una humedad alta favorece que las reacciones agua-cemento se desarrollen, favoreciendo una reducción de la red porosa del hormigón. Sin embargo, un curado inadecuado favorece la pérdida de agua interior más rápido, conduciendo a mezclas más porosas, y, por tanto, con menor durabilidad, tal y como se describirá posteriormente durante la caracterización del material.

En la Figura 3. 6 se muestran algunas evidencias de las condiciones de curado.

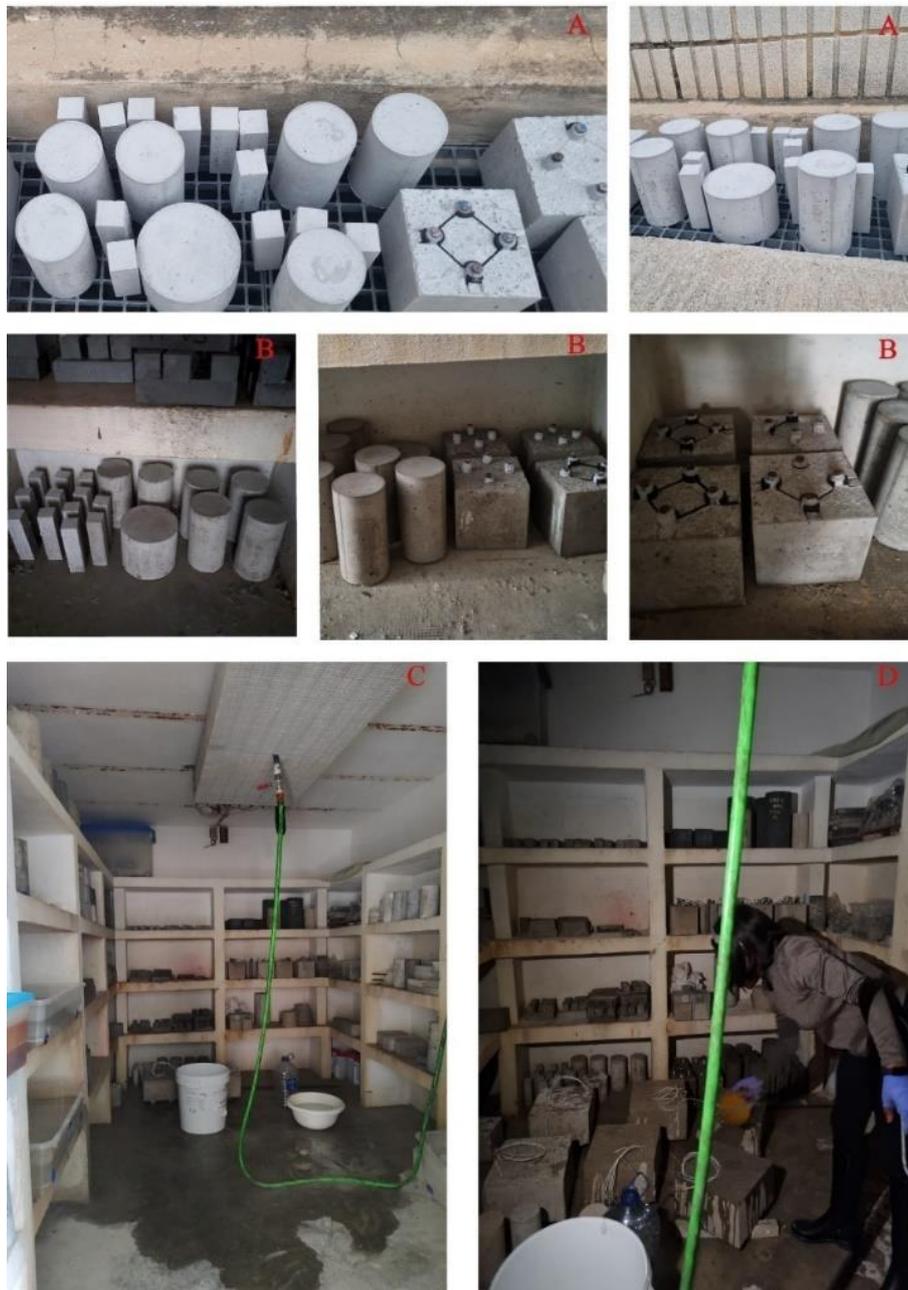


Figura 3. 6. Proceso de curado de los hormigones. A. Curado de probetas en la calle. B. Curado de probetas en cámara de curado. C. Cámara de curado. D. Humedecido de probetas en cámara de curado

Durante esta fase, y de manera complementaria, sobre las probetas que iban a ser utilizadas para la monitorización de la corrosión, en los salientes de cada armadura se aplicó una capa protectora de vaselina, con la finalidad de prevenir la corrosión aérea del acero expuesto.

3.4. Caracterización de los hormigones fabricados

Como se adelantó anteriormente, además de las muestras fabricadas con armaduras embebidas para llevar a cabo la monitorización de la corrosión, se fabricaron diferentes probetas, para que, de manera complementaria, poder realizar un estudio de diferentes propiedades de los hormigones fabricados que facilitaran la comprensión de resultados y apoyaran las conclusiones a extraer en este trabajo.

A continuación, se describen de manera sintetizada los ensayos llevados a cabo, los métodos y normas que se han seguido, y las distintas tareas que fue necesario realizar.

3.4.1. Resistencia a compresión

El estudio de la resistencia a compresión del hormigón no es un parámetro que se pueda relacionar directamente con la durabilidad del material, pero sí que sirve para tener una visión general de la calidad de un material. Este parámetro se obtuvo mediante el ensayo definido en la norma UNE-EN-12390-3 (16). Para llevar a cabo la prueba, se utilizaron probetas cilíndricas de 200 mm de altura y de Ø100 mm de diámetro. El ensayo se realizó a los 28 días sobre dos probetas de cada hormigón. Sin embargo, antes de proceder con el ensayo, las probetas fueron sumergidas en agua las 24 horas previas. El objetivo de esto era asegurar que todas las muestras tuvieran una humedad similar. Las probetas curadas en cámara (CC) contarían con una humedad alta por sus condiciones de exposición, mientras que las probetas curadas al aire (CA) estarían en condiciones de humedad muy bajas, consiguiendo así igualarlas y poder comparar resultados. Por otro lado, de manera previa al ensayo, las probetas fueron preparadas regularizando las caras donde se aplicaría la fuerza mediante pulido, utilizando una pulidora Ibertest PPAM-150-1 (17). El equipo utilizado para la rotura de las probetas fue una prensa modelo Ibertest MEH-1500W. Los parámetros del ensayo, como velocidad de fuerza aplicada se definieron de acuerdo con lo indicado en el procedimiento UNE-EN-12390-3 (16).

El resultado final por cada hormigón fue el promedio de las dos probetas analizadas.

El resto de los ensayos llevados a cabo se centraron en el estudio de la durabilidad del material desde diferentes puntos de vista. En este caso, se analizaron propiedades relacionadas con la porosidad del hormigón, la resistencia a la difusión de cloruros y a la carbonatación y, por último, la resistividad.

3.4.2. Porosidad accesible al agua

La porosidad accesible al agua es un indicador indirecto de la durabilidad ya que está vinculado directamente con la cantidad de poros que cada tipo de hormigón puede tener, y, por ende, a la resistencia a la penetración de agentes agresivos. Para ello, esta propiedad se analizó empleando el procedimiento descrito en la norma UNE-EN-83980 (18). Aunque el documento permite servirse de probetas con distintas geometrías, en este caso se utilizaron probetas cilíndricas, de Ø100 mm y altura 200 mm. Estas fueron cortadas con sierra de disco refrigerada con agua para obtener tres muestras cilíndricas de Ø100

mm y altura 50 mm sobre las que se realizaría el ensayo. El estudio se llevó a cabo sobre estas tres muestras a los 90 días de edad para cada tipo de hormigón.

Para la obtención del coeficiente de porosidad accesible al agua, siguiendo la instrucción, las probetas fueron previamente secadas en estufa a 105°C durante cuatro días, cuando las probetas alcanzaron un peso constante (variación inferior al 0,1%). Posteriormente, las muestras fueron pesadas para obtener la masa seca (M_{sec}), y más adelante, se sometieron a un ciclo de saturación mediante vacío (4 horas) e inmersión (18 horas). Al finalizar este proceso, las probetas fueron pesadas en condiciones de saturación (masa saturada, M_{sat}) y mediante peso hidrostático (M_{hid}). El porcentaje de porosidad accesible al agua se obtuvo según indica la norma, y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Porosidad (\%) = 100 * \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{hid})} \quad Ec 3 1$$

3.4.3. Absorción de agua por capilaridad

Igual que la porosidad accesible al agua, la absorción de agua por capilaridad es otro de los parámetros utilizados para analizar de manera indirecta la durabilidad del hormigón. El proceso para la determinación de esta propiedad se encuentra definido en la norma UNE-EN-83982 (19). Igual que en el caso anterior, la medida se realizó sobre probetas cilíndricas, de Ø100 mm y altura 200 mm. Estas fueron cortadas con sierra de disco refrigerada con agua para obtener tres muestras cilíndricas de Ø100 mm y altura 50 mm sobre las que se realizaría el ensayo.

El procedimiento de ensayo se caracteriza por un proceso de acondicionamiento con una duración de cuatro semanas, definido en la norma UNE-EN 83966 (20). Este documento indica que es necesario someter las probetas a un proceso de secado de 7 días a 50°C, un almacenamiento posterior de 3 semanas en condiciones de (20±2 y 65-75% HR). Este proceso busca que las probetas alcancen una humedad relativa interna de entre el 60% y el 70%, similar a la que se obtendría en condiciones reales y asemejarlas a la del ensayo.

Tras el acondicionamiento de las probetas, estas fueron pesadas, y posteriormente fueron parcialmente sumergidas, dejando la muestra en contacto únicamente con 5 mm de agua. Posteriormente, las probetas se pesaron cada 24 horas, hasta obtener una diferencia menor al 0,01% entre dos pesadas separadas 24 horas, indicando así la saturación de la muestra. El coeficiente K, indicador de la absorción de agua por capilaridad del hormigón se calculó posteriormente según indica la norma y con la ecuación que a continuación se presenta:

$$K = \frac{\delta_a * \varepsilon_e}{10 * \sqrt{m}} \quad Ec 3 2$$

Donde:

δ_a : hace referencia a la densidad del agua (1g/cm³);

ε_e : indica la porosidad efectiva del hormigón (cm³/cm³). Este parámetro se obtiene de:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_n - Q_0}{A * h * \delta_a} \quad Ec 3 3$$

Donde:

Q_n: peso de la probeta en condiciones de saturación;

Q₀: peso inicial de las probetas;

A: área de la probeta en contacto con la disolución;

h: canto o espesor de la probeta.

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad Ec 3 4$$

El coeficiente *m* expresado en (min/cm²) de la ecuación anterior representa la resistencia que opone el hormigón a la penetración del agua por absorción capilar.

3.4.4. Permeabilidad al oxígeno

Igual que las dos propiedades anteriores, la permeabilidad al gas, o al oxígeno en este caso es otro indicador indirecto de la durabilidad del hormigón debido a su estrecha relación con la estructura porosa del material. Para determinar este parámetro, es decir, el coeficiente de permeabilidad al gas, *K_p*, se utilizaron probetas cilíndricas de Ø150 mm y 300 mm de altura. Estas probetas fueron cortadas con sierra de disco refrigerado con agua para obtener muestras de canto 50 mm, adaptándose así a la celda de ensayo disponible en el laboratorio. En total se obtuvieron 4 probetas por hormigón, que se analizaron a los 90 días de edad. Las probetas fueron pulidas para corregir cualquier desperfecto en los laterales, y se sellaron lateralmente con varias capas de pintura de poliuretano de Sikalastic-612 (21) para que no se produjera ninguna fuga por estas zonas.

El acondicionamiento de las probetas, de acuerdo con la norma de ensayo (UNE-EN 83981 (22) se basó en someter a secado las probetas, una vez pintadas, a temperatura constante (50°C) durante varios días, hasta alcanzar una masa constante (variación inferior al 0,1% de masa). Este proceso se extendió generalmente en 4 días. Más tarde, antes del ensayo, se requirió de un proceso de enfriamiento de 24 horas para que las muestras alcanzasen una temperatura ambiental sin absorber en exceso humedad.

Una vez acondicionadas las probetas, estas se introducen en la celda de ensayo, en este caso, se utilizó la del Permeámetro Controls modelo 58-E0031. El ensayo consiste en someter las probetas a distintas presiones y analizar el volumen de aire que pasa por unidad de tiempo. En este caso, las presiones de ensayo, de acuerdo con la norma de ensayo fueron: 1,5, 2, 2,5, 3 y 3,5 bar. La medida del volumen de aire que circula a través de las probetas se analizó mediante tubos con distintos volúmenes y analizando el paso de burbujas de jabón por unidad de tiempo.

El coeficiente *K_p* se obtuvo de acuerdo con la fórmula descrita en la norma:

$$\sum_{p_0}^{p_f} K_p = \frac{1,14 * 10^{-4} * Q * p_a}{(p^2 - p_a^2)} \quad Ec 3 5$$

Donde:

p_a: presión atmosférica;

p: presión del ensayo de acuerdo con la presión introducida N/m²;

Q: flujo de gas (oxígeno en este caso) que atraviesa la probeta;

K_p: sumatorio de los diferentes valores para cada presión de ensayo.

3.4.5. Migración de cloruros D_{nssm}

Hasta ahora se han descrito estudios para conocer las propiedades de la estructura porosa del hormigón. Sin embargo, para conocer la durabilidad de un hormigón es necesario también conocer la resistencia que opone a la entrada de agentes precursores de la corrosión, como los cloruros o el frente de avance de carbonatación, tal y como se describió en el Capítulo 2.

En este caso, para el estudio de la resistencia a la penetración de cloruros se siguió la recomendación de la norma UNE-EN-12390-18:2021 (23). Se trata de un ensayo acelerado en el que se mide el coeficiente de difusión en estado no estacionario mediante migración (D_{nssm}). En este caso, se obliga a los cloruros a difundir a través del hormigón mediante la aplicación de una diferencia de potencial.

Para poder llevar a cabo el ensayo, la medida se realizó sobre probetas cilíndricas, de Ø100 mm y altura 200 mm. Estas fueron cortadas con sierra de disco refrigerada con agua para obtener tres muestras cilíndricas de Ø100 mm y altura 50 mm sobre las que se realizaría el ensayo. En total se obtuvieron tres probetas por cada hormigón que se analizaron a los 90 días de edad. Previamente al ensayo, y de acuerdo con la norma UNE-EN 12390-18:2021 (23), las probetas, una vez cortadas, fueron pulidas para corregir imperfecciones, y la cara lateral se selló con la aplicación de tres capas de pintura epoxi (Sikaguard-62). Una vez secas las muestras, estas fueron saturadas con hidróxido de calcio mediante un proceso de vacío y saturación que se extendió durante 24 horas. Al finalizar el acondicionamiento, las muestras se introdujeron en una celda creada específicamente para el ensayo, en el que se obliga a las probetas a mantener, por un lado, una cara en contacto con una disolución 2M de cloruros (2M NaCl) mientras que la otra entre en contacto con la disolución 0,3M de hidróxido de sodio (0,3M NaOH). Una vez ensamblada la celda, con la ayuda de dos piezas metálicas de acero inoxidable se genera una diferencia de potencial entre ambas disoluciones favoreciendo el paso de cloruros de una disolución a otra. La duración del ensayo y el valor del potencial aplicado dependen de un testeo inicial con una aplicación de 30 V. En función de la corriente que circule a través de la probeta, se determinan ambos parámetros de acuerdo con las tablas facilitadas en la norma de ensayo.

Al finalizar el ensayo, y tras el secado de las probetas, estas fueron sometidas a un ensayo de tracción indirecta y revelado del interior con una disolución de nitrato de plata, obteniendo así un perfil de penetración. El valor del D_{nssm} se obtiene a partir de las fórmulas presentadas en la norma y que a continuación se definen:

$$D_{nssm} = \frac{0,0239 * T * L}{(U - 2) * t} \left(x_d - 0,02238 \sqrt{\frac{T * L * x_d}{(U - 2)}} \right) \quad Ec 3 6$$

Donde:

T: temperatura en grados kelvin;

t: duración del ensayo en horas;

L: espesor de probeta en mm;

U: valor del voltaje aplicado expresado en Voltios;

X_d: profundidad penetración de cloruros obtenido tras el revelado en mm.

3.4.6. Carbonatación acelerada

Igual que los procesos de difusión de cloruros, la carbonatación del hormigón es un proceso lento que requiere largos periodos de estudio. Debido a esto, existen métodos acelerados, como el propuesto en la norma UNE-EN 83993-2 (24). En este caso, las probetas son sometidas a un ambiente de CO₂ más alto del habitual (3%, mientras que el atmosférico es del 0,03%). El ensayo consiste en la determinación del frente de avance a diferentes edades para obtener así la velocidad de carbonatación.

En este caso se utilizaron probetas prismáticas de 40x40x160 mm, tres por cada tipo de hormigón. Estas fueron sometidas a los 90 días de edad a un proceso de acondicionamiento idéntico al de las probetas de capilaridad y que se describen en la norma UNE-EN-83966 (20). Al finalizar el acondicionamiento, las muestras fueron introducidas en la cámara de carbonatación acelerada, con una concentración del 3% de CO₂ y una consigna de 20-25°C y una humedad relativa entre 60% y 70%, de acuerdo con los parámetros definidos en norma.

Transcurridos 14 días, las muestras fueron extraídas y sometidas a un ensayo a flexión que permitiera realizar el revelado mediante fenolftaleína sobre la cara interna. De acuerdo con la siguiente ecuación, se estimó la velocidad de avance del frente de carbonatación para un 3% de concentración de CO₂ según:

$$V_{CO_2, 3\%} = \frac{\chi}{\sqrt{t}} \quad Ec 3 7$$

Donde:

X: profundidad de carbonatación media en mm;

t: tiempo exposición en años.

3.4.7. Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es otro indicador de la durabilidad del hormigón, ya que refleja la oposición que el material puede mostrar al paso de corriente eléctrica, es decir, la resistencia óhmica del material. Se trata de un parámetro que condiciona los procesos de corrosión en las estructuras de hormigón armado actuando como regulador de estos, de ahí su interés para este trabajo.

El análisis de la resistividad eléctrica de cada hormigón se realizó de acuerdo con la norma UNE-EN 12390-19 (25). En este caso se analizó sobre probetas prismáticas de 40x40x160 mm, tres por cada tipo de hormigón. Previamente al ensayo, se realizó el acondicionamiento de las probetas siguiendo el método descrito en la norma. Este proceso consistió en saturar las muestras mediante un proceso de secado y saturación en vacío, condiciones que se mantuvieron durante 24 horas antes de realizar la primera medida. Una vez realizada la primera medida, las probetas fueron almacenadas sumergidas en agua. El seguimiento de la resistividad se midió periódicamente durante varias semanas.

Para la toma de medidas se aplicó un campo eléctrico entre 2 electrodos en contacto con las bases de las probetas. Entre los electrodos y las muestras se colocaron dos paños húmedos que aseguraran la conexión iónica. Las medidas se extendieron durante 2-3 minutos hasta obtener una señal estable.

Para el cálculo de la resistividad eléctrica se utilizó la ecuación descrita en la norma que a continuación se presenta:

$$\rho_e = k * R_e = \frac{S}{L} * R_e \quad Ec 3 8$$

Donde; R_e se multiplica por las dimensiones de la probeta (S/L).

El ensayo se realizó sobre 3 probetas fabricadas con cada hormigón. El resultado final de cada tipo de material se consideró el realizado en la última medida, tras el estudio de la evolución de este parámetro durante 8 meses continuos.

3.5. Monitorización de la corrosión

El eje central de este trabajo versa sobre la validación de los tratamientos superficiales como recurso para paliar los daños por corrosión. Para su análisis, se realizó un estudio de la corrosión sobre armaduras embebidas en cada hormigón que se extendió varios meses. Para comprender este estudio se deben describir tanto las probetas utilizadas, como las tareas previas de acondicionamiento, las condiciones de exposición, los tratamientos aplicados y variantes existentes y, por último, la técnica de medida y validación utilizada.

3.5.1. Probetas utilizadas

Las probetas utilizadas para la monitorización de la corrosión se describen en la Figura 3. 7. Como se puede ver, se utilizaron probetas cúbicas de 150 mm de lado, sobre las que se embebieron 4 sensores de corrosión por muestra, alojadas de manera que el recubrimiento de cada armadura fuera de 15 mm.

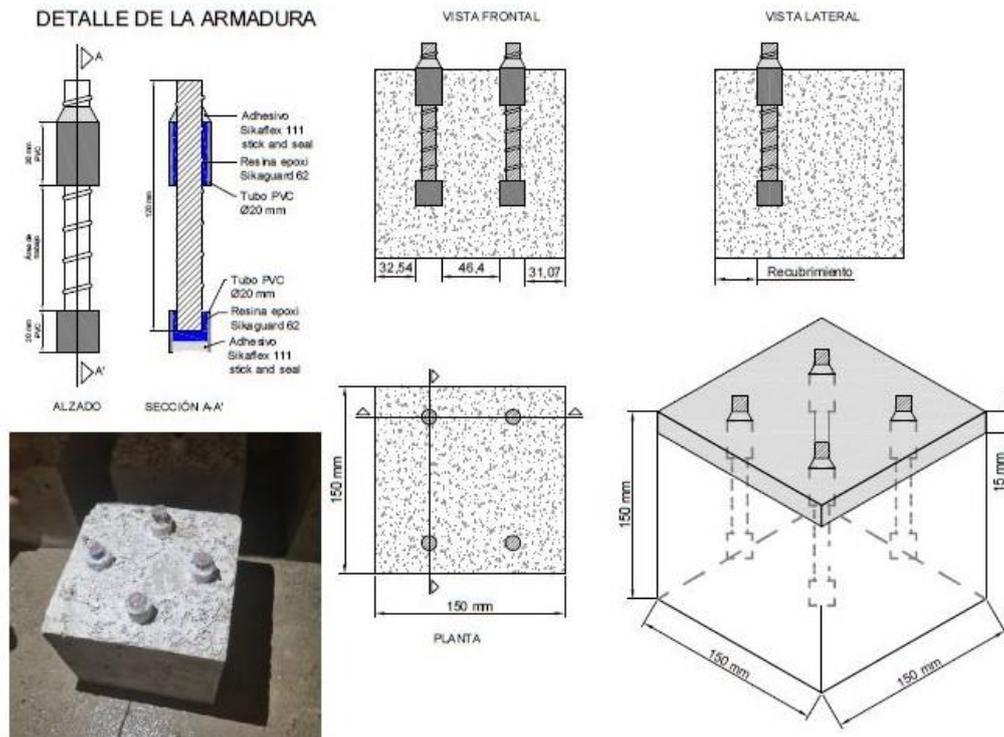


Figura 3. 7. Descripción de las probetas utilizadas para realizar el estudio de monitorización de la corrosión.

3.5.2. Acondicionamiento de las probetas de hormigón armado

Previamente a someter las probetas de hormigón armado a las condiciones de exposición idóneas para simular un ambiente de alta agresividad (en este caso, un ambiente XS3, carrera de mareas en ambiente marino) las muestras fueron acondicionadas. Para ello, la cara superior y un centímetro de las caras laterales fueron impermeabilizadas con una pintura impermeabilizante marca Ureña (ficha técnica en Anexo 5). Para este proceso se utilizó una cinta de carroceros para delimitar la zona de pintado y el producto se aplicó en varias manos con un cepillo de tamaño medio. En la Figura 3. 78 se muestran algunas imágenes del proceso.

Esta protección se implementó basándose en la experiencia del grupo de investigación, que ya había detectado previamente que, de no sellarse esa cara, era un punto débil que favorecía la corrosión en esa zona.

Respecto a este proceso de acondicionado, desde un principio se pensó aplicar dos capas de pintura, no obstante, fue necesario aplicar más de tres capas ya que la cara superior de las probetas por su acabado irregular presentaba poros y se estimó que no se aseguraba la estanqueidad de la zona.



Figura 3. 8. Preparación probetas. A. Marcado de 10 mm en caras laterales de probetas con cinta de carrozero. B. Impermeabilización laterales probetas. C. Impermeabilización caras superiores probetas. D. Identificación probetas según grupo SP, CP, CPT.

3.5.3. Variables de estudio

Con el objetivo de analizar diferentes variables en la aplicación del producto objeto de estudio de este trabajo, y teniendo en cuenta que por cada hormigón se fabricaron 3 probetas con cuatro sensores cada una, se planteó un estudio con tres variables y que a continuación se describen:

Grupo SP: probetas que no recibieron ningún tratamiento superficial en sus caras;

Grupo CP: probetas sobre las que se aplicó un pasivador de tipo “impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión” previamente al inicio de las condiciones de exposición;

Grupo CPT: probetas sobre las que se aplicó un “impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión” después de 183 días en condiciones de exposición en un ambiente agresivo XS3.

En este caso, el pasivador utilizado como impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión fue el Sikagard-705 L (ver ficha técnica en Anexo 4). Se trata de un impregnante a base de silanos con un 99% de principio activo, monocomponente de baja viscosidad, sin disolventes, y adecuado para soportes de hormigón y cementosos. Esta protección se enmarca en el subgrupo 2 de la norma EN 1504-2 (14), correspondiente a impregnaciones hidrófugas.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9** se muestran algunas imágenes del procedimiento de protección realizado sobre las distintas probetas.



Figura 3. 9. Impermeabilización con impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión Sikagard-705 L. A. Grupo CP ($t=0$ días), B. Grupo CPT ($t=183$ días)

Debido a la baja densidad del producto y su rápida evaporación, se aplicaron 3 manos por cada cara de exposición, para asegurar su correcta aplicación, y también siguiendo las recomendaciones del suministrador.

3.5.4. Condiciones de exposición de las probetas

Todas las probetas de hormigón armado fueron sometidas a las mismas condiciones de exposición. En este caso, por su riesgo para las estructuras de hormigón armado, se decidió someter las muestras a unas condiciones simuladas de un ambiente XS3, es decir, carrera de mareas en ambiente marino. De acuerdo con bibliografía, esta exposición resulta de gran peligrosidad, ya que favorece que aparezcan problemas por corrosión rápidamente. Los ciclos humectación-secado favorecen la difusión del cloruro, por un lado, y por otro generan las condiciones de humedad y disponibilidad de oxígeno óptimas para el desarrollo del proceso electroquímico.

Estas condiciones de exposición se simularon en laboratorio, mediante un juego de cubetas y bombas que desplazaban el agua y generaban las mareas.

Para ello, las probetas se dividieron en 4 cubetas, tal y como se muestra en la Figura 3. 10. Como se puede ver, bajo cada probeta se colocaron piezas de plástico que

permitieran asegurar la difusión de agua también por la cara inferior y asegurar que todas las muestras estuvieran al mismo nivel.

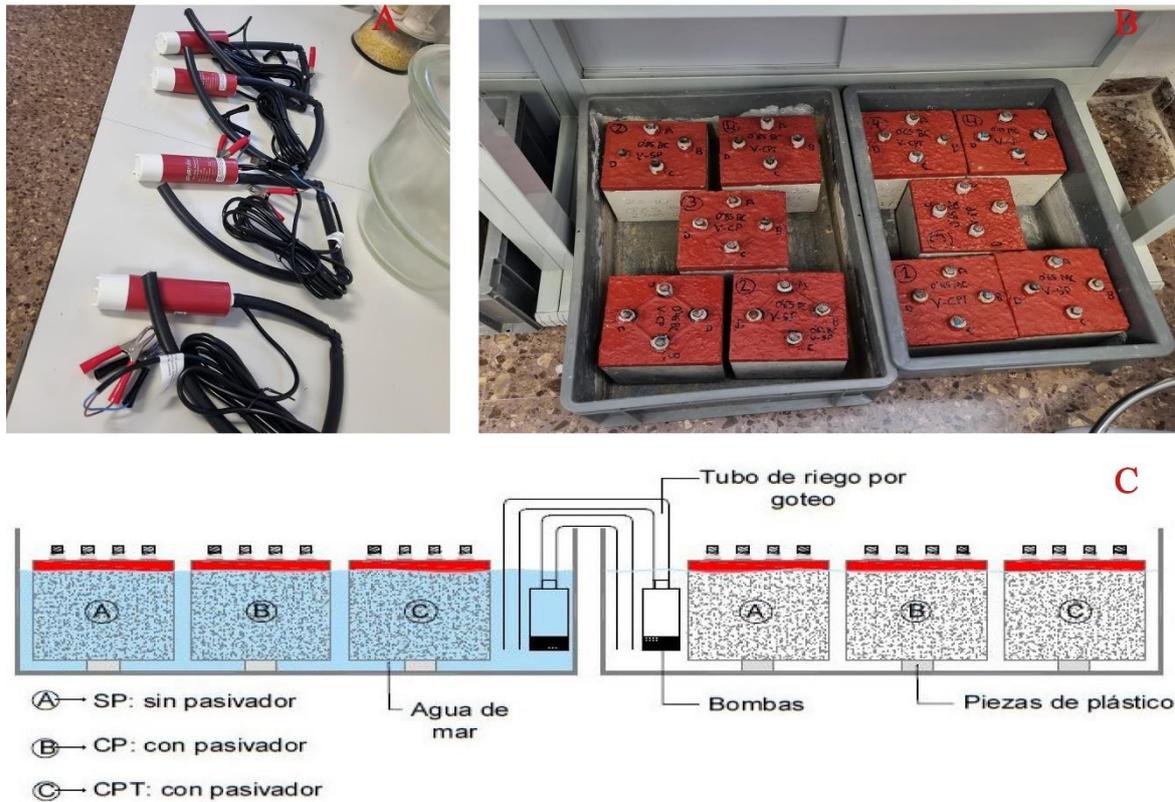


Figura 3. 10. Condiciones de exposición probetas. A. Bombas, B. Probetas colocadas en cubetas, C. Esquema de funcionamiento bombas.

Una vez aseguradas las probetas, dos de las cuatro cubetas fueron rellenas hasta la cara superior de las muestras con una disolución 0,5M NaCl. Se trata de una disolución de agua con cloruros con la misma concentración aproximadamente que el agua de mar. Esta disolución se preparó mezclando agua con sal de cocina en una relación de 35 gramos por litro de agua. Para favorecer la disolución de la sal con el agua se utilizó un taladro con broca de mezcladora tal como se muestra en la Figura 3. 11.

Para la simulación de las mareas se instalaron 4 bombas que realizarían y simularían el efecto de las mareas (ciclos de humectación y secado). Para preparar este sistema, en primer lugar, se cortaron manualmente con sierra de arco diferentes trozos de tubo de riego por goteo de 16 mm de diámetro. Con la ayuda de codos de riego, se generaron las tuberías necesarias para el desplazamiento de agua y evitar también salpicaduras. Para la programación de las bombas se utilizaron dos programadores de la casa comercial RS, modelo RS PRO-FR 230V ac. Los programadores, analizando el caudal de agua que desplazaban, fueron programados para activarse cada 24 horas durante un solo minuto, y desfasados entre ellos 12 horas. Con esto se consiguió generar una serie de ciclos humectación/secado de 12 horas. En la Figura 3. 11 se muestran algunas imágenes del proceso de fabricación y del montaje una vez finalizado. Además, en la Figura 3. 12 se incluye un enlace QR de un vídeo donde se puede apreciar la simulación de las mareas.



Figura 3. 11. A. recogida y pesado del agua de grifo, B. Pesado de la sal común. C. Mezcla de agua con sal con taladro con broca mezcladora. D. Vertido de agua con sal en las cubetas, E. Agua con sal en cubetas hasta la marca de impermeabilización de probetas, F. Montaje final del sistema con las bombas.

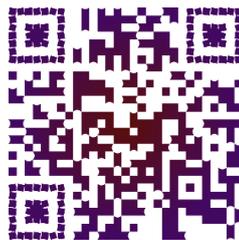


Figura 3. 12. Ejemplo de ciclos de mareas recreado sobre las probetas de hormigón armado. Elaboración propia

3.5.5. Monitorización de la corrosión

La monitorización de la corrosión se realizó con un equipo de cinco microprocesadores integrados (con código 1,2,3,4,16), aplicando la técnica de voltametría mediante escalones de potencial PSV compuesto por 3 escalones de potencial: ± 105 , ± 140 , ± 175 mV (26). Se trata de una técnica desarrollada y patentada por el grupo de investigación SMaRT. La técnica se basa en la aplicación de una perturbación de tipo potencioestático sobre el sensor y el estudio de la respuesta intensidad-tiempo (27). Esta respuesta, mediante ajustes por mínimos cuadrados, se relaciona con circuitos equivalentes para obtener el valor de la intensidad de corrosión. Una vez obtenido este dato, se normalizó por la superficie de trabajo del sensor ($22,608 \text{ cm}^2$), para obtener un valor en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ (28). Se trata de una técnica ya utilizada por el grupo para implementación en casos reales (29).

La medida de los datos con los microprocesadores se realizó mediante 2 electrodos empleando el sensor como electrodo de trabajo, ya que una de las ventajas de esta técnica reside en su facilidad para la implementación y la no necesidad de electrodo de referencia. Para llevar a cabo la medida, se introdujeron en todas las cubetas y por cada probeta unas planchas de acero inoxidable que actuarían como contraelectrodo. Como electrodo de trabajo se utilizaron los sensores embebidos. Cada microprocesador está compuesto por dos canales de medida, lo que permite medir dos sensores al mismo tiempo llegando así a medir hasta 10 sensores diferentes en una sola medida.

El tiempo de funcionamiento del equipo de microprocesadores para la medida de los datos era aproximadamente de 2 horas, pasado ese tiempo era necesario realizar el cambio de conexión a los sensores y el procesamiento de la medida.



Figura 3. 13. Monitorización de la corrosión en probetas. A. Equipo de microprocesadores. B. Conexión de sensores al equipo de microprocesadores.

La medida de la corrosión sobre los sensores se realizó de manera periódica a lo largo de los 240 días que se extendió el periodo de monitorización.

3.6. Monitorización de la corrosión en un caso real

La última parte del trabajo se centró en aplicar, a nivel práctico y sobre una estructura real, el método de protección más adecuado de los evaluados en laboratorio. Para ello, se trabajó sobre una estructura a escala de hormigón armado construida hace más de cinco años por el grupo de investigación SMaRT del Laboratorio de Electroquímica de la ETSIE. Se trata de una estructura compuesta de tres soportes y un muro que sustentan una losa, pieza sobre la que se centraron todos los trabajos que esta memoria recoge.

El hecho de seleccionar esta zona de actuación fue motivado por la alta corrosión registrada en sus sensores. Durante los primeros días, tras el hormigonado de la estructura, no se realizó un curado adecuado, lo que originó la aparición de fisuras a causa de la retracción y que condujo a obtener niveles de corrosión bajos en un primer momento que derivaron en niveles de corrosión moderados con el paso de los años.

Así pues, el objetivo de esta subtarea del trabajo fue evaluar, sobre caso un real, la eficacia del método más adecuado para la prevención de la corrosión en casos donde la corrosión ya es alta, con el inhibidor de la corrosión, Sikagard-705 L.

El proceso de intervención consistió en identificar primero la ubicación de las armaduras longitudinales y transversales de la losa con un pachómetro modelo Bosch Professional GMS 120, y marcar en la superficie de la losa la cuadrícula de las armaduras. En la Figura 3. 14 se pueden ver imágenes de todo este proceso.

Una vez identificadas las armaduras, se extrajeron 6 testigos con la ayuda de un taladro saca testigos con broca de 42 mm. Con la extracción de los testigos se comprobó que el recubrimiento de las armaduras de la losa era de 4 cm. Además, se hizo in situ un revelado con fenolftaleína sobre los testigos extraídos para saber la profundidad de carbonatación de la losa. Esta profundidad fue de 2 cm en algunas zonas y en la zona de las fisuras la profundidad de carbonatación detectada era ligeramente superior, de 3 cm. Esta primera evaluación denota que el frente de carbonatación ha avanzado de manera irregular durante su vida útil, pero que la probabilidad de corrosión es alta. En la Figura 3. 15 se muestran imágenes del proceso.

Como se puede ver en las imágenes, en paralelo a la extracción de los testigos se cortó la armadura, generando dos tramos independizados del armado que se utilizarían como sensores. Una vez estos fueron generados, se procedió a conectar los sensores con la armadura de la losa mediante puntos de soldadura. Estas conexiones fueron luego selladas y protegidas con un relleno de pintura epoxi Sikaguard-62. Una vez seco el relleno con la pintura, se aplicó la protección inhibidora de la corrosión (Sikagard-705L). Esto se realizó para evaluar la eficacia del producto en intervenciones sobre estructuras existentes. En total se aplicaron 3 capas de producto de manera abundante para asegurar su correcta difusión. Sobre sensores próximos a la zona intervenida no se aplicó el inhibidor de la corrosión para contrastar resultados posteriormente. En la Figura 3. 16 se muestran imágenes de este proceso y un esquema eléctrico de cómo quedaron los sensores.



Figura 3. 14. Intervención en estructura real. A. Estructura antes de la intervención. B. Identificación de armaduras. C. Cuadrícula de armaduras identificadas.



Figura 3. 15. A. Extracción de testigos con taladro saca testigos de broca de 42 mm. B. Testigos extraídos. C. Comprobación del recubrimiento de la losa. D. Prueba de la fenolftaleína. E. Medida de profundidad de carbonatación

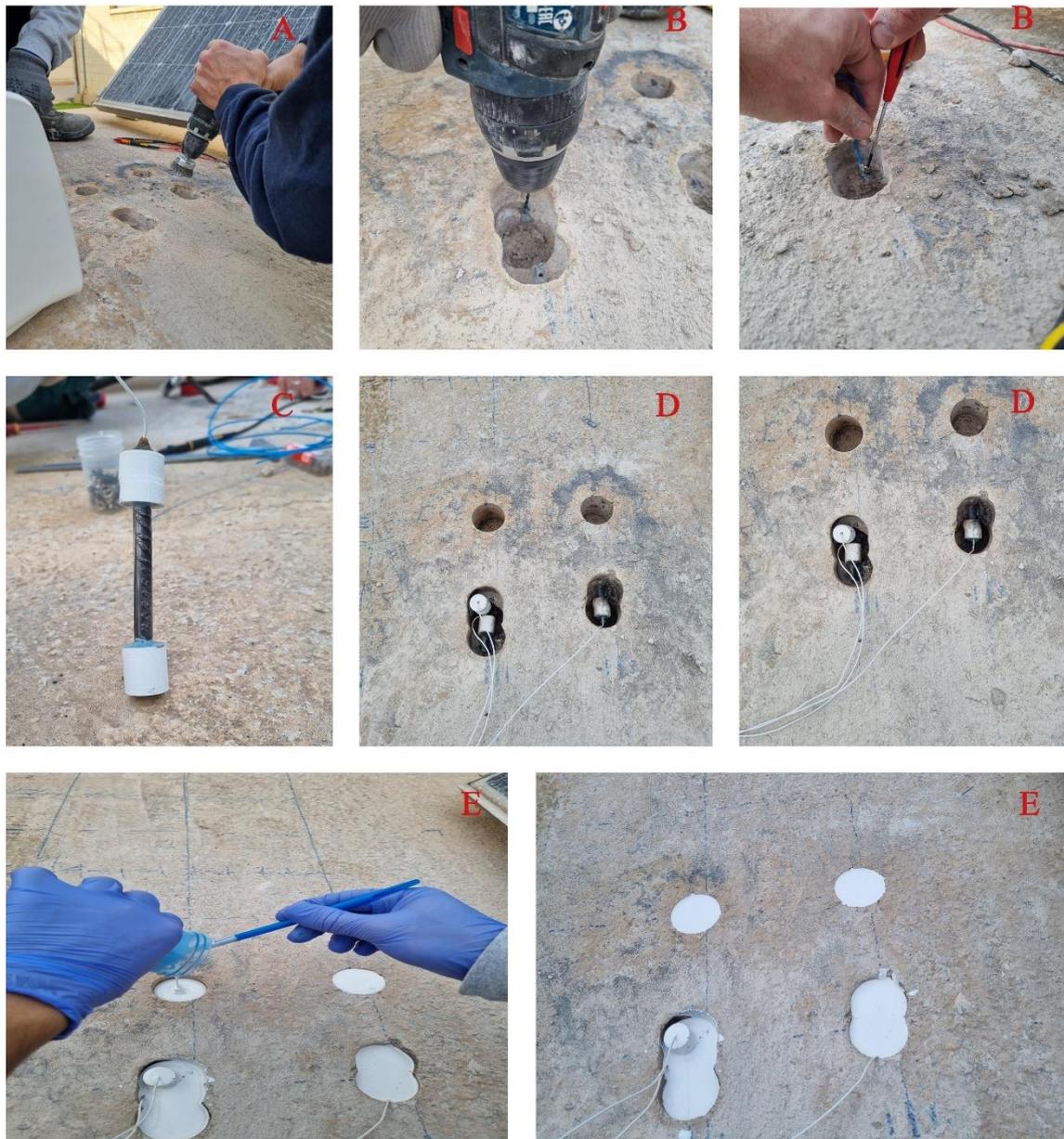


Figura 3. 16. Intervención estructura real. A. Cepillado armadura losa, B. Preparación de armadura losa. C. sensor utilizado para conexión con la armadura de la losa, D. Sensores conectados con puntos de soldadura, E. Sellado de sensores con pintura epoxi Sikaguard-62.

Para acelerar los procesos de corrosión, sobre la losa, y concretamente, en la zona donde se materializaron los sensores, se colocó un depósito de agua salada. La construcción de este depósito se realizó primero con el ensamblado de distintas placas de acero inoxidable que conformaron el armazón. Este se adhirió a la estructura con el sellador y adhesivo, Sikaflex-111 Stick and Seal. Para mayor protección y con la finalidad de evitar fugas, todas las juntas se repararon y sellaron con pintura impermeabilizante especial para cubiertas (ficha técnica incluida en el Anexo 5). Finalmente se llenó de agua salada el depósito utilizando una concentración idéntica a la utilizada en laboratorio, 35 gramos de sal de cocina por cada litro de agua.



Figura 3. 17. Intervención estructura real. A y B. Colocación depósito de agua de mar con sellado de juntas, C. Aplicación de inhibidor de la corrosión Sikaguard-705L aplicado, D. Sistema de monitorización montado, E. Agua de mar con el nivel bajado, F. Presencia de fisuras en la zona de los sensores.

Por último, y siguiendo el procedimiento llevado a cabo en laboratorio, sobre los sensores, se realizó una monitorización de la corrosión con el mismo equipo portátil de medida y siguiendo el mismo procedimiento de procesado y obtención de datos. Debe señalarse que se monitorizaron en paralelo los dos sensores generados nuevamente sobre la estructura, a la vez que se monitorizaron dos sensores más, embebidos en la zona bajo el depósito, pero donde el inhibidor no se aplicó, con el objetivo de comparar resultados al final del plan experimental.

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los distintos resultados obtenidos tanto en los ensayos de caracterización como en la monitorización de la corrosión en las armaduras embebidas en las probetas de hormigón armado sometidas a condiciones de exposición XS3 (durante 240 días) y la monitorización de la estructura real, durante los 40 días en los que se llevó a cabo el análisis de este fenómeno.

4.1. Caracterización del hormigón

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos de caracterización realizados. En esta tabla se han introducido también los coeficientes de variación (CV) entre paréntesis por cada tipo de hormigón y ensayo.

	0.85CA	0.85CC	0.65CA	0.65CC	0.45CA	0.45CC
Resistencia a compresión, f_c (MPa)	21,57 (2,14)	24,12 (1,69)	25,75 (3,45)	31,02 (2,12)	34,59 (2,64)	40,08 (3,21)
Porosidad accesible al agua (%)	17,66 (1,11)	17,09 (1,19)	14,96 (1,45)	14,27 (0,97)	13,98 (2,12)	13,37 (0,74)
Absorción por capilaridad ($\text{kg}/\text{m}^2\text{min}^{0,5}$)	89,42 (7,89)	68,91 (6,47)	75,95 (7,13)	59,63 (7,67)	65,11 (3,64)	48,36 (8,93)
Permeabilidad al gas (m^2)	1125,37 (110,25)	963,54 (89,97)	987,11 (37,94)	748,34 (128,77)	618,79 (264,30)	257,14 (57,63)
Difusión aparente por migración, D_{nssm} (m^2/s)	68,96 (17,32)	54,86 (23,64)	52,36 (17,69)	41,58 (15,11)	43,78 (12,77)	35,68 (8,97)
Coefficiente de carbonatación (mm/año)	135,09 (2,46)	67,54 (1,21)	91,91 (1,77)	62,93 (1,73)	86,95 (1,45)	54,39 (1,23)
Resistividad (Ωm)	35,75 (5,05)	42,31 (8,14)	58,60 (7,31)	63,87 (6,17)	70,01 (3,45)	82,05 (4,97)

Tabla 4 1. Resultados de caracterización de los distintos hormigones fabricados.

Como se puede extraer de la Tabla 4 1, existe una gran diferencia entre cada uno de los hormigones, y no solo eso, sino también entre hormigones idénticos pero sometidos a distintas condiciones de curado. Excepto el estudio de la resistencia a compresión, el resto de los ensayos de caracterización realizados se han enfocado al estudio y análisis de diferentes propiedades relacionadas con la durabilidad y vida útil del hormigón y, por ende, con su relación con la corrosión de las armaduras, ya que este es el eje central del trabajo.

Para la discusión de estos datos, se hará referencia en todo momento a los umbrales establecidos por Baroghel o Wang en sus estudios de caracterización (30). De los umbrales definidos en dicho estudio, se puede apreciar cómo los resultados de los hormigones cuya relación agua/cemento fue de 0,85 se enmarcan dentro de los umbrales que lo clasifican como un material con una durabilidad muy baja, apreciándose también diferencias entre el bien y mal curado. En el caso de las mezclas cuya dosificación empleó una relación agua/cemento de 0,65, los resultados obtenidos se sitúan en rangos de durabilidad baja o muy baja. En cambio, los hormigones de mejor calidad y que se

enmarcan en lo permitido en el Código Estructural (relación agua/cemento de 0,45) mostraron en la mayoría de los casos una durabilidad media, siendo en algunos casos baja para la mezcla mal curada, mientras que en algunos otros entra en durabilidad alta para la mezcla bien curada.

Estos datos servirán de apoyo para el análisis de los resultados obtenidos durante el periodo de monitorización de la corrosión que a continuación se presenta.

4.2. Monitorización de las probetas

Los resultados obtenidos a lo largo de los 240 días en los que se ha llevado a cabo la monitorización del fenómeno de la corrosión en las armaduras embebidas en las probetas fabricadas con cada uno de los 6 hormigones presentados previamente se muestran a continuación. Para la descripción de los resultados, aunque en primer lugar se presentarán todos los datos agrupados, posteriormente se desgranarán en diferentes descripciones, para hacer más sencilla su comprensión.

4.2.1. Seguimiento de la corrosión.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la intensidad de corrosión (i_{corr}) en las armaduras de las probetas sometidas a un ambiente de exposición agresivo XS3 (carrera de mareas en ambiente marino). En la Figura 4 1 se han marcado los umbrales definidos en la norma RILEM TC 154 EMC (31) para determinar el nivel de corrosión.

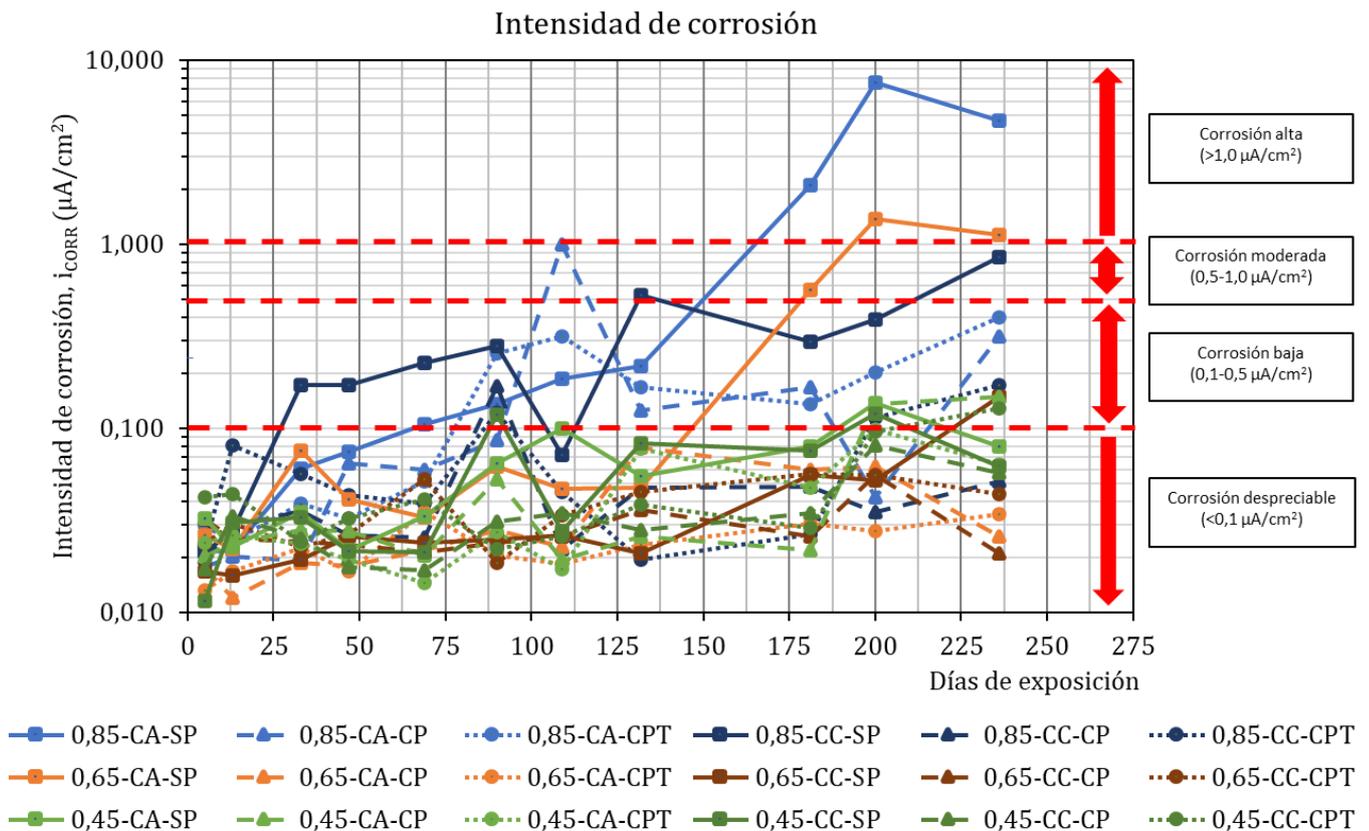


Figura 4 1. Evolución de la intensidad de corrosión. Elaboración propia

Debido a la dificultad para apreciar todos los datos, a continuación, se desgranarán los resultados en tres grupos, correspondientes a las tres relaciones agua/cemento empleadas.

4.2.1.1. Relación agua/cemento 0,45

En la gráfica 4.2 se incluyen los resultados obtenidos durante la monitorización del hormigón fabricado con una relación agua/cemento 0,45, tanto curado en cámara (CC) como curado al aire (CA).

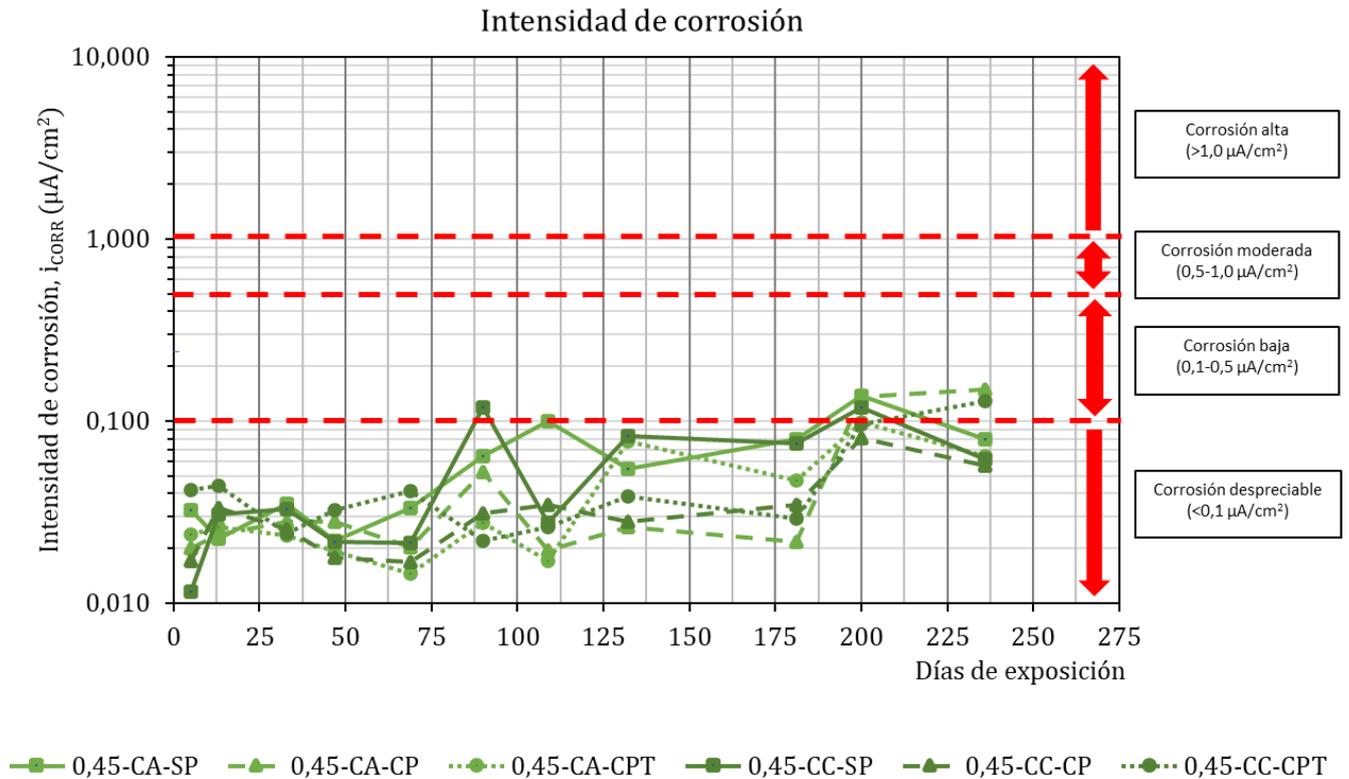


Figura 4.2. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,45. Elaboración propia

Como se puede ver, prácticamente durante todo el estudio se obtuvieron resultados por debajo del umbral para considerar que la corrosión es despreciable. Esto se corresponde con el hecho de que las armaduras mantuvieron durante todo el periodo de estudio su pasividad inicial. Se trata de un hecho estrechamente relacionado con los resultados de caracterización de los hormigones, que denotaron una durabilidad media. De estos resultados se puede extraer la conclusión de la escasa influencia que tuvo realizar un curado más o menos adecuado en cada caso. Sin embargo, la validación sobre el efecto que tiene el pasivador aplicado en superficie no pudo demostrarse, ya que se requeriría un periodo de estudio más extenso.

4.2.1.2. Relación agua/cemento 0,65

En la gráfica 4.3. se incluyen los resultados obtenidos durante la monitorización del hormigón fabricado con una relación agua/cemento 0,65, tanto curado en cámara (CC) como curado al aire (CA).

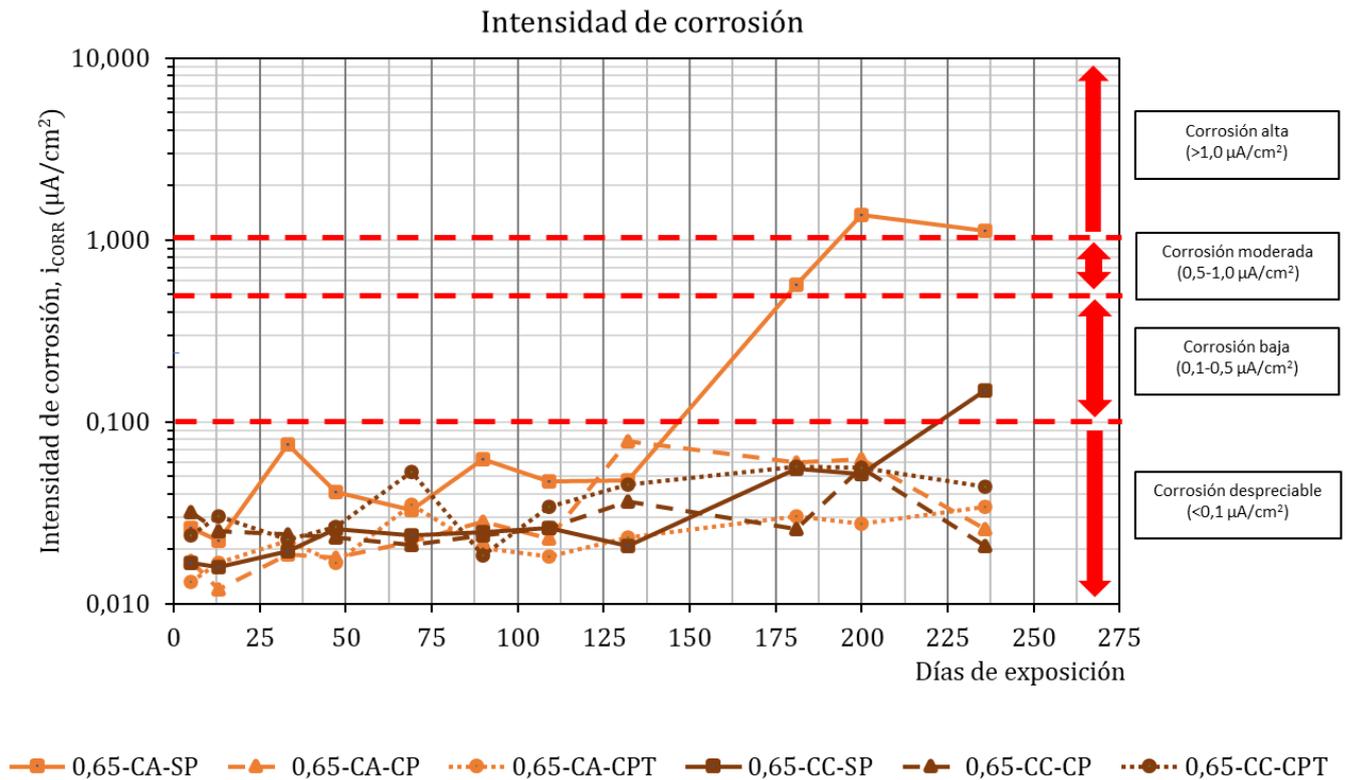


Figura 4.3. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,65. Elaboración propia

Como se puede ver, la tendencia de los resultados es similar a los observados en la gráfica anterior (hormigones con relación agua/cemento de 0,45). Sin embargo, sí que se debe resaltar el cambio de tendencia en las armaduras embebidas en el subgrupo 0,65-CA-SP (correspondiente al curado al aire y sin ningún tipo de pasivador aplicado). Este hormigón, de acuerdo con los datos de caracterización, reflejaba una durabilidad baja. Esto se tradujo en que a partir de los 125 días de estudio se observó un incremento progresivo y abrupto de la corrosión que denotó la despasivación de las armaduras, alcanzando valores por encima de $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, correspondiente a un nivel de corrosión alto. En el caso del mismo subgrupo, pero con un curado en cámara (CC) solo en la última medida se pudo apreciar un valor por encima de $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Este estudio sí que permitió ver la posible influencia que tiene el pasivador en superficie y como es capaz de ralentizar la difusión de los cloruros hacia el interior del hormigón, favoreciendo que tanto en las muestras con buen y mal curado se evitara la despasivación de las armaduras.

4.2.1.3. Relación agua/cemento 0,85

En la gráfica 4.4. se incluyen los resultados obtenidos durante la monitorización del hormigón fabricado con una relación agua/cemento 0,85, tanto curado en cámara (CC) como curado al aire (CA).

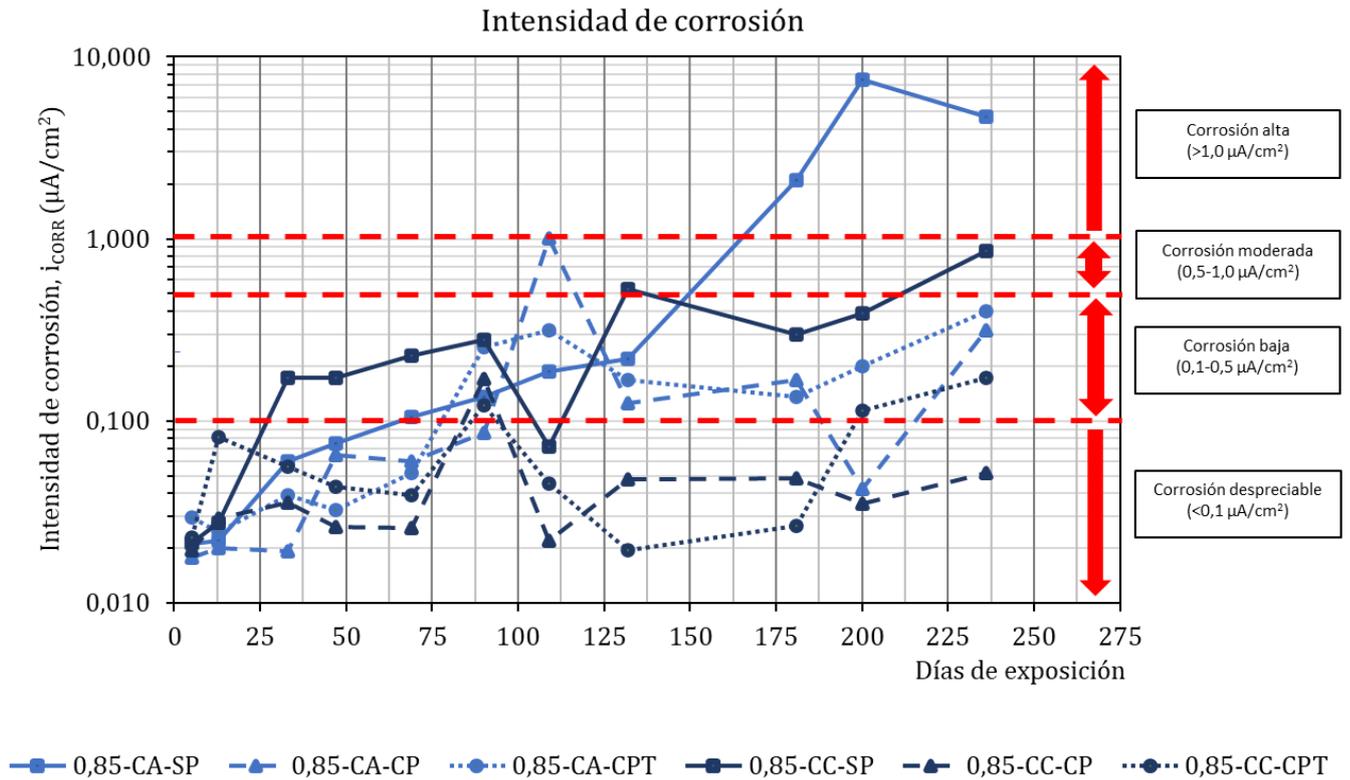


Figura 4 4. Evolución de la intensidad de corrosión. Hormigones con relación agua/cemento de 0,85. Elaboración propia

En este caso, se vuelve a apreciar un cambio de tendencia, mucho más errática que las anteriores y con mayor dispersión. Las muestras donde no se aplicó ningún tipo de protección (SP) mostraron al final del periodo de estudio valores de corrosión moderados (CC) o altos (CA). En este caso, y de acuerdo con los datos de caracterización obtenidos en los ensayos realizados, se pudo determinar que se trataba de hormigones con una durabilidad muy baja. Como resultado, en unas condiciones de exposición muy agresivas, el resultado fue de corrosión alta en cortos periodos de tiempo. Sin embargo, aquellas muestras que fueron protegidas, bien antes de la exposición, o aproximadamente a los 100 días, con el pasivador Sikagard-705 L, se mantuvieron en niveles de corrosión bajos o despreciables, lo que permitió certificar la idoneidad del producto. Es más, destaca el cambio de tendencia observado a partir de los cien días en algunas de las muestras.

Aunque los resultados de monitorización obtenidos demostraron, sobre todo en las mezclas de 0,85 la idoneidad del producto empleado como pasivador superficial, es conveniente analizar el daño por corrosión acumulado, ya que este puede servir como evidencia de todo ello. Para alcanzar este objetivo, en este trabajo se estudiarán dos parámetros distintos, pérdida de masa y pérdida de sección.

4.2.2. Pérdida de masa

Por un lado, la pérdida de masa acumulada se puede obtener a través de los datos de la intensidad de corrosión (i_{corr}) obtenidos en la monitorización y la ecuación de Faraday, integrando la evolución de la intensidad con el tiempo:

$$\Delta m = \frac{M}{n * F} * \int_{t_0}^t i_{CORR} * dt$$

Ec 5 1

donde:

M: masa atómica metal (55,845 g/mol);

n: número electrones ganados o liberados;

F: constante de Faraday (96845 C/mol).

En la gráfica 4.5. se presentan los resultados de la estimación de pérdida de masa de cada grupo de estudio.

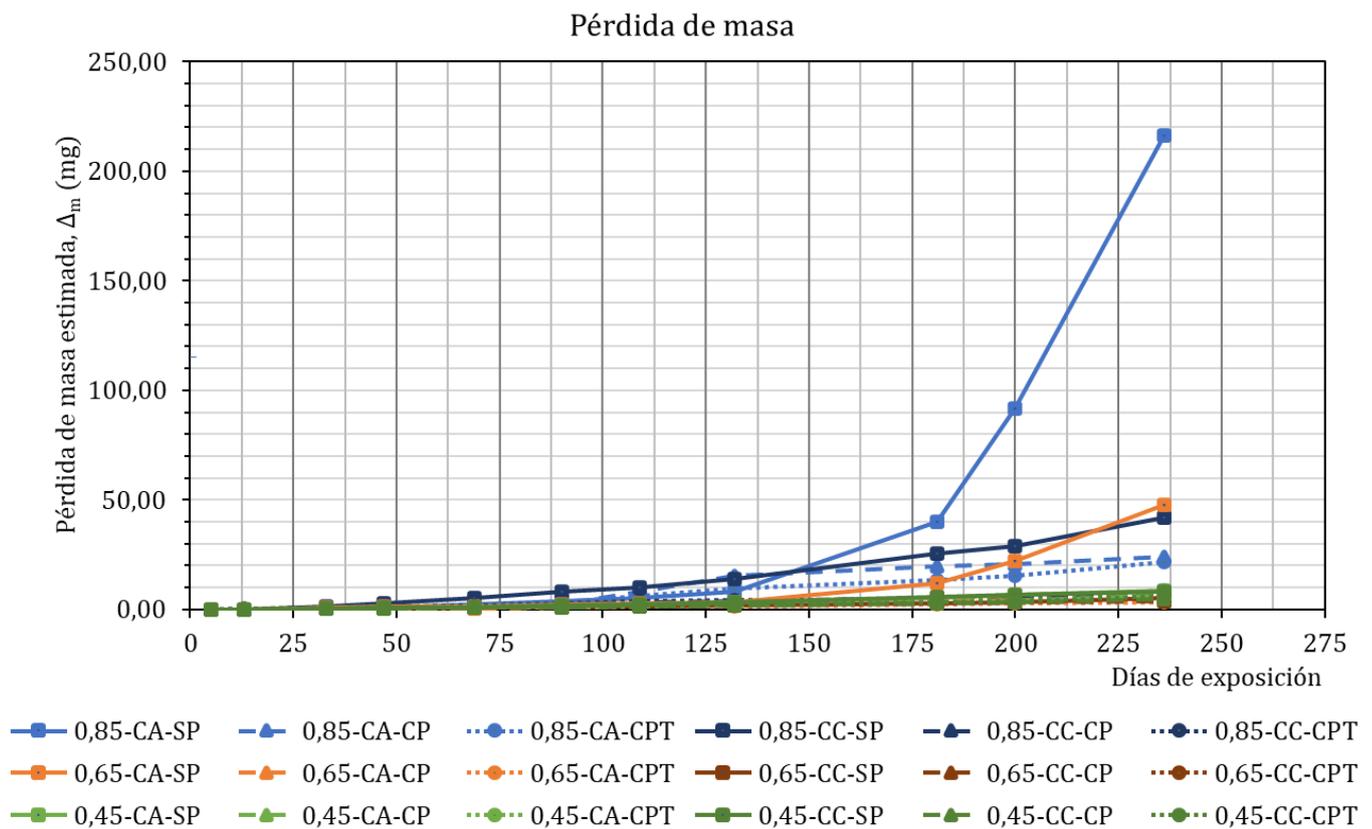


Figura 4.5. Evolución de la pérdida de masa de las armaduras. Elaboración propia

Como se puede ver, la mayoría de los grupos de estudio mantuvieron una tendencia constante, prácticamente horizontal y que denota una pérdida de masa mínima. Sin embargo, destaca el cambio de tendencia de algunos grupos y su crecimiento exponencial. Por ejemplo, el grupo 0,85-CA-SP alcanzó una pérdida de masa de más de 200 mg. Los otros grupos de 0,85-CA, pero CP y CPT, es decir con pasivador aplicado a lo largo del estudio únicamente alcanzaron una pérdida de masa de entre 10 y 20 mg respectivamente, lo que se corresponde con un daño 10 veces menor, y que se puede atribuir a la protección que genera el pasivador. Las armaduras embebidas en el hormigón 0,85-CC-SP mostraron una pérdida de masa estimada de 40 mg aproximadamente, mientras que aquellas embebidas en el mismo hormigón, pero donde se aplicó el pasivador no superaron los 10 mg, volviendo a demostrarse la influencia del pasivador en la durabilidad en relación con la corrosión de las armaduras embebidas en el hormigón.

Cabe señalar la relación de esta representación con el diagrama de Tuutti presentado en el Capítulo 2. Estas gráficas permiten identificar el periodo de iniciación y propagación claramente. Los hormigones con relación agua/cemento 0,45 mantuvieron en todo momento una tendencia prácticamente horizontal, denotando la no llegada de los cloruros en las armaduras. Se trata de un hormigón de calidad alta cuyo recubrimiento, a pesar de ser curado al aire, logra proteger las armaduras incluso en un ambiente de extrema agresividad. Por otro lado, en los hormigones 0,65 el único grupo que denotó un cambio de tendencia identificable con la pérdida de pasividad de las armaduras fue el grupo 0,65-CA-SP. En el resto de los casos de este grupo, la influencia del pasivador y el buen curado permitió evitar daños por corrosión.

A pesar de que previamente al inicio del estudio se hubieran pesado las armaduras y se pudiera realizar una validación gravimétrica, la necesidad de completar un estudio mucho más extenso que permitiera ver la posible influencia del pasivador en superficie empleado en los hormigones 0,65 y 0,45 invitó a continuar el estudio. Una vez finalice, las probetas podrán ser sometidas a un ensayo de tracción indirecta que permita extraer las armaduras y realizar la validación de la pérdida de masa con las estimaciones realizadas.

4.2.3. Pérdida de sección

Por otro lado, la pérdida de sección (P_x) es un parámetro cuyo resultado también se puede obtener a partir de la integral de los datos de intensidad de corrosión multiplicado por un coeficiente definido en RILEM TC 154 EMC (31) y de acuerdo con:

$$P_x = 0,0116 * \int_{t_0}^t i_{CORR} * dt \quad Ec 5 2$$

No obstante, en los casos que se produce la corrosión por presencia de cloruros, produciéndose corrosión localizada (picaduras) y, por tanto, una pérdida de sección puntual (P_{pit}), la estimación de la pérdida de sección está sujeta a un valor α que se observa en la siguiente fórmula.

$$P_{pit} = \alpha * P_x = \alpha * 0,0116 * \int_{t_0}^t i_{CORR} * dt \quad Ec 5 3$$

En la Figura 4.5. se presentan los resultados de la estimación de la pérdida de sección de cada grupo de estudio.

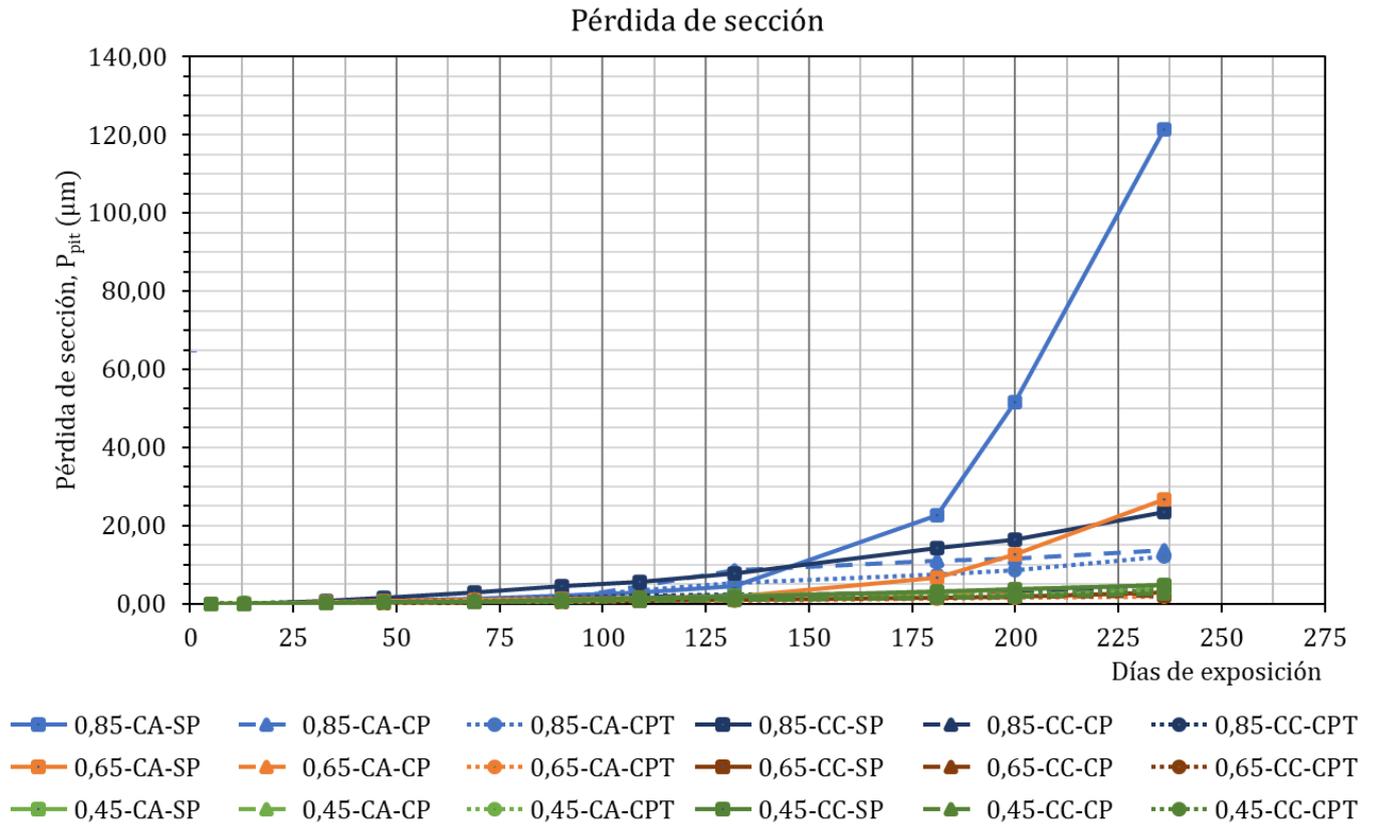


Figura 4 6. Evolución de la pérdida de sección. Elaboración propia

Al tratarse de nuevo de un estudio que integra los resultados obtenidos durante la monitorización de la corrosión, la tendencia es similar a la observada en el caso anterior. La profundidad máxima de picadura estimada fue de 120 μm y solo para el caso del 0,85-CA-SP. En el resto de los casos, el daño estimado será inapreciable para el ojo humano. Estos datos revelaron la necesidad de continuar el estudio.

4.3. Monitorización de estructura real

Como se ha descrito en el Capítulo 3, en paralelo al estudio de monitorización de la corrosión en armaduras embebidas en los 6 hormigones fabricados, se realizó también el estudio del seguimiento de la corrosión en una estructura existente sobre la que se aplicó el pasivador en superficie (Sikagard-705 L). Se trataba de un caso donde sobre la zona intervenida existían graves daños por retracción, que habían ocasionado fisuras y la despasivación prematura de las armaduras. Sobre la zona, expuesta a cloruros, se aplicó el pasivador y durante una primera fase de 40 días, se realizó la monitorización de la corrosión. En la Figura 4.7 se muestran los resultados obtenidos.

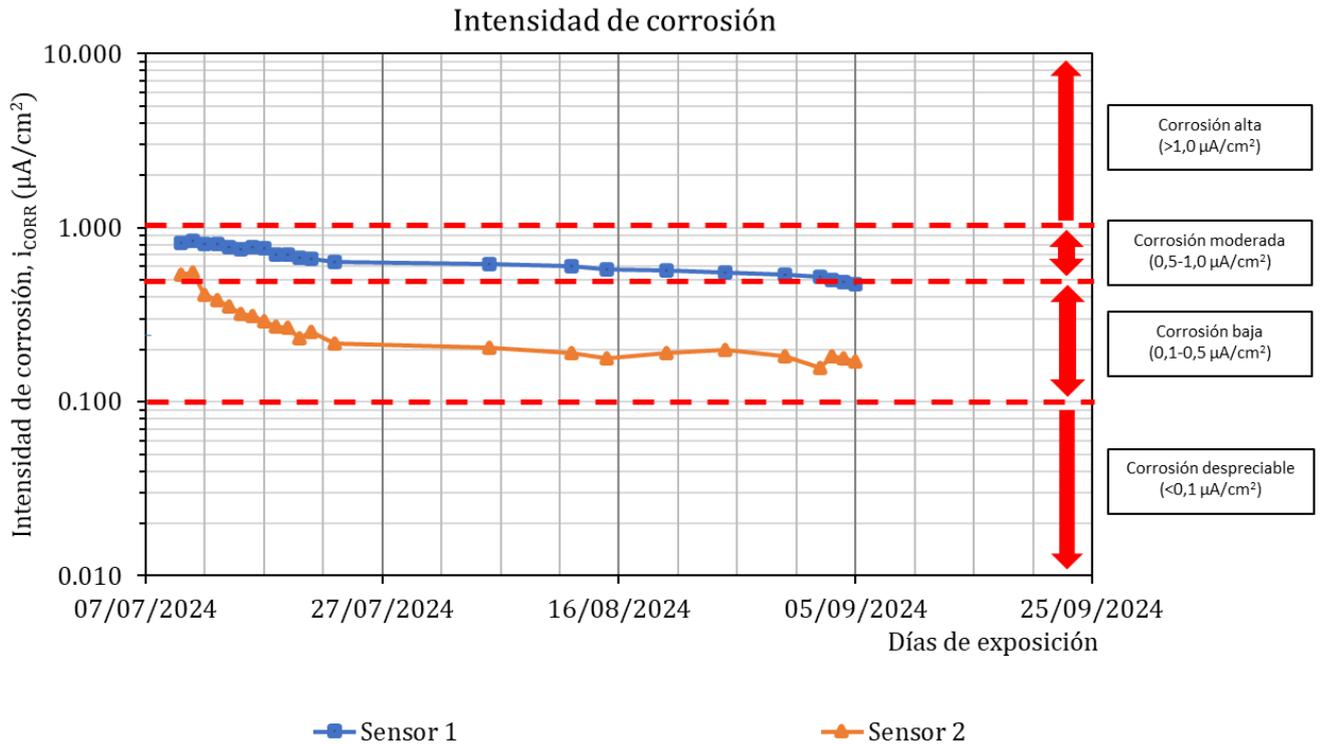


Figura 4 7. Evolución de la corrosión en puntos de medida generados en estructura existente.
Elaboración propia

Como se puede observar, en los dos sensores donde se realizó la monitorización se obtuvieron valores de corrosión correspondientes a niveles moderados, entre 0,5 y 0,9 $\mu A/cm^2$. Esto se debe a su estado inicial, una pieza fisurada desde primeras edades a causa de un curado inadecuado (no se implementó ningún tipo de tratamiento, además de que el hormigonado fue en tiempo caluroso).

Sin embargo, se puede observar que durante el periodo de estudio (40 días) se produjo un descenso progresivo de la intensidad de corrosión próximo al 50%. Este fenómeno puede ser achacado a la aplicación del inhibidor de la corrosión aplicado. Además, debe señalarse que previamente la corrosión era por procesos de carbonatación y que la instalación del depósito conducía a introducir también cloruros.

Estos datos vuelven a poner en relieve la eficacia del Sikagard-705 L como herramienta para prevenir o mitigar los procesos de corrosión, aunque el estudio requiere de un análisis más continuo en el tiempo y una posterior validación, como, por ejemplo, empleando catas e inspección visual.

5. CONCLUSIONES

A raíz del plan experimental y los resultados obtenidos tanto en los ensayos de caracterización, como en el proceso de monitorización de la corrosión realizado sobre armaduras embebidas, se puede afirmar que los objetivos marcados inicialmente han sido alcanzados. A partir de este trabajo se han extraído las siguientes conclusiones.

1. Los ensayos de caracterización del material permitieron determinar diferentes propiedades relacionadas con la durabilidad de cada hormigón. A partir de los resultados obtenidos, se pudo observar cómo las mezclas fabricadas con una relación agua/cemento baja (0,45) alcanzaban valores correspondientes a una durabilidad media-alta de acuerdo con los umbrales establecidos en bibliografía. No se apreciaron grandes diferencias entre un material curado al aire y en cámara. Sin embargo, en las mezclas con una relación agua/cemento más alta (0,65 y 0,85) los resultados mostraron una durabilidad baja o muy baja, siendo incluso determinante si el curado se realizaba al aire o en cámara.
2. A partir de los resultados obtenidos durante la monitorización de la corrosión, que se extendió 240 días, se pudo observar:
 - a. en los hormigones con relación agua/cemento 0,45 los niveles de corrosión observados fueron en todos los casos bajos, demostrando así, la idoneidad del material, ya probado mediante los ensayos de caracterización. Las condiciones de curado no mostraron ser determinantes;
 - b. en los hormigones con relación agua/cemento 0,65 también se observaron niveles de corrosión despreciables durante todo el periodo de monitorización. Sin embargo, el grupo de estudio en el que no se aplicó el inhibidor de la corrosión en superficie sí que mostró un cambio de tendencia, alcanzando valores más altos, superiores a $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ en el caso de hormigón curado al aire, y de $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ en el caso de la variante curado en cámara. Estos datos demuestran, por un lado, la influencia del curado, pero, sobre todo, la idoneidad del producto analizado, y cómo puede prevenir daños por corrosión en un ambiente muy agresivo;
 - c. el estudio sobre los hormigones con relación agua/cemento 0,85 mostró datos con mayor dispersión, pero se pudo observar de nuevo que los niveles de corrosión más altos se obtuvieron en el grupo de estudio sobre el que no se aplicó inhibidor de la corrosión (SP). En este caso, el hormigón no representa una aplicación real, pero fue determinante para obtener niveles de corrosión altos en un corto periodo de tiempo;
 - d. las estimaciones de pérdida de masa y sección permitieron obtener el daño acumulado, a partir de la integral de la intensidad de corrosión monitorizada. Sin embargo, el estudio requiere continuar, para realizar una validación tras un periodo de tiempo más largo.
3. La eficacia del inhibidor de la corrosión se comprobó también sobre una estructura piloto ejecutada por el grupo de investigación SMaRT hace cinco años. La estructura, previamente, mostraba niveles de corrosión altos debido a la presencia de fisuras en algunas zonas. Sin embargo, previa protección con el

inhibidor de la corrosión Sikagard-705 L y tras la instalación de sensores y un depósito con agua con cloruros para fomentar el incremento de la corrosión, se observó un descenso de la corrosión en la zona estudiada (periodo de estudio de 40 días). Estos datos demostraron la eficacia del producto, aunque requiere de un estudio más prolongado y posteriores inspecciones de las armaduras para validar los datos.

El trabajo presentado ha estado limitado por cuestiones de tiempo, pero entre las futuras líneas de estudio, se propone continuar con la monitorización, tanto de las probetas como de la estructura piloto. Un estudio más prolongado en el tiempo permitiría observar el efecto del producto a largo plazo. Además, el estudio debería acompañarse de una validación visual y gravimétrica que permitiera asegurar la precisión de los datos y contrastar estimaciones con la realidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Costa, Antonio y Appleton, Julio.** Sciencedirect. [En línea] [Citado el: 21 de 07 de 2024.] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0958946501000373>.
2. **Lliso Ferrando, Josep Ramón.** *Monitorización de la durabilidad de estructuras existentes de hormigón armado mediante la inserción de una red de sensores.* 2022.
3. **Angst, Ueli M.** *Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete.* 2018.
4. **Zandi, Kamyab.** *Desconchado de la cubierta inducido por corrosión y capacidad de anclaje.* *Structure and Infrastructure Engineering.* 2015.
5. **Raupach, K. Reichling.** *Efectos económicos de los estudios completos de corrosión en estructuras de hormigón envejecidas.* 2012.
6. **Barbas, Eva (Servicio Técnico BASF CC).** *basf-inhibidores-de-corrosion-migratorio-prevencion-y-reparacion-eficiente_ace_upc_22_11_16.*
7. **Schmit, Günter y Michael Schütze, George F. Hays, Wayne Burns, En-Hou Han, Antoine Pourbaix, Gretchen Jacobson.** *Global needs for knowledge dissemination, Research, and development in materials deterioration and corrosion control.* s.l.: WCO, The Worl Corrosion Organization, 2009.
8. **José Enrique Ramón, José Manuel Gandía Romero, Manuel Valcuende, Román Bataller.** *Red de sensores integrada para monitoreo. Corrosión del acero en estructuras de hormigón.*
9. **Gandía Romero, José Manuel.** *Ensayos y Comportamiento en Servicio. Durabilidad de las estructuras de homigón armdo.*
10. **Silva Guerrero, Pablo Javier.** *Evaluación de la eficacia de distintos métodos de reparación de la corrosión a través de la implementación de sensores en estructuras existentes de hormigón armado.* 2023.
11. **SMMA.** *Implementación del proyecto "MARCHA" en la ciudad de Valencia (Monitorización autónoma y remota de la corrosión en Hormigón Armado).* 2023.
12. **Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática.** *Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural.* s.l. : BOE, Núm. 190, 2021, 29 de Junio.
13. **AENOR.** *UNE-EN 1504-1. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 1. Definiciones.* 2005.
14. **AENOR.** *UNE-EN 1504-2. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 2. Sistemas de protección superficial para el hormigón.* 2005.

15. **AENOR.** *UNE-EN 1504-7. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 7. Protección contra la corrosión de armaduras.* 2007.
16. **AENOR.** *UNE-EN 12390-3. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.* 2020.
17. **IBERTEST.** IBERTEST. [En línea] https://www.ibertest.es/wp-content/uploads/docs/fichas_producto/ensayos_cemento/IBERTEST-Equipos-de-Cemento_2021-V2.1_ES.pdf.
18. **AENOR.** *UNE-EN 83980. Determinación de la absorción de agua, la densidad y la porosidad accesible al agua del hormigón.* 2014.
19. **AENOR.** *UNE-EN 83982. Determinación de la absorción de agua por capilaridad del hormigón endurecido. Método Fagerlund.* 2008.
20. **AENOR.** *UNE-EN 83966. Acondicionamiento de probetas de hormigón para los ensayos de permeabilidad a gases y capilaridad.* 2008.
21. **Sika.** Sika. [En línea] https://esp.sika.com/dam/dms/es01/7/sikalastic_-612.pdf.
22. **AENOR.** *UNE EN-83981. Durabilidad del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la permeabilidad al oxígeno el hormigón endurecido.* 2008.
23. **AENOR.** *UNE EN-1290-18. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 18: Determinación del coeficiente de migración de cloruros.* 2021.
24. **AENOR.** *UNE 83993-2. Duración del hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la velocidad de penetración de la carbonatación en el hormigón endurecido. Parte 2. Método acerlerado.* 2013.
25. **AENOR.** *UNE-EN 12390-19. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 19: Determinación de la resistividad eléctrica.* 2023.
26. **Ramón-Zamora, José Enrique, y otros.** *Corrosion Assessment in Reinforced Concrete Structures by Means of Embedded Sensors and Multivariate Analysis.* 2023
27. **Ramón, JE, y otros.** *Voltamperometría de paso de potencial: un enfoque para la medición de la velocidad de corrosión de las armaduras en el hormigón.* 2020.
28. **Ana Martínez-Ibernón, JE Ramón, JM Gandía Romero, I. Gasch, Manuel Valcuende, M. Alcañiz, Juan Soto.** *Caracterización de sistemas electroquímicos mediante voltamperometría de pasos de potencial. Parte II: Modelado de sistemas reversibles.* 2019.
29. **José E. Ramón, José M. Gandía Romero, Román Bataller, Juan A. López, Manuel Valcuende, Juan Soto.** *Monitoreo de la corrosión en tiempo real de una plataforma marina de hormigón reforzado con fibra de ultra alto rendimiento mediante el uso de un sistema de sensores autónomo.* 2022.
30. **Wang, Wei, y otros.** *Durability of an Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPRFC) under progressive aging.* 2014. págs. 1-13. Vol. 55.

31. **C. Andrade and C. Alonso with contributions from J. Gulikers, R. Polder, R. Cigna, Ø. Vennesland, M. Salta, A. Raharinaivo and B. Elsener.** *Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method.* 2004.

32. **Sika.** Sika. [En línea] https://esp.sika.com/dms/getdocument.get/b43beca1-5440-4149-80a5-cb1c4b86662c/sikagard_-62.pdf.

33. **Sika.** Sika. [En línea] <https://esp.sika.com/es/construccion/construir/Aditivos-hormigon-mortero/sika-viscocrete-20he.html>.

34. **Sika.** Sika. [En línea] <https://esp.sika.com/es/industria/energias-renovables/energias-eolicas/torre-hormigon/proteccion-de-superficialhormigon/sikagard-705-1.html>.

35. **PINTURAS UREÑA.** PINTURAS UREÑA. [En línea] <https://www.pinturasurena.com/wp-content/uploads/2022/03/Ficha-te%CC%81cnica-IMPERMEABILIZANTE-TERRAZAS.pdf>.

36. *Sika.* **Sika.**

ANEXOS

5.1. Anexo 1. Sikaflex 111 Stick and Seal

Sikaflex-111 Stick & Seal es un adhesivo y sellador multiusos monocomponente para uso tanto interior como exterior



BUILDING TRUST

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikaflex®-111 Stick & Seal

ADHESIVO Y SELLADOR FLEXIBLE

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sikaflex®-111 Stick & Seal es un adhesivo y sellador multiuso monocomponente, con amplia adhesión y sellado en la mayoría de los soportes y materiales para la construcción. Para uso tanto interior como exterior.

USOS

Un adhesivo para unir la mayoría de los componentes y materiales de construcción, como:

- Hormigón
- Ladrillo
- Piedra
- Cerámica
- Madera
- Metal
- Vidrio
- Plásticos como PVC, PA, PET y EPS / XPS.

Sellador para juntas verticales y horizontales.

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

- Adhiere bien sobre una amplia variedad de soportes sin pretratamiento superficial
- Adhiere sobre hormigón húmedo
- Compatible con la mayoría de los sustratos, EPS / XPS, envoltente de edificios
- Buena resistencia mecánica y a la intemperie
- Sellador y adhesivo con marcado CE

INFORMACION AMBIENTAL

- De conformidad con LEED v4 EQc 2: Materiales de baja Emisión
- Clasificación de emisiones de VOC GEV-EMICODE EC1 PLUS
- Clasificación de emisiones VOC de materiales de construcción RTS M1
- Clase A+ de acuerdo a la Regulación Francesa de emisiones VOC

CERTIFICADOS / NORMAS

- Marcado CE, Declaración de prestaciones bajo la EN 15651-1 Selladores para juntas no estructurales en elementos de fachada. Clasificación F EXT-INT CC 20HM

INFORMACION DEL PRODUCTO

Base Química	Polímero terminado en silano
Presentación	Cartuchos de 290 ml, 12 cartuchos por caja
Conservación	12 meses a partir de la fecha de fabricación
Condiciones de Almacenamiento	El producto debe almacenarse en envases sellados originales, sin abrir y sin daños, en condiciones secas a temperaturas entre +5 ° C y +25 ° C. Siempre consulte el envase.
Color	Blanco, gris, marrón y negro
Densidad	~1,40 kg/l (ISO 1183-1)

Hoja De Datos Del Producto
 Sikaflex®-111 Stick & Seal
 Noviembre 2022, Versión 07.01
 02051302000000053

1 / 4

INFORMACION TECNICA

Dureza Shore A	~36 (después de 28 días)	(ISO 868)
Resistencia a Tracción	~1,5 N/mm ²	(ISO 37)
Módulo de Tracción secante	~0,65 N/mm ² a 60 % elongación (+23 °C)	(ISO 8339)
Elongación a Ruptura	~250 %	(ISO 37)
Recuperación Elástica	~75 %	(ISO 7389)
Resistencia a la Propagación del Desgarrro	~4,5 N/mm	(ISO 34)
Temperatura de Servicio	-50 °C min. / +80 °C max.	
Diseño de Juntas	El ancho de la junta debe diseñarse para adaptarse a la capacidad de movimiento del sellador. El ancho de la junta debe ser ≥ 6 mm y ≤ 20 mm. Debe mantenerse una relación de ancho a profundidad de 2: 1. Las juntas de ≤ 10 mm de anchura son para el control de grietas y, por lo tanto, para juntas sin movimiento. Para juntas más anchas, contacte con el Departamento Técnico de Sika para obtener información adicional.	

INFORMACION DE APLICACIÓN

Rendimiento	Pegado	
	Rendimiento (1 cartucho de 290 ml)	Dimensión
	~100 puntos	Dímetro = 30 mm Espesor = 4 mm
	~15 m de cordón	Dímetro de la boquilla = 5 mm (~20 ml por metro lineal)
	Sellado	
	Anchura de junta (mm)	Profundidad de la junta (mm)
		Longitud de junta por cartucho (290 ml)
	10	10
	15	12
	20	17
	25	20
	30	25
		2,9
		1,6
		0,9
		0,6
		0,4
Tixotropía	0 mm (20 mm perfil +23 °C)	(ISO 7390)
Temperatura Ambiente	+5 °C min. / +40 °C max.	
Temperatura del Soporte	+5 °C min. / +40 °C max., min. 3 °C por encima del punto de rocío	
Material de Apoyo	Utilice solo fondo de junta a base de espuma de polietileno de célula cerrada	
Índice de Curado	~3 mm/24 h (23 °C / 50 % r.h.)	Sika Corporate Quality Procedure (CQP 049-2)
Tiempo de Formación de Piel	~35 min (23 °C / 50 % r.h.)	(CQP 019-1)

Hoja De Datos Del Producto
Sikaflex®-111 Stick & Seal
Noviembre 2022, Versión 07.01
020513020000000053

NOTAS

Todos los datos técnicos indicados en estas Hojas de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

DOCUMENTOS ADICIONALES

- Tabla de pretratamientos de sellado y pegado

LIMITACIONES

- Para una buena trabajabilidad, la temperatura del adhesivo debe ser de +20 ° C.
- No se recomienda la aplicación durante grandes cambios de temperatura (movimiento durante el curado).
- Antes de pegar, compruebe la adherencia y la compatibilidad de pinturas y revestimientos llevando a cabo ensayos preliminares.
- Sikaflex®-111 Stick & Seal se puede pintar con la mayoría de los sistemas convencionales de pintura y pinturas a base de agua. Sin embargo, las pinturas deben ensayarse primero para garantizar la compatibilidad mediante la realización de pruebas preliminares. Los mejores resultados en aplicaciones con pintura se obtienen cuando el adhesivo se deja curar por completo primero. Nota: los sistemas de pintura no flexibles pueden perjudicar la elasticidad del adhesivo y provocar el agrietamiento de la película de pintura.
- Las variaciones de color pueden ocurrir debido a la exposición de productos químicos, altas temperaturas y / o radiación UV (especialmente con tonalidades de color blanco). Este efecto es estético y no influye negativamente en la resistencia o la durabilidad del producto.
- Utilice siempre Sikaflex®-111 Stick & Seal junto con fijaciones mecánicas para aplicaciones aéreas o componentes pesados.
- Para componentes muy pesados, brinde soporte temporal hasta que el Sikaflex®-111 Stick & Seal se haya curado por completo.
- No se recomiendan las aplicaciones / pegado de superficie continua ya que la parte interna de la capa adhesiva puede no curarse nunca.
- Antes de usarlo en piedra natural, contacte con Departamento Técnico de Sika.
- No usar sobre caucho natural o cualquier material que tengan migración de plastificantes o disolventes que puedan atacar al sellador
- Para usar sobre soportes bituminosos, se requiere realizar ensayos previos o contactar con el Departamento Técnico de Sika
- No usar sobre polietileno (PE), polipropileno (PP), politetrafluoroetileno (PTFE / teflon) y otros plásticos. Se recomiendan ensayos previos o contactar con el Departamento Técnico de Sika.
- No lo use para sellar juntas en y alrededor de las piscinas.
- No lo use para juntas bajo presión de agua o para inmersión permanente en agua.

- No lo use para sellar vidrio en juntas de pavimentos o sanitarias.
- No lo use para unir vidrio si la línea de unión está expuesta a la luz solar.
- No lo use para pegado / uniones estructurales.
- No exponga el Sikaflex®-111 Stick & Seal sin curar a productos que contengan alcohol ya que esto puede interferir con la reacción de curado.

ECOLOGIA, SEGURIDAD E HIGIENE

Para obtener información y asesoramiento sobre la manipulación, el almacenamiento y la eliminación segura de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS) que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otras cuestiones relacionados con la seguridad.

INSTRUCCIONES DE APLICACION

PREPARACION DEL SOPORTE

El soporte debe estar sano, limpio, seco y libre de contaminantes como suciedad, aceite, grasa, lechada de cemento, selladores viejos y revestimientos de pintura pobremente adheridos que puedan afectar la adhesión. El sustrato debe tener la resistencia suficiente para soportar las tensiones inducidas por el sellador durante el movimiento.

Para ello, se podrán usar distintos métodos: cepillo de alambre, lijado o mediante el uso de herramientas adecuadas

Todo el polvo, material suelto debe ser eliminado por completo de todas las superficies antes de la aplicación de cualquier activador, imprimador o adhesivo / sellador.

Sikaflex®-111 Stick & Seal adhiere sin imprimaciones y / o activadores. Sin embargo, para una adhesión óptima, y para aplicaciones críticas de alto rendimiento, se deben seguir los siguientes procedimientos de imprimación y pretratamiento:

Soportes no porosos

Aluminio, aluminio anodizado, acero inoxidable, PVC, acero galvanizado, metales con recubrimiento en polvo o baldosas esmaltadas, consiga una superficie ligeramente áspera con una lija abrasiva fina. Limpie y pretrate usando Sika® Aktivator-205 aplicado con un paño limpio. Antes de unir / sellar, permita un tiempo de espera de > 15 minutos (<6 horas).

Otros metales como cobre, latón y titanio-zinc, limpie y pretrate usando Sika® Aktivator-205 aplicado con un paño limpio. Después de una espera de tiempo de > 15 minutos (<6 horas). Aplicar Sika® Primer-3 N mediante brocha. Permita un tiempo de espera adicional de > 30 minutos (<8 horas) antes de unir / sellar.

Soportes porosos

Hormigón, hormigón celular y revoques, morteros y ladrillos a base de cemento, imprimir con Sika® Primer-3 N aplicado con brocha. Antes de unir / sellar, permita un tiempo de espera de > 30 minutos (<8 horas). Para obtener más consejos e instrucciones, póngase en contacto con el Departamento Técnico de Sika.

Hoja De Datos Del Producto
Sikaflex®-111 Stick & Seal
Noviembre 2022, Versión 07.01
02051302000000053

Nota: Los imprimadores son promotores de adhesión y no una alternativa para mejorar la preparación o limpieza deficiente de las juntas. Los imprimadores también mejoran el rendimiento de la adherencia a largo plazo de la junta.

METODO DE APLICACIÓN / HERRAMIENTAS

Procedimiento de pegado

Después de la preparación necesaria del soporte, prepare el extremo del cartucho antes o después de insertarlo en la pistola selladora y luego coloque la boquilla.

Aplicar en puntos, o cordones a intervalos de unos pocos centímetros cada uno. Use la presión de la mano solo para fijar los componentes que se unirán en su posición antes de que comience a formar piel el adhesivo. Los componentes colocados incorrectamente pueden unirse fácilmente y reposicionarse durante los primeros minutos después de la aplicación. Si es necesario, utilice cintas adhesivas, cuñas o soportes temporales para mantener unidos los componentes montados durante el tiempo de curado inicial.

El adhesivo fresco no curado que queda en la superficie debe eliminarse inmediatamente. La resistencia final se alcanzará después del curado completo de Sikaflex®-111 Stick & Seal, es decir, después de 24 a 48 horas a +23 ° C, dependiendo de las condiciones ambientales y del espesor de la capa adhesiva.

Procedimiento de sellado Encintado

Se recomienda el uso de cinta de carroceros cuando se requieran líneas conjuntas limpias o exactas. Retire la cinta dentro del tiempo de formación de piel después de terminar.

Fondo de Junta

Después de la preparación del soporte requerida, inserte el fondo de junta adecuado a la profundidad requerida.

Imprimación

Imprimir las superficies de las juntas como se recomienda en la preparación del soporte. Evite la aplicación excesiva de imprimación para evitar causar charcos en la base de la junta.

Aplicación

Prepare el extremo del cartucho antes o después de insertarlo en la pistola de sellado y luego coloque la boquilla. Extruya Sikaflex®-111 Stick & Seal en la junta, asegurándose de que entre en pleno contacto con los lados de la junta y evite cualquier oclusión de aire.

Acabado

Tan pronto como sea posible después de la aplicación, el sellador debe estar firmemente aplicado contra los lados de la junta para asegurar una adhesión adecuada y un acabado liso.

da y un acabado liso.

Utilice un agente de herramientas compatible (por ejemplo, Sika® Tooling Agent N) para alisar la superficie de la junta. No use productos de herramientas que contengan solventes.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpie todas las herramientas y el equipo de aplicación inmediatamente después del uso con Sika® Cleaning Wipes-100. Una vez curado, el material endurecido solo puede eliminarse mecánicamente.

Para limpiar la piel, use Sika® Cleaning Wipes-100.

RESTRICCIONES LOCALES

Tenga en cuenta que como resultado de las regulaciones locales específicas, el funcionamiento del producto puede variar de un país a otro. Por favor, consulte la Hoja de Datos de Producto local para la descripción exacta de los campos de aplicación.

NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario debe ensayar la conveniencia de los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarán a quien las solicite.

OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Carretera de Fuencarral, 72
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO

C/ Aragoneses, 17
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Hoja De Datos Del Producto
Sikaflex®-111 Stick & Seal
Noviembre 2022, Versión 07.01
02051302000000053

4 / 4

Sikaflex-111StickSeal-es-E5-(11-2022)-7-1.pdf

BUILDING TRUST



5.2. Anexo 2. Sikagard-62

Este producto es un revestimiento protector a base de resinas epoxi bicomponente



BUILDING TRUST

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikagard®-62

REVESTIMIENTO PROTECTOR A BASE DE RESINAS EPOXI BICOMPONENTE

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sikagard®-62 es una pintura para revestimientos protectores a base de resinas epoxi, bicomponente, 100% sólidos, rígido con colores de alta resistencia.

USOS

Sikagard®-62 may only be used by experienced professionals.

- Capa de protección resistente a productos químicos en hormigón, piedra, morteros, cemento epoxi, productos a base de resinas epoxi y acero
- Forro en tanques de almacenamiento y silos
- Revestimiento anti-corrosión en el acero en las plantas de procesamiento de alimentos, plantas de aguas residuales, granjas, empresas agrícolas, químicas y farmacéuticas y las instalaciones de la industria de bebidas

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

- Libre de disolventes
- Buena resistencia mecánica y química
- Impermeable a líquidos
- Fácil de mezclar y de aplicar

INFORMACION AMBIENTAL

De conformidad con LEED v2009 IEQc 4.2: Materiales de Bajas Emisiones - Pinturas y Recubrimientos

CERTIFICADOS / NORMAS

- Revestimiento para protección de hormigón de acuerdo con los requisitos de EN 1504-2:2004, Declaración de prestaciones 0206060100100000011008, certificado por FPC según el cuerpo notificador y provisto con el mercado CE
- WRAS, ensayo No. M104991, 2011, en conctanco con el agua para propósitos saludables de acuerdo con BS 6920 - 1:2000

INFORMACION DEL PRODUCTO

Base Química	Resina epoxi	
Presentación	Parte A	Bidón de 3.75 kg
	Parte B	Bidón de 1.25 kg
Apariencia / Color	Blanco, rojo óxido RAL 3009, azul RAL 5012, verde pálido RAL 6021 y gris plata RAL 7001.	
	(Los colores son aproximados)	
Conservación	Parte A: 12 meses Parte B: 12 meses Desde la fecha de fabricación si es almacenado apropiadamente.	
Condiciones de Almacenamiento	Deben estar apropiadamente almacenados en sus envases de origen cerrados y no deteriorados, en condiciones secas a temperaturas comprendidas entre +5 °C y +30 °C. Proteger de la luz solar.	

Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-62
Septiembre 2019, Versión 04.04
020606010010000001

1 / 4

Densidad	Parte A	~1.45 kg/l	(EN ISO 2811-1)
	Parte B	~1.02 kg/l	
Resina mezclada ~1.37 g/l			
Valores de densidad determinados a +23 °C			

Contenido en Sólidos ~ 100 %.

INFORMACION TECNICA

Dureza Shore D	~80			
Resistencia mecánica	Abrasión Taber	CS 10/ 1000/ 1000	24.4 mg	(ASTM D 4060)
	Abrasión Taber	CS 17/ 1000/ 1000	70 mg	
	Abrasión Taber	H 22/ 1000/ 1000	560.6 mg	
Adherencia bajo tracción	> 1.5 N/mm ² al hormigón			(ISO 4624)
Resistencia Química	Por favor contactar con el Departamento Técnico de Sika para información más específica.			
Resistencia Térmica	Exposición	Calor seco		
	Permanente	+50 °C		
	Máx. 7 días	+80 °C		
	Máx. 12 horas	+100 °C		

INFORMACION DE APLICACIÓN

Proporción de la Mezcla	Parte A : Parte B = 3 : 1 en peso			
Consumo	~0.30 kg/m ² por capa			
Espesor de Capa	~0.2 mm por capa			
Temperatura Ambiente	+8 °C mín. / +40 °C máx.			
Humedad Relativa del Aire	< 80 %			
Punto de Rocío	La temperatura deber ser superior en 3°C al «punto de rocío».			
Temperatura del Soporte	+8 °C mín. / +40 °C máx. Mínimo 3 °C por encima del punto de rocío, tenga cuidado con la condensación.			
Vida de la mezcla	Temperatura	Tiempo		
	+10 °C	~30 min		
	+20 °C	~20 min		
	+30 °C	~10 min		
Tiempo de Espera / Repintabilidad	Temperatura	Mín.	Máx.	Curado completo
	+10 °C	~ 30 horas	~ 3 días	~ 14 días
	+20 °C	~ 10 horas	~ 2 días	~ 10 días
	+30 °C	~ 6 horas	~ 1 día	~ 5 días

INSTRUCCIONES DE APLICACION

Antes de mezclar parte A agitarlo mecánicamente. Cuando todo de la parte B se ha añadido a la parte A de la mezcla, remover continuamente durante 3 minutos hasta que se haya alcanzado una mezcla uniforme. Utilice un agitador eléctrico de baja velocidad (300-400 rpm) para evitar el atrapamiento de aire. Pa-

ra asegurar una mezcla adecuada verter el material en un recipiente limpio y mezclar de nuevo. Aplicar con brocha, rodillo o pistola sin aire.

CALIDAD DEL SOPORTE

El soporte deberá estar sano, limpio, seco y libre de todos los contaminantes tales como mugra, aceite, grasa, lechada cementosa, revestimientos u otros trata-

Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-62
Septiembre 2019, Versión 04.04
020606010010000001

mientos superficiales.

En soportes altamente absorbentes, no sanos, contaminados, sin base cementosa, se deben tomar precauciones y se debe utilizar una imprimación adecuada.

PREPARACION DEL SOPORTE

Soporte de hormigón

Los soportes de hormigón deben prepararse mecánicamente para lograr una superficie texturada.

Deben eliminarse las áreas débiles del soporte y ser completamente visibles los defectos superficiales, tales como los orificios de ventilación y los huecos.

Todo el polvo, material suelto y quebradizo debe estar completamente retirado de todas las superficies antes de la aplicación del producto, preferiblemente con brocha y/o aspiradora.

Los huecos abiertos y los orificios de ventilación deben cerrarse con un mortero Sika® adecuado para el relleno de poros. La rugosidad del soporte debe nivelarse con un mortero de enfoscado y nivelación Sika® adecuado.

Soporte metálico

Las superficies metálicas deben prepararse mecánicamente mediante limpieza por chorro de arena. Debe alcanzarse el nivel SSPC-SP 10 o el nivel Sa 2 ½ según ISO EN 12944-4. Las soldaduras y uniones deben prepararse de acuerdo con la norma EN 14879, parte 1. Después de la limpieza con chorro de arena, elimine toda la suciedad y el material de chorreado. Para mantener las condiciones de la superficie después de la limpieza se recomienda el aire acondicionado.

MEZCLADO

Antes de mezclar, agitar mecánicamente la parte A. Cuando toda la parte B ha sido añadida a la parte A, mezcle continuamente durante 3 minutos hasta que se haya logrado una mezcla uniforme. Utilice una batidora eléctrica de baja velocidad (300-400 rpm) para evitar la acumulación de aire. Para asegurar una mezcla adecuada, vierta el material en un recipiente limpio y revuelva de nuevo.

APLICACIÓN

Aplicar con brocha, rodillo o mediante proyección con airless.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpiar todas las herramientas inmediatamente con Diluyente C después de su uso. El material endurecido y/o curado solo se podrá eliminar mecánicamente.

LIMITACIONES

- No aplicar Sikagard®-62 sobre soportes húmedos
- La resistencia al descuelgue en superficie vertical es de aproximadamente 200 µm.
- Sikagard®-62 recién aplicado debe protegerse de la humedad, la condensación y el agua durante al menos 24 horas.
- Para obtener una concordancia de color exacta, asegúrese de utilizar material de los mismos números de lote de control.

NOTAS

Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Tenga en cuenta que como consecuencia de las regulaciones específicas locales el funcionamiento de este producto puede variar de un país a otro.

Consulte la Hoja de Datos Local para su descripción exacta de los campos de aplicación.

ECOLOGIA, SEGURIDAD E HIGIENE

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

DIRECTIVA 2004/42/CE - LIMITACIÓN DE LAS EMISIONES DE VOC

De acuerdo con la Directiva de la UE 2004/42, el contenido máximo permitido de VOC (Categoría del producto IIA / j tipo sb) es de 550/500 g / l (Límites 2007/2010) para el producto listo para usar. El contenido máximo de Sikagard®-62 es <500 g / l de VOC para el producto listo para usar.

NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo con el uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".

Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-62
Septiembre 2019, Versión 04.04
020606010010000001

OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Carretera de Fuencarral, 72
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO

C/ Aragoneses, 17
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-62
Septiembre 2019, Versión 04.04
020606010010000001

Sikagard-62-es-ES-(09-2019)-4-4.pdf



5.3. Anexo 3. SikaViscoCrete-20 HE



BUILDING TRUST

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-20 HE

SUPERPLASTIFICANTE DE ALTO RENDIMIENTO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-20 HE es un superplastificante de tercera generación para hormigones y morteros.

USOS

Sika® ViscoCrete®-20 HE es especialmente adecuado para la confección de hormigones de altas resistencias iniciales, hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de muy alta fluidez.

Sika® ViscoCrete®-20 HE se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Hormigón prefabricado.
- Hormigón con altas resistencias iniciales.
- Hormigón realizado in situ con un rápido desmoldeo o desencofrado.
- Hormigón autocompactable (H.A.C.).

CARACTERISTICAS / VENTAJAS

El Sika® ViscoCrete®-20 HE es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación. Debido a la adsorción superficial y el efecto esteárico, que separan las partículas ligantes del cemento, se consiguen las siguientes propiedades:

- Produce un rápido desarrollo de las resistencias iniciales, resultando muy económico dado que reduce el tiempo de encofrado y desmoldeo tanto en prefabricados como en hormigón in situ.

- Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y reducida permeabilidad al agua, etc.
- Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación.
- Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor.
- Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactable.
- Disminuye la retracción.
- Reduce los tiempos de reparación de carreteras y pistas de rodadura.

Sika® ViscoCrete®-20 HE no contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.

CERTIFICADOS / NORMAS

Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN-934-2 tablas 3.1 y 3.2: Reductor de agua y superplastificante y de la norma: SIA 262 (2003).

INFORMACION DEL PRODUCTO

Base Química	Policarboxilato modificado en base acuosa
Presentación	Contenedores de m ³ y bajo pedido puede suministrarse a granel.
Apariencia / Color	Líquido marrón, ligeramente transparente.
Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación.

Hoja De Datos Del Producto
 Sika® ViscoCrete®-20 HE
 Marzo 2019, Versión 01.01
 021301011000000037

1 / 3

Condiciones de Almacenamiento	En sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre + 5°C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
Densidad	1,09 kg/l (+20°C)
pH	4,5 +/- 1,0
Viscosidad	Ca. 145 mPas a +23°C
Contenido Total de Ión Cloruro	≤ 0,1 M.-% (EN 934-2)
Oxido de Sodio Equivalente	≤ 2,0 %

INFORMACION TECNICA

Guía de Hormigonado	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a diseño de las mezclas, producción, colocación y curado. Se realizaran ensayos previos antes de la fabricación en serie; especialmente cuando haya cambios en materias primas, dosificaciones, etc. El hormigón fresco debe curar adecuadamente.
----------------------------	--

INFORMACION DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	Para media trabajabilidad: 0.2-0.8% del peso del cemento. Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1.0-2.0 % del peso del cemento.
Compatibilidad	Sika® ViscoCrete®-20 HE se combina con los diferentes productos Sika. Importante: Antes de combinar diferentes productos, se recomienda realizar ensayos previos y/o ponerse en contacto con el Departamento Técnico.

DOSIFICACIÓN

Sika® ViscoCrete®-20 HE se añadirá al agua de amasado o directamente a la amasadora al mismo tiempo que el agua.

Para aprovechar las ventajas de la alta reducción de agua, se recomienda batir la mezcla durante al menos 60 sg.

Para evitar el exceso de agua en el hormigón, la dosis final debe añadirse después de humedecer las 2/3 de la mezcla.

LIMITACIONES

- Para la realización de hormigones autocompactables con Sika® Viscocrete®-20 HE se deben hacer diseños del hormigón específicos, con las materias primas locales.
- Sika® ViscoCrete®-20 HE no debe añadirse directamente a la mezcla seca.
- Un exceso de agua o de aditivo puede producir exudación o sangrado.
- *Heladas:* Si Sika® ViscoCrete®-20 HE se helase, puede utilizarse después de deshelarse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.

NOTAS

Todos los datos técnicos indicados en estas Hojas de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Tenga en cuenta que como consecuencia de las regulaciones específicas locales el funcionamiento de este producto puede variar de un país a otro.
Consulte la Hoja de Datos Local para su descripción exacta de los campos de aplicación.

ECOLOGIA, SEGURIDAD E HIGIENE

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier

Hoja De Datos Del Producto
Sika® ViscoCrete®-20 HE
Marzo 2019, Versión 01.01
021301011000000037

relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo con el uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".

OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Carretera de Fuencarral, 72
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Hoja De Datos Del Producto
Sika® ViscoCrete®-20 HE
Marzo 2019, Versión 01.01
02130101100000037

3 / 3**OFICINAS CENTRALES Y CENTRO LOGÍSTICO**

C/ Aragoneses, 17
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

SikaViscoCrete-20HE-es-ES-(03-2019)-1-1.pdf

BUILDING TRUST

5.4. Anexo 4. Sikagard-705L

Sikagard-705 L es una impregnación hidrófuga e inhibidor de la corrosión para hormigón armado a base de silanos con un 99% de principio activo, monocomponente de baja viscosidad ideal para soportes de hormigón y cementosos.



BUILDING TRUST

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

Sikagard®-705 L

IMPREGNACIÓN HIDRÓFUGA E INHIBIDOR DE CORROSIÓN PARA HORMIGÓN ARMADO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikagard®-705 L es un inhibidor de corrosión a base de silanos con un 99% de principio activo, monocomponente de baja viscosidad, sin disolventes, adecuado para soportes de hormigón y cementosos. Sikagard®-705 L cumple con los más altos requerimientos de la norma EN 1504-2 para impregnaciones hidrófugas (clase de profundidad de penetración II, resistencia a hielo-deshielo, y la presencia de sales).

USOS

Sikagard®-705 L se utiliza como inhibidor de corrosión pasivo repelente al agua (con características hidrofóbicas) para hormigones absorbentes y sin contacto permanente con el agua, en estructuras de ingeniería civil o edificación sometidos a una fuerte exposición a ciclos de hielo/deshielo, carbonatación, sales de deshielo o ataque de cloruros en ambiente marino:

- Adecuado para la protección contra la penetración (Principio 1, método 1.1 de la norma EN 1504-9)
- Adecuado para el control de la humedad (Principio 2, método 2.1 de la norma EN 1504-9)
- Adecuado para aumentar la resistividad (Principio 8, método 8.1 de la norma EN 1504-9)

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Rápida absorción incluso en hormigón
- Reduce la absorción de agua capilar al proporcionar una protección contra la lluvia y las salpicaduras
- Reducción de la absorción de agentes agresivos o nocivos disueltos en el agua (por ejemplo, sales de deshielo o cloruros del medio marino)
- Sin cambios en la permeabilidad al vapor de agua
- Eficiencia a largo plazo gracias a la capacidad de penetración. Fácil de usar

- Aumenta la resistencia del hormigón a los ciclos de hielo-deshielo
- Reduce la aparición o avance de la corrosión incluso en hormigón fisurado
- Retardan el inicio del proceso de corrosión al reducir la humedad disponible en la posición de las armaduras
- Mitiga la corrosión evitando el acceso a las armaduras de los cloruros
- Cumple con las directrices holandesas (RWS NEN-EN 1504-2) sobre CEM III
- Resistente al agua de mar
- Bajo contenido de VOC
- Listo para usar

CERTIFICADOS / NORMAS

- Cumple con los requerimientos de LPM: Suitability test to SIA 162/5, Report No. 1-21'699-6
- Cumple con los requerimientos de "Bro 2002" Swedish National Road Administration (SNRA) publication No. VV2002:47 Report ref: F507580 B rev
- Evaluation of Conformity According to the Dutch RWS Directive (11-01-2011) and the European Standard EN 1504-2 – Sika MPL; Test Report No. 1203052 dated 09.04.2012
- Conforms to the requirements of the EN 1504-2 class II – Polymer Institute report P 5634-E dated 5th April 2007
- Active content - Polymer Institute Ref P5634-E dated 27th June 2008
- Prevention of chloride ingress - NT Build 515, CBI Sweden, date February 2017
- Department of Transportation of the State of California, Evaluation of silane penetrating sealer - NPE #14-09-005
- Hydrophobic impregnation according to EN 1504-2, DoP 02 03 03 01 001 0 000004 1105; certified by Factory Production Control Body: 0921; certificate 0921-CPD-2050 and provided with the CE-mark
- Report on corrosion testing - P 859/11-440-1, dated July 2011, ZAG, Slovenia

Hoja De Datos Del Producto
 Sikagard®-705 L
 Marzo 2022, Versión 04.01
 020303010010000004

1 / 4

INFORMACION DEL PRODUCTO

Base Química	Silanos (ingrediente activo al 99 %)	
Presentación	Botes de 18 kg y bidones de 180 kg	
Conservación	24 meses a partir de la fecha de producción si se almacena en su embalaje original sin abrir, sin daños y sellado.	
Condiciones de Almacenamiento	Almacenar en lugar seco y fresco. Protéjalo de la humedad.	
Apariencia / Color	Líquido de apariencia similar al agua, incoloro.	
Densidad	~ 0,900 kg/l (a +25 °C)	
Viscosidad	~9 mm ² /s (a 25 °C)	
Conenido de compuestos orgánicos volátiles (COV)	~327 g/l	(ASTM D 3960)

INFORMACION TECNICA

Profundidad de Penetración	>10 mm	Clase II	(EN 1504-2)
Absorción Capilar	Cumple		(EN 13580)
Coefficiente de la tasa de secado	Clase I: > 30 %		(EN 13579)
Permeabilidad al Vapor de Agua	40 × 10 ³ s/m (Requisito de la BRO 2002: < 200 × 10 ³ s/m)		(EN ISO 12 572)
Resistencia a Difusión del Ión Cloruro	Control (CEM II/A-LL 42.5 N; W/C = 0.53)	13.1 × 10 ⁻¹² m ² /s	(SIA 262/1)
	Tratado con Sikagard®-705 L	1.2 × 10 ⁻¹² m ² /s	
	Control (CEM III/B 42.5 N; W/C = 0.45)	0.9 × 10 ⁻¹² m ² /s	
	Tratado con Sikagard®-705 L	0.6 × 10 ⁻¹² m ² /s	
Resistencia a la Alcalinidad	Cumple		(EN 13580)
Resistencia a las Sales de Hielo - Deshielo	Cumple		(EN 13581)

INFORMACION DEL SISTEMA

Estructura del Sistema	2-3 capas, ya sea por separado o combinadas con un inhibidor de corrosión aplicado en la superficie y/o una capa protectora.
-------------------------------	--

INFORMACION DE APLICACIÓN

Consumo	Dependiendo de la absorción del soporte y de la profundidad de penetración requerida: ~ 150 g/m ² por capa.
Temperatura Ambiente	+5 °C min. / +35 °C max.
Punto de Rocío	3 °C sobre el punto de rocío
Temperatura del Soporte	+5 °C min. / +40 °C max.
Humedad del Soporte	< 5-6 % medido con Tramex
Tiempo de Espera / Repintabilidad	Puede ser recubierto con pintura polimérica a base de agua y disolvente - póngase en contacto con el fabricante de pintura propuesto para obtener asistencia al respecto. Sikagard®-705 L puede ser usado como imprimación repelente al agua bajo

Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-705 L
Marzo 2022, Versión 04.01
020303010010000004



muchos de los recubrimientos protectores Sikagard®. De este modo se evita la penetración de agua en los posibles puntos débiles o en caso de daños en la capa final y se reduce el riesgo de daños como el delaminado de la pintura.

Tiempo de espera: Mínimo 5 horas, máximo 1 semana.

NOTAS

Todos los datos técnicos indicados en estas Hojas de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

LIMITACIONES

- Los mejores resultados se obtienen cuando se aplica Sikagard®-705 L en hormigón de 28 días de antigüedad - sin embargo, debido a su alta resistencia alcalina es posible aplicarlo a una edad temprana. En los prefabricados de hormigón, la aplicación puede realizarse a partir de las 24 horas después de la producción (la profundidad de penetración puede ser reducida).
- Se aconseja realizar una prueba de aplicación preliminar para determinar el consumo a utilizar para alcanzar la profundidad de penetración deseada.
- Como guía, para estructuras marinas (por ejemplo, embarcaderos, puertos, etc.), para la mitigación de la corrosión, para la mitigación de ASR, se recomienda alcanzar una profundidad de penetración de al menos 5 mm.
- Proteja las zonas en las que no quiera aplicar el producto, tales como elementos de edificación para evitar la contaminación de éstas.
- Sikagard®-705 L puede dañar algunos recubrimientos y productos bituminosos.
- Especialmente si se aplica sobre hormigón húmedo, Sikagard®-705 L puede llevar al oscurecimiento del hormigón, por lo que realice primero una prueba en una zona.
- No se puede recubrir con pintura de cal o cemento.
- Consulte la última versión del método de ejecución para obtener información detallada sobre la preparación de la superficie, el ensayo preliminar, el método de aplicación, etc.

ECOLOGIA, SEGURIDAD E HIGIENE

Para obtener información y asesoramiento sobre la manipulación, el almacenamiento y la eliminación segura de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Ficha de Datos de Seguridad (FDS) que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otras cuestiones relacionados con la seguridad.

INSTRUCCIONES DE APLICACION

CALIDAD DEL SOPORTE PRE-TRATAMIENTO

Libre de polvo, suciedad, aceite, eflorescencias y recubrimientos de pintura existentes, depósitos de sal o cualquier otro contaminante que pueda afectar la pe-

netración del producto químico.

Las fisuras en hormigón de abertura inferior a 300 µm pueden ser tratadas con el tratamiento hidrofóbico con el consumo normal.

Si las aberturas de fisura son mayores de 300 µm pero menores a 750 µm, pueden ser tratadas con el tratamiento hidrofóbico, pero se aplicará un aumento de consumo para lograr una profundidad de penetración específica de acuerdo con los tamaños de abertura - consulte el método de ejecución para obtener más detalles.

Las fisuras de más de 750 µm de ancho deben ser reparadas antes del tratamiento hidrofóbico.

La mejor manera de limpiar es mediante limpiadores adecuados, chorro de agua o con una ligera limpieza mediante chorro de arena o vapor.

Los mejores resultados se obtienen sobre soportes secos y muy absorbentes. El soporte debe lucir seco y sin manchas de humedad (humedad superficial inferior al 5-6% con el método Tramex).

MEZCLADO

Sikagard®-705 L se suministra listo para su uso y no debe diluirse.

APLICACIÓN

Sikagard®-705 L se aplica mediante un rociador o pulverizador de baja presión, brocha o rodillo, en una sola pasada de abajo hacia arriba, teniendo cuidado de no dejar correr el producto. Aplique las siguientes capas, ya sea "húmedo sobre húmedo" o cuando la superficie esté completamente seca. En aplicaciones horizontales, evite que se acumule en la superficie.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpie todas las herramientas y el equipo de aplicación con Colma Cleaner inmediatamente después de su uso. El material endurecido / curado sólo puede ser eliminado mecánicamente.

RESTRICCIONES LOCALES

Tenga en cuenta que como resultado de las regulaciones locales específicas, el funcionamiento del producto puede variar de un país a otro. Por favor, consulte la Hoja de Datos de Producto local para la descripción exacta de los campos de aplicación.

NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de

Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-705 L
Marzo 2022, Versión 04.01
020303010010000004

acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario debe ensayar la conveniencia de los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite.

OFICINAS CENTRALES Y FABRICA

Carretera de Fuencarral, 72
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

OFICINAS CENTRALES Y CENTRO

LOGÍSTICO
C/ Aragoneses, 17
P. I. Alcobendas
Madrid 28108 - Alcobendas
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Hoja De Datos Del Producto
Sikagard®-705 L
Marzo 2022, Versión 04.01
020303010010000004

4 / 4

Sikagard-705L-es-ES-(03-2022)-4-1.pdf

BUILDING TRUST

5.5. Anexo 5. Impermeabilización marca Ureña

FICHA TÉCNICA**IMPERMEABILIZANTE TERRAZAS****Impermeabilizantes**

Agosto 2019 Revisión: 01

Impermeabilizante antigoteras elástico, cuyo principal componente es un polímero acrílico fotoreticulable por UV en emulsión.

PROPIEDADES:

- Alta opacidad
- Resistencia a la abrasión y a los agentes atmosféricos
- Excelente adherencia sobre todos los soportes porosos utilizados en construcción.
- Evita las filtraciones de agua en superficies horizontales y verticales (terrazas, tejados, medianeras, etc.)
- Transitible.
- Gran elasticidad
- Impermeable al agua y al vapor de agua.
- Garantía de 10 años
- Cumple con la norma UNE EN 1504-2: 2005, utilizado para la protección superficial del hormigón, para los usos: aumento de la resistividad por limitación del contenido de la humedad, control de la humedad y protección contra la penetración. Sometido a los ensayos iniciales tipo, conforme a los requisitos descritos en el anexo de la norma armonizada UNE EN 1504-2:2005.

UTILIZACIÓN:

Producto destinado para impermeabilizar en exteriores. Evita las filtraciones de agua en superficies horizontales y verticales (terrazas, tejados, medianeras, etc.)

DATOS TÉCNICOS:

Aspecto	Mate
Color	Blanco, Rojo, Verde, Gris
Adherencia	Excelente
Diluyente	Agua
Densidad	1,32 ±0,05 kg/L
Permeabilidad al agua líquida	W < 0,1 Kg/m ² · h ^{0,5} Alta impermeabilidad Según norma UNE-EN 1062-3:2008
Permeabilidad al vapor de agua	Clase 1 (S _D < 5m) permeable al vapor de agua según norma UNE-EN 7783:2009
Permeabilidad al dióxido de carbono	S _D > 50m Según UNE 1062-6:2003
Rendimiento	2,5 Kg /m ²
Tiempo de Secado	- Al tacto: 4 horas - Repintado: 8 horas - Total: 20 días (dependiendo de temperatura ambiente)

La información de esta ficha, esta basada en los conocimientos actuales y en las leyes vigentes en la UE y nacionales, en cuanto que las condiciones de trabajo de los usuarios están fuera de nuestro conocimiento y control. El producto no debe utilizarse para fines distintos a aquellos que se especifican. Siempre es responsabilidad del usuario tomar las medidas oportunas con el fin de cumplir con las exigencias establecidas en las legislaciones.

PINTURAS UREÑA S.L. P.I. "El Moli" c/ Mig día, 17 46841 Castello de Rugat Valencia

Tel: 962813605 Fax: 962883016

www.pinturasurena.com / Info@pinturasurena.com

**APLICACIÓN:**

Agitar el producto hasta su perfecta homogeneización.

Las superficies a pintar deben estar limpias, secas y exentas de polvo, grasas, salitre, etc. Se recomienda el uso de FIJADOR antes de su aplicación. Aplicar una primera mano diluida con agua al 5-10% aproximadamente y la segunda mano sin diluir. Utilizar para diluir agua limpia.

No aplicar a temperaturas inferiores a 5 °C, ni superiores a 35°C, ni en exteriores cuando se prevé lluvia, ni con humedad relativa superior al 80%. No almacenar más de 12 meses. Si el producto no va a ser utilizado, para su mejor conservación evitar añadirle agua. Es conveniente no lavar las superficies hasta pasados 28 días de su aplicación.

Herramientas: Brocha, rodillo o pistola

PREPARACION DEL SOPORTE**SOPORTES NUEVOS O SIN PINTAR:**

En superficies de yeso o escayola aplicar cuando estén totalmente secas.

En superficies de hormigón y cemento no aplicar hasta el total fraguado.

En superficies excesivamente pulidas, lijar para abrir el poro, limpiar bien el soporte, si este tiene desperfectos masillar.

Aplicar una mano de FIJADOR ACRILICO, facilitando la posterior aplicación de pintura.

SOPORTES VIEJOS O EN MAL ESTADO

En soportes pintados, si están en buen estado, lijar y proceder como nueva.

Si el soporte se encuentra en mal estado, eliminar y rascar las partes mal adheridas, masillar y lijar.

Si existen manchas de moho y algas, limpiar y desinfectar frotando enérgicamente con un cepillo utilizando lejía doméstica.

Aplicar una mano de FIJADOR ACRILICO.

SEGURIDAD E HIGIENE

Resguardar los envases de las heladas, de la exposición directa al sol y de temperaturas muy altas.

No comer, beber ni fumar durante su aplicación.

En caso de contacto con los ojos lavar con abundante agua limpia. Apto para uso doméstico.

No apto para uso infantil. Manténgase fuera del alcance de los niños.

Aplicar en ambientes bien ventilados. Si se aplica a pistola usar mascarilla. No morder la superficie pintada.

PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE

Tomar todas las medidas necesarias para evitar al máximo la producción de residuos.

No verter los residuos al desagüe o de cualquier otra forma que dañe el medio ambiente. Buscar posibles métodos de revaloración o reciclado. Los residuos deben manipularse y eliminarse de acuerdo con las legislaciones vigentes.

Los envases vacíos y embalajes deben eliminarse según la legislación vigente.

