

DIAGNOSTICO Y REPARACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO EXPUESTA A AMBIENTE MARINO

Dra. Marcela Vazquez
División Corrosión, INTEMA
Mar del Plata, Argentina

Resumen

Este trabajo presenta los resultados de estudios efectuados en diversas estructuras de hormigón armado y pretensado afectadas por problemas de corrosión. Los casos analizados contemplan por un lado, problemas de corrosión iniciada por cloruros comúnmente observados en estructuras civiles y viales ubicadas próximas al litoral marítimo, y por otro, casos de corrosión originados por carbonatación observados en estructuras viales expuestas a ambiente rural o urbano.

A modo de ejemplo, se presenta la metodología de diagnóstico empleada para evaluar el estado de deterioro existente en una estructura de hormigón armado con más de veinticinco años de antigüedad ubicada en el centro de la ciudad de Mar del Plata. La estructura presentaba, tanto en los subsuelos como en las plantas, problemas de corrosión de armaduras causados, en principio, por factores tales como defectos constructivos (escaso o inexistente recubrimiento de hormigón), filtraciones y acumulación de agua y empleo de materiales y dosificaciones de mezcla inapropiados. Se describen los resultados de los ensayos no destructivos realizados en la obra y en el laboratorio y se los analiza a fin de establecer las causas que provocan el deterioro y de determinar la extensión y grado de avance de éste.

Los resultados de los relevamientos demuestran que los problemas de corrosión observados en las estructuras inspeccionadas no solo dependen de las condiciones de servicio a las cuales están expuestas las estructuras, sino que también dependen de aspectos constructivos y de diseño como ser, los escasos espesores de recubrimiento, el empleo de materiales y dosificaciones de mezcla inadecuados, así como de la falta de mantenimiento.

Abstract

This paper presents the results of several studies performed on reinforced and prestressed concrete structures affected by corrosion problems. The cases analyzed include, on one hand, problems of chloride induced corrosion observed on reinforced concrete structures exposed to marine environment, as well as problems of rebar corrosion caused by concrete carbonation found on bridges exposed to rural or urban environments. The paper describes the diagnosis procedure (field survey and laboratory investigation) used to determine the degree of damage observed on the inspected structures, and to identify the factors that influence the rebar corrosion process.

As an example, we present the methodology used to evaluate the status of a concrete structure of more than 25 years in downtown Mar del Plata. The structure presented corrosion signs in various floors, originated by factors such as design, filtration and inappropriate materials and dosages. The results of non destructive test performed in field and in the lab are analysed with the purpose of establishing what caused the problem and how far it advanced.

The results show that the corrosion problems do not only depend on the service conditions at which the structure is exposed, but also are affected by several construction and design aspects as the insufficient concrete cover, the use of inadequate materials and mix designs, and leak of maintenance.

1. FACTORES QUE CAUSAN LA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.

La corrosión en el hormigón armado es un problema que no solo afecta la integridad estructural de estructuras civiles y viales, dado que causa agrietamientos en el hormigón y reducción de espesor en las armaduras, sino que también compromete la seguridad de las personas. Asimismo, la evidencia de problemas de corrosión (manchas de óxido, agrietamientos y desprendimiento de material) provoca la desvalorización de los inmuebles debido a su deterioro estético y funcional. El grado de compromiso estructural o de seguridad alcanzado en estos casos, se establece efectuando un diagnóstico en profundidad de la estructura. Ejemplos claros de síntomas visuales se ven las fotografías 1 a 4.

En condiciones normales, el hormigón provee de un ambiente protector al acero de refuerzo ya que su elevada alcalinidad ($\text{pH} > 12.5$) hace que el acero se encuentre en un estado denominado *pasivo*, siendo su velocidad de corrosión despreciable. En este estado, el acero se encuentra cubierto por una capa de óxido que lo protege. Sin embargo la presencia de agentes agresivos (cloruros, sulfatos y dióxido de carbono (CO_2)) en la superficie de las armaduras puede causar la pérdida de pasividad del acero y crear condiciones propicias para el inicio de la corrosión de las armaduras.

Para poder caracterizar el tipo de deterioro que sufre una estructura de hormigón armado afectada por la corrosión del acero de refuerzo y establecer la agresividad y la extensión de este ataque es necesario identificar el factor desencadenante de la corrosión. Esencialmente son dos las causas que pueden dar lugar a la destrucción de la película pasivante del acero e iniciar la corrosión de las armaduras. Estas son la presencia de iones cloruro y la carbonatación.



Fotografía 1. (izquierda) Pilote pretensado con desprendimiento de hormigón y corrosión en los tensores de acero correspondiente a la subestructura de un puente expuesto a ambiente marino.

Fotografía 2. (derecha) Fachada de un edificio con signos visibles de deterioro causados por la corrosión de las armaduras.



Fotografía 3.3. (Izquierda) Desprendimientos del recubrimiento de hormigón en una loza causados por la corrosión de sus armaduras.

Fotografía 3.4. (Derecha) Manchas de óxido observadas en una loza con problemas de filtraciones. Esta loza corresponde a la misma estructura mostrada en la fotografía 3.

1.a. Corrosión iniciada por iones cloruro

Es causada por la presencia en la superficie del acero de una concentración de iones cloruro superior a la *concentración crítica*. Los iones cloruro son los principales causantes de la corrosión de las armaduras en estructuras expuestas al ambiente marino y en estructuras construidas con hormigones contaminados. En el primer caso los iones cloruro pueden penetrar desde el exterior a través de la red de poros del hormigón. En el segundo, se incorporan al hormigón como contaminante de alguno de los componentes de la mezcla (agregados fino o grueso, agua, aditivos, etc.).

1.b. Corrosión iniciada por carbonatación

La carbonatación es el resultado de la reacción química que ocurre entre el dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmósfera y ciertos productos de hidratación del cemento disueltos en la solución de los poros del hormigón. Como resultado, el pH del hormigón carbonatado se reduce a valores menores que 9. Una vez que el *frente carbonatado* alcanza la armadura comienza la disolución de la película pasiva que protege el acero de la corrosión.

1.c. Otros factores que influyen en la corrosión de las armaduras

La humedad del hormigón juega un papel importante en la corrosión de las armaduras ya que favorece la penetración y disolución de los agentes agresivos y proporciona el vehículo para que la corrosión avance. Por otro lado, el recubrimiento de hormigón sobre la armadura provee una barrera física contra la penetración de agentes agresivos desde el medio ambiente exterior. Su eficiencia depende fundamentalmente de dos factores:

El espesor del recubrimiento (ER): Se recomienda para ambiente marino emplear un espesor de recubrimiento mínimo de 2.5 cm.

El diseño de mezcla: Bajas relaciones agua-cemento y altos contenidos de cemento garantizan un hormigón de buena calidad.

2. TÉCNICAS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN.

La evaluación del grado de deterioro en los componentes estructurales de hormigón armado afectados por la corrosión se realizó mediante una inspección minuciosa, que consistió en la evaluación de diferentes parámetros, utilizando los métodos no destructivos que se describen a continuación.

2.a. Detección de la delaminación del recubrimiento de hormigón

Los productos de corrosión de la armadura ocupan un volumen considerablemente superior al del acero original. Esto causa tensiones de tracción en el interior del hormigón que originan agrietamientos y delaminación del recubrimiento de hormigón. Inicialmente este tipo de patología no se observa a simple vista por lo que las zonas afectadas se detectan golpeando la superficie del hormigón para identificar las áreas con sonido “hueco”.

2.b. Localización de la armadura y verificación de la continuidad eléctrica.

La localización de la armadura se realiza mediante un detector electromagnético denominado *pacómetro*. Este equipo permite detectar la posición de los refuerzos ubicados a menos de 100 mm de la superficie y estimar el espesor de recubrimiento de hormigón. La verificación de continuidad eléctrica entre distintos refuerzos de acero de un componente estructural, permite determinar la existencia de óxido aislante entre los refuerzos. La verificación implica, dejar parte de la armadura expuesta y limpia, y constituye un paso previo a la medición de potenciales de corrosión, ya que provee los puntos de contacto necesarios para efectuar dichas mediciones. Esta verificación se efectúa conectando un multímetro entre los puntos de contacto.

2.c. Extracción de testigos de hormigón.

La extracción de testigos se realiza empleando una máquina perforadora que emplea una broca de diamante refrigerada con agua. Los testigos extraídos tienen un diámetro de 50 mm y su largo es variable. En la gran mayoría de los casos los testigos son extraídos de manera de dejar la armadura parcialmente expuesta para posibilitar la ejecución de ensayos electroquímicos. Los testigos se usan para realizar estudios de laboratorio, fundamentalmente detección de nivel de cloruros y porosidad.

2.d. Determinación del contenido de cloruros en el hormigón

El contenido de iones cloruro en el hormigón se determina mediante el análisis químico de muestras de hormigón extraídas de la estructura. El método de evaluación empleado es el recomendado en el procedimiento ASTM 1152 para determinación de cloruros totales (solubles en ácido).

Nivel crítico de concentración de cloruro (C_c): La corrosión de la armadura se inicia una vez que la concentración de cloruros alcanza un *nivel crítico* en la superficie del acero. El valor de C_c generalmente adoptado es 0.4% (en peso) respecto al contenido de cemento en el hormigón.

2.e. Determinación del espesor de la capa carbonatada

La profundidad del frente carbonatado (x_c) se mide en distintos sectores de la estructura en los orificios realizados para la extracción de testigos. La medición se efectúa mediante la pulverización de una solución indicadora de pH sobre la superficie del hormigón recientemente expuesta. El indicador de pH empleado es una solución de fenolftaleína 1% p/v en alcohol etílico. Esta solución se caracteriza por dejar incoloro el hormigón que se encuentra carbonatado (pH menor que 9.5, resultante de la acidificación producida por el CO_2 ambiental).

2.f. Determinación de la reducción del diámetro de la armadura

La reducción de la sección transversal de la armadura se determina tomando mediciones del diámetro del refuerzo en los sectores puntuales de la armadura que fueron expuestos y limpiados. La disminución porcentual de la sección de las armaduras se estima en base al diámetro inicial y final del refuerzo.

2.g. Determinación de la resistividad eléctrica del hormigón.

La resistividad eléctrica del hormigón (r) es un parámetro que depende fundamentalmente del contenido de humedad y de los electrolitos presentes en el hormigón (cloruros, sulfatos, etc.), así como de la estructura y composición de los poros del hormigón. En las mediciones de r se emplea el método conocido como "técnica de Wenner" o "de 4 puntas". Para ello se utiliza un medidor de resistencia tipo Nilsson modelo 400.

La evaluación de la agresividad del hormigón a partir de estas lecturas se muestra en la Tabla 1.

TABLA N° 1: Agresividad del hormigón en función de los valores de resistividad eléctrica (ρ).

Rango de r ($k\Omega cm$)	Agresividad del hormigón
> 200	Bajo
20 a 200	Moderado
< 20	Alto

2.h. Determinación de la porosidad del hormigón.

El porcentaje de poros se determina según se especifica en la norma ASTM C-642 "Standard Test Method for Specific Gravity, Absorption and Voids in Hardened Concrete". El procedimiento consiste en obtener el peso de muestras de hormigón en tres condiciones diferentes: muestra secada a 105 °C en estufa hasta peso constante (P_A), muestra saturada de agua con superficie seca (P_B), peso de la muestra inmersa en agua (P_C). El porcentaje de poros ($P\%$) en el hormigón se calcula como $\%P = (P_B - P_A) / (P_B - P_C) \times 100$

El criterio de evaluación establece que si $\%P < 10$ la calidad del hormigón es alta, entre 10 y 15 es buena y finalmente, si es > 15 la calidad es baja.

2.i. Medición del Potencial de Corrosión (E_{CORR})

El potencial electroquímico de corrosión (E_{CORR}) del acero en el hormigón es un parámetro que indica el estado de avance de la corrosión de la armadura (pasivo o activo). La medición de E_{CORR} se realiza empleando un electrodo de referencia estándar de Cobre/Sulfato de Cobre (Cu/CuSO₄) saturado (**CSE**), conectado a un multímetro de alta impedancia de entrada. Los valores de E_{CORR} fueron interpretados según se especifica en la norma ASTM C-876. En la Tabla 2 se presentan los intervalos de potencial que definen distintos estados de corrosión para acero en hormigón. Estos valores permiten establecer si la armadura se encuentra en estado *pasivo* (velocidad de corrosión despreciable) o en estado activo (velocidad de corrosión considerable).

TABLA Nº 2. Intervalos de potencial de corrosión para acero en hormigón.

E_{CORR} vs. CSE	Riesgo por corrosión	Tipo de corrosión
> -200	Bajo	Acero en estado pasivo
-200 a -300	Moderado	Transición activo-pasiva
< -300	Alto	Corrosión activa

2.j. Velocidad de corrosión de la armadura.

La medición de velocidad de corrosión (**VC**) de la armadura permite predecir su velocidad de deterioro en términos de la disminución esperada para su sección transversal.

La Tabla 3 presenta la clasificación de **VC** propuesta por la Red Iberoamericana DURAR (Durabilidad de la Armadura), donde se evalúa el riesgo

de daño de las estructuras de hormigón armado por corrosión en función de algunas características del hormigón y algunos de los agentes agresivos que causan la corrosión del acero.

Las mediciones de **VC** se efectúan mediante ensayos in-situ de resistencia a la polarización (**R_p**). Los ensayos de **R_p** se realizan empleando un potencióstato portable marca Gamry. Para las mediciones se utiliza un contraelectrodo de anillo con confinación física de señal y un electrodo de referencia de CSE.

TABLA N° 3. Valores típicos de velocidades de corrosión VC para acero en hormigón.

Nivel de daño	VC / mm/año	Condición del hormigón
Muy leve	< 1	Muy seco sin contaminación de cloruros.
Leve	1 – 5	Seco, carbonatado o poco contaminado con Cl ⁻
Moderado	5 – 10	Húmedo, carbonatado o poco contaminado con Cl ⁻
Alto	10 – 100	Muy húmedo, carbonatado o contaminado con Cl ⁻
Muy alto	> 100	Muy húmedo, carbonatado o muy contaminado con Cl ⁻

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al método presentado en la sección anterior, los resultados se pueden resumir diferenciando dos tipos de daños causados por corrosión. Por un lado los daños existentes en los componentes estructurales ubicados en el sector perimetral de la estructura en los niveles del subsuelo y por otro los problemas de corrosión observados en las plantas del edificio. Los componentes se identifican según los planos provistos por la empresa contratante. Se omiten los resultados numéricos obtenidos para los diferentes parámetros a fin de simplificar la presentación.

3.a. Subsuelos del edificio.

Las columnas y vigas que conforman la estructura perimetral de los subsuelos presentan un proceso de corrosión generalizado en sus refuerzos principales que se propaga a una elevada velocidad. La pérdida de sección transversal en los refuerzos principales de los componentes más afectados por corrosión es de 80 % en una de las viga y 37 % en una de las columnas. El hormigón se encuentra permanentemente húmedo y presenta un elevado nivel de agresividad medido en términos de su resistividad eléctrica.

Los restantes componentes estructurales del subsuelo, incluyendo las lozas, presentan un nivel de deterioro menor. Los signos visibles de deterioro, caracterizados por la delaminación y los desprendimientos sectorizados del recubrimiento de hormigón se deben al proceso de corrosión de las armaduras que avanza a una velocidad entre moderada y elevada. En estos sectores, la disminución promedio de sección transversal de los refuerzos es inferior al 10%.

3.b. Plantas del edificio

Los problemas de corrosión se manifiestan en aquellos sectores de la estructura donde se producen acumulaciones de agua o filtraciones a través de la medianera del edificio. Las lozas de los pisos 9 y 10 presentan importantes daños, evidenciados en el estado avanzado de corrosión de las armaduras cuya disminución de sección transversal alcanza el 40%.

El grado de agresividad del hormigón que conforma las lozas es moderado y presenta un nivel de carbonatación que en general es superior al espesor de recubrimiento de hormigón.

En las demás plantas del edificio se observan sectores que presentan signos puntuales de deterioro originados en su gran mayoría por los escasos espesores de recubrimiento de hormigón existentes. La disminución de sección transversal en los refuerzos afectados por corrosión es inferior a 10 %. En estos sectores el hormigón presenta un carácter poco agresivo mientras que los potenciales y las velocidades de corrosión de los refuerzos son propios de acero en estado pasivo de corrosión.

4. CONCLUSIONES DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA EN CAMPO

Gracias a la aplicación de un conjunto amplio de técnicas de ensayo y análisis no-destructivos pudo determinarse que la estructura del hormigón armado del edificio en cuestión presentaba, tanto en los subsuelos como en las plantas, problemas de corrosión de armaduras causados, en principio, por la suma de distintos factores tales como, defectos constructivos (escaso o inexistente recubrimiento de hormigón), filtraciones y acumulación de agua, empleo de materiales y dosificaciones de mezcla inapropiados.

En los casos donde resulte necesario determinar la durabilidad de una estructura de hormigón armado afectada por corrosión es necesario identificar el o los factores que originaron el problema (cloruros, carbonatación) y establecer el ritmo de deterioro de la estructura mediante mediciones de velocidad de corrosión. Estudios de éste tipo son fundamentales a la hora de encarar tareas de mantenimiento o de reparación. Sólo así es factible recomendar la implementación de algunas de las múltiples medidas preventivas disponibles en el mercado, tales como el empleo de recubrimientos específicos y/o de inhibidores de corrosión.

5. ESPECIFICACIÓN DE ESQUEMAS DE REPARACIÓN DURABLES Y DE TÉCNICAS DE PROTECCIÓN DE LA CORROSIÓN.

Tradicionalmente, ante la evidencia de problemas de corrosión en las armaduras se recurre a la implementación de esquemas de reparación que normalmente consisten de las siguientes etapas: 1) remover el hormigón delaminado, 2) efectuar una limpieza manual o mecánica de las armaduras, 3) aplicación de productos denominados “convertidores de óxido” y 4) reemplazo del material faltante, para lo cual se emplean, en el mejor de los casos, morteros con aditivos impermeabilizantes. Sin embargo, la gran mayoría de las veces, esta técnica de reparación lejos de resolver el problema, lo oculta por un período de tiempo (que generalmente es menor a 3 - 5 años), después del cual reaparecen las patologías. A continuación se presenta un esquema de reparación de probada eficiencia y durabilidad.

5.1. Etapas de la reparación y protección

Los procedimientos de reparación a implementar en la estructura se diferencian en dos, dependiendo del tipo de patología y del grado de deterioro existente.

En las columnas y vigas perimetrales del subsuelo se recomendó implementar un esquema de reparación que incluya un sistema de control de corrosión efectivo que evite el progresivo deterioro de las armaduras en el tiempo.

En los restantes sectores del edificio se sugirió una reparación convencional consistente en la siguiente serie de etapas:

- a) Remoción del hormigón delaminado.
- b) Limpieza y acondicionamiento de las armaduras.
- c) Aplicación de puente de adherencia.
- d) Mortero de reparación.
- e) Pintura de reparación.

En los componentes estructurales ubicados en el sector perimetral del edificio se aconsejó incluir una etapa más que incluye la protección contra la corrosión de la armadura. Esta etapa debería efectuarse luego de concluida la limpieza y acondicionamiento de la armadura (punto b)) y antes de la aplicación del puente de adherencia (punto c). Se proponen dos métodos de protección contra la corrosión de la armadura: 1) Protección catódica con cinc proyectado. 2) Recubrimientos a base de pinturas ricas en cinc.

Para garantizar el éxito de una reparación y obtener una adecuada vida útil (de aproximadamente 10 años) cada una de las etapas debe ser cumplimentada siguiendo los lineamientos indicados a continuación:

5.1.a. Remoción del hormigón delaminado.

En los sectores del edificio donde se haya detectado un estado generalizado de corrosión en las armaduras se recomienda remover en forma completa el recubrimiento de hormigón hasta llegar al refuerzo.

En caso de existir una buena adherencia entre el refuerzo y el hormigón, y siempre que la disminución de la sección transversal del refuerzo sea inferior al 10%, se recomienda dejar una superficie de anclaje mínima (entre el refuerzo y el hormigón) de modo de no afectar estructuralmente el componente tratado.

En los sectores de la estructura donde la disminución de la sección transversal del refuerzo es del orden del 10 %, o donde debido a la presencia de productos de corrosión ya no exista adherencia entre el acero y el hormigón, es necesario limpiar completamente el perímetro de la armadura. Para ello se recomienda remover un espesor de hormigón inferior a 2 cm alrededor del refuerzo.

5.1.b. Limpieza y acondicionamiento de las armaduras.

La armadura expuesta en la etapa anterior debe limpiarse exhaustivamente removiendo todo vestigio de óxido visible. Para ello se recomienda efectuar un arenado a metal blanco (norma SSPC-SP 5). Este tratamiento de limpieza proporciona además, una buena superficie de anclaje entre el metal y el recubrimiento a utilizar.

Como segunda alternativa, puede efectuarse una limpieza mecánica rigurosa, teniendo en cuenta que éste método no es tan efectivo para remover el

óxido presente en la armadura. En este caso la armadura limpia adquiere un color oscuro brillante debida a la presencia de magnetita.

Si la disminución de la sección transversal del refuerzo es superior a aproximadamente 20% se recomienda adicionar refuerzos en las áreas afectadas. En este caso se deberá remover el hormigón de la zona adyacente al sector de la armadura que presenta este nivel de deterioro, de modo de proveer una superficie de solapado superior a tres veces la longitud del área del refuerzo afectado. El refuerzo nuevo puede ser soldado a la armadura existente o acoplado firmemente con alambre a lo largo del solapamiento.

5.1.c. Protección contra la corrosión de la armadura

En los sectores de la estructura más afectados por corrosión de armaduras se recomienda la aplicación de un recubrimiento a la armadura para controlar su progresivo deterioro. La función del recubrimiento es, por un lado actuar como barrera de protección del metal, aislándolo del medio, y por otro proteger catódicamente la armadura cuando ciertas áreas del metal quedan expuestas por fallas puntuales del recubrimiento.

Se proponen dos tipos de recubrimientos que cumplen con estos requerimientos:

- Protección catódica por ánodo de sacrificio con cinc proyectado
- Recubrimientos a base de pinturas de base epoxídica, ricas en cinc.

5.2.c.1. Protección catódica con cinc proyectado.

Desde hace algo más de 15 años se ha puesto en práctica en Europa y América del Norte un sistema de protección contra la corrosión para estructuras de hormigón armado denominado "Protección Catódica". Esta técnica se emplea extensivamente en otras áreas, como la industria del petróleo, el transporte de gas, etc. Según se especifica en las normas ACI 222 (Corrosion of metals in concrete) y NACE RP290 (Cathodic protection of reinforcing steel in atmospherically exposed concrete structures), la protección catódica es la única técnica recomendada para detener el proceso de la corrosión en estructuras de hormigón armado afectadas por la corrosión.

El principio de funcionamiento de la protección catódica consiste en llevar el potencial electroquímico de corrosión (E_{CORR}) al que naturalmente se encuentra el acero en el hormigón, a valores más negativos (catódicos) de manera de reducir la velocidad, y en ciertos casos detener, la corrosión.

En estructuras de hormigón armado uno de los métodos de protección catódica más difundidos por su bajo costo y simplicidad es el uso de "ánodos de sacrificio". La protección catódica por ánodos de sacrificio consiste en aplicar sobre la superficie exterior del hormigón un metal que se corroa preferentemente

al acero. El ánodo de sacrificio se conecta eléctricamente a la armadura de acero, proporcionando protección continua a la zona del componente estructural metalizado, hasta que se consume completamente. La vida útil de la protección se determina en función del espesor del metalizado y puede incrementarse metalizando periódicamente mientras el sistema está en funcionamiento. Este método de protección es particularmente eficaz en áreas afectadas por alta humedad como ser sótanos, subsuelos y estructuras expuestas al exterior. La implementación del sistema de protección es rápida y permite la aplicación de pinturas sobre el metalizado lo cual asegura una buena terminación. Como referencia, para lograr una duración del recubrimiento aproximada de 10 años, en una estructura expuesta directamente al ambiente marino se especifican espesores de recubrimiento del orden de 120 micrones. En condiciones menos severas de exposición la duración de la protección se incrementa.

5.2.c.2. Recubrimientos a base de pinturas ricas en cinc.

Las pinturas conocidas genéricamente como ricas en cinc (zinc-rich) funcionan proveyendo al refuerzo de cierta protección catódica inicial y ciertamente localizada. Para lograr un correcto funcionamiento de este tipo de recubrimiento es necesario asegurar que el contenido de cinc en la pintura sea superior al 90 % y que se la aplica luego de realizar una exhaustiva limpieza del acero.

5.1.d. Aplicación de puente de adherencia.

La función del puente de adherencia es actuar de ligante entre el hormigón original y el mortero de reparación. Los puentes de adherencia de base cementícea que se encuentran disponibles en el mercado resultan adecuados para esta etapa, conforme especificaciones del fabricante. Como segunda alternativa se puede optar por un producto de base acrílica. En caso de emplear un puente de adherencia de base epoxi se recomienda efectuar la reparación por sectores no mayores a 1 m² dado que el producto presenta un corto período de curado luego de el cual solidifica y pierde su propiedad como ligante.

5.1.e. Mortero de reparación.

Para lograr una alta resistencia e impermeabilidad del mortero de reparación, se recomiendan utilizar relaciones agua/cemento inferiores a 0.55 (en lo posible del orden de 0.45) y altos contenidos de cemento (superiores a 300 kg/m³). Adicionalmente, es importante utilizar arena de río como agregado y medir el contenido de humedad del mismo para obtener una relación agua/cemento acorde a lo especificado.

Actualmente existen en el mercado morteros pre-dosificados, especialmente elaborados para reparaciones, que pueden simplificar

considerablemente la tarea de preparación, eliminando la necesidad de efectuar un control tan estricto en la dosificación de la mezcla.

5.2. Recomendaciones acerca de la reparación

El esquema de reparación descrito otorga desde el punto de vista de la durabilidad una solución a los problemas de corrosión. La durabilidad de dicha reparación está proporcionada en gran medida por la aplicación de un recubrimiento protector de la corrosión a la armadura.

En reparaciones de gran extensión, el cinc proyectado presenta ciertas ventajas dado que la protección se extiende por toda la superficie metalizada del componente estructural tratado. En el caso de reparaciones localizadas y donde el deterioro no sea tan significativo, la opción de aplicar pinturas ricas en cinc ofrece una respuesta aceptable, quedando la protección limitada al sector donde la pintura fue aplicada y no a lo largo de todo el componente estructural.

Algunos aspectos importantes a tener en cuenta durante la reparación son:

- La durabilidad de una reparación depende de un control de obra exhaustivo en donde se verifiquen las distintas etapas del esquema de reparación de acuerdo a las especificaciones correspondientes.
- Es recomendable efectuar un seguimiento en el tiempo del estado de la armadura para detectar la iniciación de corrosión activa antes de la aparición de patologías y con el objetivo de evaluar la eficiencia del esquema de reparación. Para ello es posible implementar contactos eléctricos con la armadura que permitan efectuar mediciones una vez concluida la reparación.