

## **ESTADO DE CONSERVACIÓN DE UNA ESTRUCTURA EN LA LOCALIDAD COSTERA DE MONTE HERMOSO (PROVINCIA DE BUENOS AIRES)**

C. Priano<sup>1</sup>; L. Señas<sup>1</sup>; S. Marfil<sup>2</sup>

1. Dpto. de Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Av. Alem 1253. Bahía Blanca. Te. (0291) 4595103. int 3223. e-mail: cpriano@uns.edu.ar
2. Dpto. de Geología. UNS. Investigador Principal CIC. e-mail: smarfil@uns.edu.ar

**Palabras Claves:** Hormigón, Ambiente marino, Microclima

### **RESUMEN**

Se realizó el relevamiento en una estructura de hormigón armado de la ciudad de Monte Hermoso, ubicada en la costa de la Provincia de Buenos Aires, para evaluar su estado de conservación. La construcción comenzó en 1985 pero a mediados de 1989 fue suspendida y sólo se terminó el esqueleto de hormigón hasta el primer nivel de pisos. Desde entonces el hormigón de columnas, vigas y losas se encuentra a la intemperie, en línea directa con la brisa marina ya que no existe ninguna construcción que se interponga entre el edificio y la línea de costa.

Si bien la estructura analizada se emplaza en un ambiente marino, la disposición en altura del edificio genera distintas zonas, con sus correspondientes características y microclima. Se seleccionaron tres sectores diferentes para relacionar la penetración de cloruros con la ubicación relativa al frente de vientos y a la altura de los diversos niveles.

Los cloruros determinados experimentalmente en el hormigón, indican que se hallan en cantidades significativas para despasivar las armaduras y dar inicio a un proceso corrosivo. El insuficiente espesor de los recubrimientos y la elevada porosidad del hormigón, favorecieron la penetración de cloruros y la consecuente corrosión del acero. La ubicación de cada elemento estructural relevado, en relación al frente de vientos marinos, tiene una incidencia directa sobre la concentración de cloruros en el hormigón. No se observaron reacciones expansivas atribuibles a la composición petrográfico-mineralógica de los agregados y/o del cemento.

### **INTRODUCCION**

El principal mecanismo de deterioro de estructuras de hormigón armado emplazadas en un ambiente marino, es la corrosión de las barras de refuerzo. La presencia de iones cloruros por sobre ciertos valores límite promueven la pérdida de pasividad del acero, el inicio del proceso corrosivo y la falla prematura en la estructura. Los iones cloruro presentes en el agua de mar, penetran a través de los poros capilares de la matriz cementicia del hormigón de recubrimiento, y parte de ellos se pueden combinar con las fases aluminicas y ferríticas del cemento para formar complejos de cloroaluminatos, que se fijan como compuestos insolubles. Los cloruros "ligados" no generan riesgo de corrosión, a diferencia

de los “libres” que difunden en el hormigón quedando sin combinar, y son los que atacan a los productos de hidratación del cemento portland, y destruyen la película pasiva de la superficie de las armaduras. Comienza un proceso de corrosión puntual, denominado crateriforme (pitting) y dado el carácter expansivo de los óxidos y la baja resistencia a tracción del hormigón, se generan fisuras y desprendimiento del hormigón de recubrimiento, dejando expuestas las armaduras de refuerzo. Este tipo de corrosión es crítico ya que el “pitting” produce un efecto de entalladura que fragiliza la rotura de la barra de acero. Es por ello que, en general, no se admite que la vida útil en servicio se extienda más allá del comienzo del período de propagación, en el modelo de Tutti de la evolución del daño por corrosión (1). La variación del riesgo de deterioro por corrosión que sufre una obra emplazada en un ambiente marino, se ha esquematizado (2) en zonas con diferentes grados de agresividad, sin límites definidos y generalmente, superpuestas entre ellas: zona de atmósfera marina, de salpicaduras y mareas, sumergida y enterrada. El Reglamento CIRSOC 201-2005 (3) tipificó los ambientes naturales en los que puede estar emplazada una estructura y los agrupó según el tipo de degradación que provoquen. En el caso del ambiente marino, el nuevo Reglamento introdujo el concepto de microclima, distinguiendo tres clases (M1 M2 y M3) en función de la ubicación de la estructura respecto a la línea de marea (a más de 1 km, a menos de 1 km y/o sumergido por debajo del nivel mínimo de mareas y en la zona de fluctuación de mareas) (1).

Una de las zonas de mayor riesgo de exposición es la atmosférica, en la cual el hormigón no se encuentra en contacto con el agua de mar, recibe solamente las sales procedentes de la brisa marina y la niebla salina. Algunos autores (4-7) han demostrado que dentro de esta zona existen diferentes niveles en la intensidad del ataque, en función de la distancia a la línea de costa. Esta situación, que no ha sido considerada en algunos códigos de edificación (3, 8-11), es de suma importancia para los modelos predictivos de la vida en servicio de estructuras de hormigón armado que estarán emplazadas en un ambiente marino. Existen diversos factores que deben ser considerados para predecir la vida en servicio de estructuras marinas: dirección y velocidad del viento, ciclos de humedecimiento y secado, exposición a la radiación solar, intensidad de precipitaciones, humedad relativa. La distancia respecto al mar y los diferentes niveles de altura en la edificación son factores de gran importancia en la intensidad del ataque por cloruros. La presencia de sales decrece al aumentar la distancia al mar, en función de la presencia de obstáculos, tipo de costa, vientos predominantes (6). Algunos estudios muestran disminuciones de hasta un 70% en la penetración de iones cloruro en las estructuras de hormigón emplazadas en los primeros cien metros desde la línea de costa (12). Además, se produce una disminución del riesgo de corrosión con la altura del edificio respecto del nivel del mar ya que el contenido de cloruros tiende a disminuir en los niveles superiores (13-15).

La porosidad del hormigón de recubrimiento es un factor crucial en el proceso de penetración de agentes externos, mientras que bajas relaciones a/c y relativamente altos contenidos en cemento, son una cierta garantía de lentas difusividades de los cloruros. El tipo de cemento y su capacidad de retener o combinar cloruros es otro de los parámetros relevantes del proceso. La segunda ley de Fick es la más utilizada actualmente para hallar los coeficientes de difusión en estructuras reales y en laboratorio, con el fin de hacer predicciones. Sin embargo, cada vez aparecen más datos que señalan las limitaciones que presenta esta ecuación y que se manifiesta especialmente en la escasa relación encontrada entre los resultados de laboratorio y los de estructuras reales (16,17). Es por ello que el estudio de casos reales cobra importancia para aportar datos sobre los factores que inciden en el proceso de degradación por ataque con cloruros, utilizados en los modelos matemáticos de predicción.

En este trabajo se estudió una estructura de hormigón armado expuesta al ambiente marino durante más de 25 años. La obra está emplazada en la ciudad balnearia de Monte Hermoso al SO de la Provincia de Buenos Aires, a 110 km de la ciudad de Bahía Blanca. La

zona se caracteriza por la presencia de vientos cuya dirección dominante es del sector N, NO y NE (sector continental). Los que provienen del mar (S, SE y SO) son menos frecuentes, sin embargo son los de mayor intensidad (18). La entrada a la obra se encuentra a 100 metros de la línea de costa y el contrafrente se sitúa de cara al mar, recibiendo la brisa marina de dirección sur.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó un relevamiento en una estructura de hormigón armado de la ciudad de Monte Hermoso (Prov. de Buenos Aires) para evaluar el estado de conservación. La construcción comenzó en 1985 y en su proyecto original el edificio fue diseñado con un subsuelo, planta baja y seis pisos, pero a mediados de 1989 la construcción fue suspendida y solo se terminó el esqueleto de hormigón hasta el primer nivel de pisos. Desde entonces el hormigón de columnas, vigas y losas se encuentra a la intemperie, en línea directa con la brisa marina ya que no existe ninguna construcción que se interponga entre el edificio y la línea de costa (figura 1).



Figura 1: Vista sobre 1º nivel de la estructura estudiada

Las vigas, losas y columnas internas se encuentran en buen estado de conservación, teniendo en cuenta el tiempo transcurrido desde su ejecución (figura 2a). Aquellas zonas que sufrieron la acción del escurrimiento del agua de lluvia, por ejemplo las vigas del hueco de la escalera, muestran signos de un proceso de corrosión avanzado con desprendimiento del hormigón de recubrimiento y la armadura de refuerzo expuesta (figura 2b). Se constató la acumulación de agua de lluvia en los sectores de bajo-losa del primer piso (figura 2c y d). Esta situación generó un microclima de elevada humedad que favoreció el proceso de corrosión de las armaduras. Sobre la superficie inferior de las losas de ese sector, se observó un avanzado estado de deterioro, con eflorescencias, manchas de óxido, mallas de acero a la vista y corroídas, fisuración y desprendimiento del hormigón de recubrimiento (figura 2e). Algunos elementos estructurales presentan “nidos de abeja” o coqueas, a causa de un mal llenado del encofrado y/o una insuficiente compactación del hormigón (figura 2f).

Si se toma en consideración la clasificación dada por el Proyecto de Reglamento CIRSOC 201:2005 (3), se puede ubicar a la estructura evaluada en una clase de exposición marina, subclase al aire (M2). Si bien se emplaza en un ambiente marino, la disposición en altura del edificio genera distintas zonas, con sus correspondientes características y microclimas. La ubicación y distancia de una estructura a la fuente original de cloruros es uno de los parámetros que influye directamente en el proceso de difusión de éstos en el

hormigón. Es por ello que para realizar el muestreo, se seleccionaron tres sectores diferentes para relacionar la penetración de cloruros con la ubicación relativa al frente de vientos y a la altura de los diversos niveles. Se muestrearon los siguientes elementos estructurales: dos columnas en Planta Baja, PB1 (interna) y PB2 (lateral resguardada del agua de lluvia); dos columnas en Subsuelo, Sb1 (interna) y Sb2 (externa) y la escalera central y viga lateral en 1º piso, Pp1 y Pp2. La figura 3 muestra un esquema de la planta de la estructura y los sectores de muestreo.



Figura 2: Relevamiento de la estructura. a: vigas, losas y columnas internas. b: vigas corroídas en sectores cercanos al hueco de escalera. c y d: acumulación de agua de lluvia en los sectores de bajo losa del primer piso. e: superficie inferior de losas. f: coquera en viga.

Se realizaron los siguientes ensayos físicos: densidad, absorción y porosidad, según lo establecido en norma ASTM C642-97 (19) y determinación de cloruros totales y solubles en agua, según norma IRAM 1857 (20). Se realizó un estudio petrográfico de los agregados

y del hormigón. Se analizó el estado del mismo, en especial las zonas de contacto mortero-armadura y agregado-mortero.

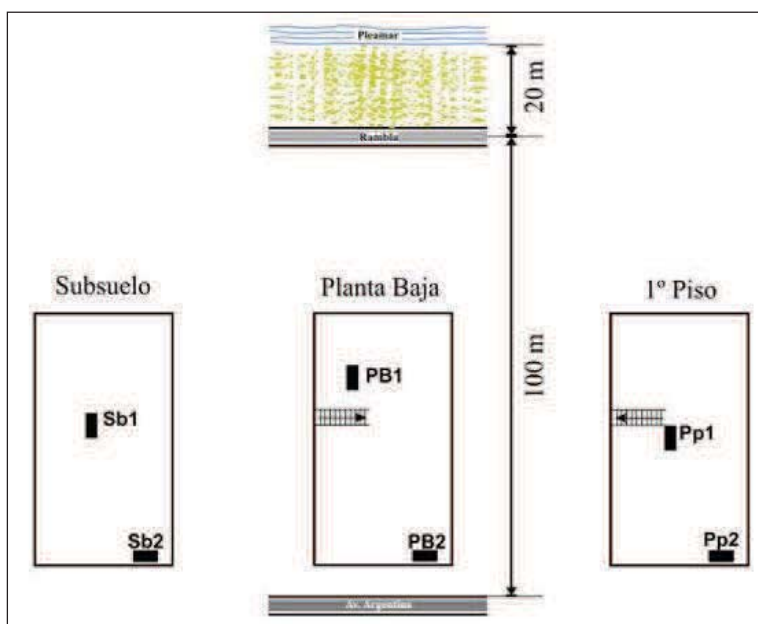


Figura 3: Esquema de la planta de la estructura y los sectores de muestreo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los ensayos de densidad, absorción y porosidad del hormigón de las muestras, se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Densidad, absorción y porosidad.

Muestras	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Porosidad (%)
PB1	2,41	3,3	10,3
PB2	2,49	3,5	11,3
Sb1	2,36	4,5	10,8
Sb2	2,25	7,0	13,9
Pp1	2,48	4,9	12,1
Pp2	2,35	5,3	12,3

Las muestras presentan valores de porosidad relativamente elevados e indican un hormigón con probabilidad de desarrollar patologías, debido a la facilidad de ingreso de sustancias nocivas desde el medio exterior, en particular, de cloruros ya que se trata de un ambiente marino. Las determinaciones de cloruros totales y libres (referidos al peso del hormigón) se detallan en la tabla 2.

Los vientos predominantes en el área son del sector N, NO y NE, pero los de mayor intensidad son los que provienen del mar (S, SE y SO), responsables del transporte de iones cloruros al sector continental. Por lo tanto el contrafrente del edificio está en línea directa con la brisa marina proveniente del sur, mientras que la entrada principal, que se sitúa en dirección norte, queda más resguardada del frente de vientos marinos. Se observa que el contenido de cloruros totales y libres (solubles en agua) para cada una de las muestras, es similar. Se puede inferir que el ingreso fue posterior al fraguado del hormigón y que no se han fijado en la estructura. Desde el punto de vista de la durabilidad de las armaduras de

refuerzo, un elevado porcentaje de cloruros libres es la situación más comprometida, ya que son éstos los que están disponibles para participar del proceso corrosivo.

Los mayores valores de cloruros totales corresponden al hormigón de las muestras tomadas en planta baja (PB1 y PB2), mientras que los más bajos se registraron en el hormigón de las muestras del primer piso (Pp1 y Pp2). En los tres niveles analizados se verificó un menor contenido de cloruros totales en el hormigón de los elementos estructurales internos (PB1, Sb1 y Pp1), es decir, los más protegidos del viento sur, responsable de llevar los iones cloruros desde el mar al sector continental. Estos resultados concuerdan con trabajos previos sobre estructuras emplazadas en la provincia de Buenos Aires, cerca de la costa Atlántica (14), e indican que la altura y la superficie expuesta al mar, tienen una significativa influencia en la penetración de cloruros en el hormigón. Cuando no existen obstáculos entre una estructura y el mar, se registran mayores contenidos de cloruros en los niveles inferiores de una edificación.

Tabla 2: Cloruros totales y libres.

Muestras	Cloruros Totales (%)	Cloruros libres (%)
PB1	0,386	0,333
PB2	0,438	0,436
Sb1	0,313	0,295
Sb2	0,341	0,323
Pp1	0,264	0,256
Pp2	0,294	0,287

## Ensayos petrográficos

En todas las muestras analizadas, el agregado grueso es una piedra partida granítica y en algunos casos, se observaron además cuarcitas. El agregado fino es una arena natural de origen marino, constituida en forma predominante por rocas volcánicas y valvas carbonáticas, con cuarzo y feldespato subordinados. Con estereomicroscopio no se observó microfisuramiento ni productos de neoformación en ninguna de las muestras estudiadas. El hormigón presenta muy buena compacidad, los contactos agregado–mortero son netos y las cavidades de aire accidentalmente accidental, se encuentran vacías. Se observaron diferentes tonalidades en la zona circundante a las armaduras que presentaban un avanzado estado de corrosión, identificándose óxidos e hidróxidos de hierro (magnetita color rojo oscuro, hematita, rojo intenso y goetita/lepidocrocita de colores ocres). En la figura 4a se muestra la piedra partida granítica que constituye el agregado grueso. Las partículas no muestran procesos de alteración y los contactos con el mortero son netos. La figura 4b corresponde a la piedra partida cuarcítica, también en contacto neto con el mortero. En la figura 4c se observa la composición de la arena con abundantes valvas carbonáticas lo que indica el origen marino. La figura 4d muestra la oxidación en la zona de contacto con la armadura y como difunden los oxidados de hierro hacia el mortero. La figura 4e corresponde a otro sector afectado por los procesos de oxidación. En la figura 4f se muestra un detalle de la zona de contacto del agregado grueso con el mortero.

## CONCLUSIONES

- La patología que presenta la estructura estudiada expuesta a un ambiente de alta agresividad se atribuye a un proceso de corrosión de las armaduras debido a la presencia de cloruros.
- El grado de deterioro desarrollado depende de las condiciones de exposición de cada uno de los elementos estructurales analizados (microclima).

- El insuficiente espesor de los recubrimientos y la elevada porosidad del hormigón, favorecieron la penetración de cloruros y la consecuente corrosión del acero. Esto se manifiesta en un elevado cuadro de fisuración, exudación de productos de corrosión y desprendimiento del hormigón superficial.
- Los cloruros determinados experimentalmente en el hormigón, indican que se hallan en cantidades significativas, para despasivar las armaduras y dar inicio al proceso corrosivo.
- La ubicación de cada elemento estructural relevado, en relación al frente de vientos marinos, tiene una incidencia directa sobre la concentración de cloruros en el hormigón: los mayores contenidos de cloruros se registraron en la Planta Baja de la edificación y en cada uno de los niveles analizados, se verificó un menor contenido en los elementos estructurales internos.
- El abandono temporario de la estructura produjo una situación no prevista en relación a la acumulación de agua de lluvia en los bajo-losas y escurrimiento en los huecos de la escalera. Esta disponibilidad de humedad constante favoreció el proceso de corrosión generado por la presencia de cloruros.
- No se observaron reacciones expansivas atribuibles a la composición petrográfico-mineralógica de los agregados y/o cemento.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Dptos. de Ingeniería y Geología de la UNS y a la CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado y al Dr. Ing. Yury Villagrán Zaccardi por la determinación del contenido de cloruros en las muestras.

## REFERENCIAS

- (1) Giovambattista A. "Hormigón: materiales, vida útil y criterios de conformidad y su consideración en el reglamento CIRSOC 201-2005". Instituto Nacional de Tecnología Industrial, (2011).
- (2) Liu P. "Damage to concrete structures in a marine environment". *Materials and Structures*, Vol. 24 (4), (1991), pp. 302-307.
- (3) CIRSOC 201-2005. "Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón". Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Argentina, (2011).
- (4) Guimarães A., Castagno R., Helene P. "Intensity of the attack of chloride ions: considerations about the distance of concrete members related to the coastline". *Teoria e Prática na Eng Civil*, 3, (2003), pp. 73-79.
- (5) Castro P., Tronconis de Rincón O., Pazini E. "Chloride penetration profiles in marine environments". II International Conference on High-Performance Concrete, and Performance and Quality of Concrete Structures. Gramado. ACI SP-186, (1999), pp. 371-389.
- (6) Costa E. "Determination of the aggressiveness potential of marine salts on rendering mortars on the metropolitan region of Salvador". Dissertation (MSc). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (2001).
- (7) Meira G., Andrade C., Padaratz I., Alonso C., Borba J. "Chloride penetration into concrete structures in the marine atmosphere zone – relationship between deposition of chlorides on the wet candle and chlorides accumulated into concrete". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 29, (2007), pp. 667-676.
- (8) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Analysis and design of concrete structures. NBR 6118. Rio de Janeiro, (2003).
- (9) *fib* Bulletin 34. "Model code for service life design". International Federation for Structural Concrete (*fib*), Switzerland, (2006), 110 p.
- (10) ACI Committee 318. "Building Code requirements for structural concrete and commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, (2008).
- (11) EHE-08. "Instrucción del hormigón estructural". Suplemento del Boletín Oficial del Estado Nº 203, España, (2008), 304 p.
- (12) Meira G., Andrade C., Alonso C., Borba J., Padilha Jr M. "Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicador". *Cement and Concrete Composites*, Vol. 32, (2010) pp. 427-435.

- (13) Pereperez B., Barbera E., Giménez E., García L. "Intervenciones en estructuras de edificación de hormigón armado por corrosión de las armaduras". IV Congreso Español de Corrosión y Protección. Madrid, (1986).
- (14) Di Maio A., Lima L., Traversa L. "Chloride profiles and diffusion coefficients in structures located in marine environments". Structural Concrete, Vol. 5, Issue 1, (2004), pp. 1-4.
- (15) Medeiros M., Gobbi A., Réus G., Helene P. "Reinforced concrete in marine environment: Effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the sea shore". Construction and Building Materials, Vol. 44, (2013) pp. 452-457.
- (16) Troconis de Rincon O., Castro P., Moreno E., Torres-Acosta A., de Bravo O., Arrieta I., García C., García D., Martínez Madrid M. "Chloride profiles in two marine structures-meaning and some prediction". Building and Environment, Vol. 39, Issue 9, (2004), pp. 1065-1070.
- (17) Troconis de Rincón O. "Impacto del ambiente tropical en la durabilidad de las estructuras de concreto armado". Revista de la Universidad del Zulia, Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología, Año 2, Nº 2, (2011), pp. 100-154.
- (18) Fernández E., Caló J., Marcos A., Aldacour H. "Interrelación de los ambientes eólico y marino a través del análisis textural y mineralógico de las arenas de la playa de Monte Hermoso, Argentina". AAS Revista, Vol. 10 (2), (2003), pp. 151-162.
- (19) ASTM C642-97. "Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete". American Society for Testing and Materials, (1997), 3 p.
- (20) IRAM 1857. "Hormigón de cemento portland. Determinación del contenido de ión cloruro en el hormigón". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2000), 17 p.

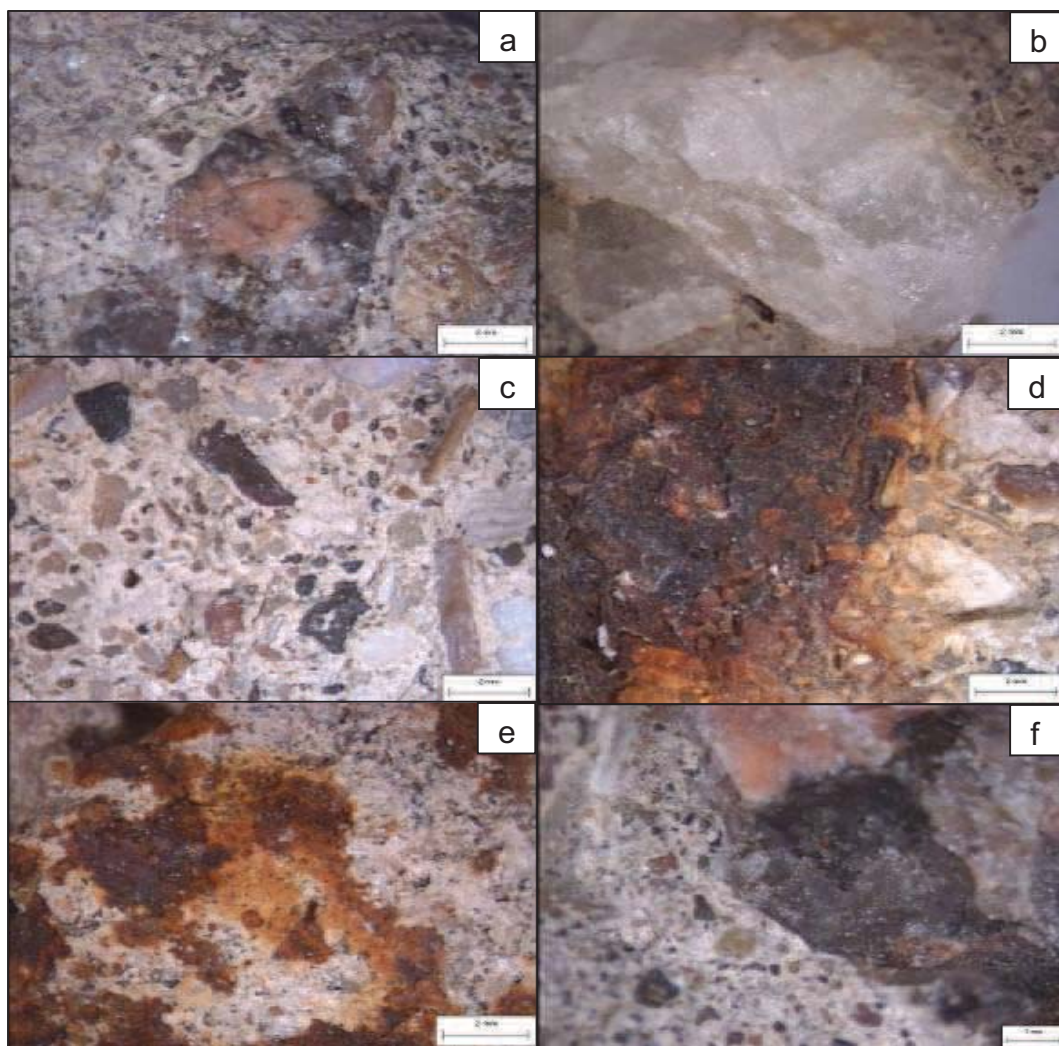


Figura 4: Petrografía del hormigón. a: piedra partida granítica del agregado grueso. b: piedra partida cuarcítica. c: mortero sano. d: oxidación del hierro de la armadura. e: óxidos e hidróxidos de hierro en el mortero. f: detalle de la zona de contacto agregado grueso – mortero.