

ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO EMPLAZADAS EN AMBIENTE MARINO

Carla Priano¹, Lilia Señas¹, Silvina Marfil²

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, Estudio estadístico

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis estadístico por el método de Componentes Principales (Análisis Multivariado), con los resultados de ensayos físico-mecánicos realizados sobre muestras de hormigón de cinco estructuras emplazadas en ambiente marino, en el sur de la Provincia de Buenos Aires (Puerto de Ing. White (Bahía Blanca) y Monte Hermoso), construidas entre los años 1930 y 2011. Se trabajó con los datos de densidad, absorción, porosidad, cloruros totales, cloruros libres y resistencia a compresión, que constituyen las variables a partir de las cuales se construyó la matriz de correlación.

Se concluyó que los hormigones que mostraron menor resistencia son los que tienen mayor contenido de cloruros (totales y libres) y mayor porosidad. Con este método, no se observó buena correlación entre resistencia vs. densidad y absorción.

El estudio estadístico permitió agrupar a las estructuras analizadas en función de la primera Componente Principal y relacionarlo de manera sencilla con el estado de conservación.

INTRODUCCIÓN

El ambiente marino está caracterizado, fundamentalmente, por la presencia de iones cloruros (Cl⁻) y desde el punto de vista de la durabilidad del hormigón armado o pretensado, debe ser considerado como severo. Un ambiente marino se encuentra cargado de partículas finas de sales, las que transportadas por el viento, se depositan sobre las superficies expuestas de las estructuras, penetran en el hormigón, atacan los productos de hidratación del cemento portland y aceleran la velocidad de corrosión de las armaduras de refuerzo. La magnitud de la contaminación salina decrece rápidamente con la distancia medida desde el mar, y se ve sensiblemente afectada por la dirección y magnitud de los vientos y los posibles obstáculos que se interpongan en su camino.

Las sales disueltas en el agua de mar que afectan al hormigón armado, son fundamentalmente: cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de magnesio, sulfato de calcio, cloruro y sulfato de potasio. Las mayores concentraciones iónicas son las de Na⁺ y Cl⁻, que alcanzan los 11.000 y 20.000 mg/litro, respectivamente. También hay cantidades significativas de Mg²⁺ y SO₄²⁻, normalmente 1.400 y 2.700 mg/litro (1). Las concentraciones iónicas promedio correspondientes a las aguas del Océano Atlántico son Cl⁻: 1,94 %, Na⁺:

1,08 %, Mg^{2+} : 0,13 % y SO_4^{2-} : 0,27 %. También contiene oxígeno y dióxido de carbono disueltos, cuyos porcentajes varían sensiblemente en función de las condiciones locales (2).

En estructuras emplazadas en un ambiente marino, los iones cloruros 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 de los cementos para formar complejos de cloroaluminatos, que se fijan como compuestos insolubles. Son los denominados cloruros "ligados" que no generan riesgo de corrosión; a diferencia de los "libres" que se 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.

Relevamientos realizados en el área de la costa de la Provincia de Buenos Aires, muestran un elevado porcentaje de obras, de entre 15 y 20 años de edad, afectadas por problemas de corrosión. Las estructuras están ubicadas a una distancia del orden de 200 metros de la línea de marea y no se verifica la existencia de elementos físicos que modifiquen o atenúen la influencia de los vientos, que en la mayoría de las localidades, van desde el mar hacia la costa (3).

El propósito del presente trabajo es evaluar la relación entre los parámetros físico-mecánicos determinados en muestras de hormigón de cinco estructuras emplazadas en ambiente marino, construidas en distintas etapas tecnológicas y con diferentes usos, con el correspondiente estado de conservación y edad de las mismas. Para ello se realizó un análisis estadístico multivariado utilizando como variables: densidad, absorción, porosidad, cloruros totales y libres y resistencia a compresión. Los datos necesarios para el estudio estadístico se obtuvieron del relevamiento y muestreo del hormigón de cinco estructuras, tres de ellas estudiadas en trabajos previos (4, 5, 6).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los hormigones en estudio corresponden a cinco estructuras emplazadas en el puerto de Ing. White y en la localidad de Monte Hermoso, situadas a 20 km y 110 km respectivamente, 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 (7). En la figura 1 se detalla la ubicación de las obras estudiadas.

En cada una de las obras se realizó un relevamiento visual del estado de la estructura y se tomaron muestras de hormigón para realizar ensayos de resistencia a compresión sobre testigos, densidad, absorción y porosidad según lo establecido en norma ASTM C642-97 (8) y determinación de cloruros totales y solubles en agua, según norma IRAM 1857 (9) y recomendación RILEM TC 178-TMC (10) respectivamente.

Se realizó un estudio estadístico por el método de Componentes Principales (CP) (11), que consiste en simplificar la estructura de las variables, a partir de la construcción de una matriz de covarianza o correlación. Se definen nuevas variables basándose en esa matriz, que son combinación lineal de las originales, de forma tal que cada una concentre la mayor variabilidad y sean linealmente independientes. Se utilizó una matriz de correlación para darle el mismo peso a todas las variables, ya que los datos tienen unidades diferentes. Se calcularon los autovalores y autovectores de dicha matriz, los porcentajes de reconstrucción del modelo para cada componente y para cada variable y se volcaron en un gráfico. Se trabajó con un total de 17 muestras de las cinco estructuras relevadas.



Figura 1: Ubicación de estructuras relevadas. O1: Viaducto, Ing. White, 1980. O2: Usina Gral. San Martín, Ing. White, 1930. O3: Pilotes, Ing. White, 2010. O4: Espigones “Este” y “Oeste”, Monte Hermoso, 1971. O5: Estructura sobre Av. Argentina, Monte Hermoso, 1985.

O1. Viaducto en Ing. White

En la década del ochenta se construyó la Central Termoeléctrica Luis Piedrabuena y su respectivo muelle en Ing. White. El muelle está vinculado a tierra firme a través de un viaducto de hormigón armado de 780 m de longitud y 10 m de ancho. Estructuralmente está constituido por un tablero, cinco vigas prefabricadas en tramos continuos de 20 m de luz, que transmiten la carga a dos pilotes encamisados de 1,10 m de diámetro con su respectivo cabezal. Se observaron signos de deterioro tales como: fisuras coincidentes con las armaduras pasivas y otras con trayectorias aleatorias; óxidos lixiviados de tonalidad rojiza, que teñían la superficie; desprendimiento del recubrimiento y armaduras a la vista; pérdida del mortero con exposición del agregado grueso. La parte de la estructura que presentaba mayores signos de deterioro (cabezales de pilotes) está ubicada en zona de salpicaduras (muestra V1), mientras que el hormigón correspondiente a la zona seca no se encontraba tan comprometido (muestra V2) (4).

O2. Usina Gral. San Martín en Ing. White

El edificio de la antigua Usina de Ing. White, fue construido en la década del '30 para proveer de energía eléctrica a la ciudad de Bahía Blanca. Se utilizó un predio ubicado en una zona afectada por el avance del mar por lo que se debió rellenar con materiales de refulado para lograr la cota de fundación. Se hincaron 700 pilotes de hormigón hasta una profundidad de 13 m, nivel en el que encuentra un sedimento con valor soporte adecuado para una obra de esta envergadura. Durante el relevamiento y muestreo se pudo apreciar un buen estado general de conservación de los elementos estructurales. No se observaron manchas de óxidos ni descascaramientos en el hormigón de recubrimiento de vigas y columnas interiores (muestra U1). Algunas losas y vigas mostraban un lixiviado color blanquecino en correspondencia con zonas de escurrimiento de agua. La superficie de una columna exterior, en contacto directo con el ambiente marino (muestra U2) se encontraba cubierta por una pintura color celeste con fibras. La armadura de refuerzo utilizada es lisa, de uso generalizado para la época de la construcción de la Usina, con una leve película de óxido de hierro asociada a un proceso de corrosión por carbonatación. No se ven las típicas picaduras debido a un ataque por cloruros, característico para el ambiente marino en que está emplazada la estructura (5).

O3. Pilotes en Ing. White

Se relevó un conjunto de pilotes de hormigón, realizados “in situ” mediante el hincado de una camisa de 80 cm de diámetro, que constituían parte de la fundación de una terminal portuaria, emplazada en el Puerto de Ing. White (año 2011). Fueron hincados a 100 metros de la línea de costa y a una profundidad de hasta 35 metros. Al momento del relevamiento, algunos pilotes habían sido removidos. Se pudo apreciar el buen estado general del hormigón y el agregado grueso, constituido por canto rodado de canteras de la zona de Bahía Blanca. La armadura de refuerzo consiste en barras de 16 y 20 cm de diámetro. No se observaron síntomas de procesos corrosivos en desarrollo. Se calaron testigos en forma perpendicular al eje del pilote y se acondicionaron para el ensayo de compresión (muestras P1, P2 y P3).

O4. Espigones en Monte Hermoso

A principios de los '70, se construyeron dos espigones en Monte Hermoso: el denominado “espigón Oeste” diseñado para la actividad pesquera y el “espigón Este” para el desagüe de los efluentes de la planta depuradora cloacal. Se construyeron mediante el hincado de pilotes de hormigón armado de 0,50 m de diámetro, que sostenían una estructura de 230 m de longitud y 4 m de ancho. En el relevamiento se observaron manchas de óxidos, fisuras, desprendimientos del hormigón de recubrimiento y armaduras de refuerzo corroídas a simple vista. En algunos casos se observó la ausencia total de mortero cementíceo, dejando al agregado grueso (piedra partida) expuesto y sin pasta que lo aglutine. Los cabezales de pilotes y vigas superiores de ambos espigones también sufrieron un proceso corrosivo muy significativo. En el año 2008, luego que colapsara un tramo de vigas laterales, se decidió la demolición de ambos espigones y se pudo observar el estado de los pilotes que fueron removidos. El núcleo central de los pilotes, en el tramo correspondiente a la zona de mareas, se encontraba en perfecto estado de conservación. El tramo correspondiente a la zona enterrada o de hincado, no presentaba manchas de corrosión aflorando sobre la superficie del hormigón y en el extremo inferior de los pilotes se observaron conos de hierro en un estado aceptable, sin signos importantes de corrosión. Se tomaron muestras de hormigón del espigón Este (M1) y del Oeste: una de las muestras corresponde al hormigón de un pilote que no tenía contacto directo con el agua de mar (M2), otra en la zona de salpicaduras (M3) y otra en la zona enterrada o hincada (M4) (6).

O5. Estructura sobre Av. Argentina en Monte Hermoso

Se realizó un relevamiento en una estructura de hormigón armado ubicada a 100 metros de la línea de costa en la localidad de Monte Hermoso. 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 por lo que sólo se terminó el esqueleto de hormigón hasta el primer nivel de pisos. Las vigas, losas y columnas internas se encontraban en buen estado de conservación. Aquellas zonas que sufrieron la acción del escurrimiento del agua de lluvia, por ejemplo las vigas del hueco de la escalera, mostraban signos de un proceso de corrosión avanzado del acero, con desprendimiento del hormigón de recubrimiento y la armadura de refuerzo expuesta. Se constató la acumulación de agua de lluvia en los sectores de bajo-losa del primer piso. 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 corroídas a la vista, fisuración y desprendimiento del hormigón de recubrimiento. Se tomaron muestras de dos columnas en Planta Baja: muestra E1 (interna) y muestra E2 (lateral resguardada del agua de lluvia); dos columnas en Subsuelo: muestra E3 (interna) y muestra E4 (externa) y escalera central y viga lateral en 1º piso: muestra E5 y muestra E6.

RESULTADOS

En la tabla 1 se detallan los resultados de los ensayos físico-mecánicos realizados sobre las 17 muestras de hormigón de las cinco estructuras estudiadas.

Tabla 1: Resultados de ensayos físico-mecánicos

Estructura	Muestra	Densidad (g/cm ³)	Abs. (%)	Porosidad (%)	Cloruros Totales (%)	Cloruros libres (%)	Resistencia compresión (MPa)
O1 Viaducto Ing. White	V1	2,39	6,8	15,2	0,165	0,148	22,7
	V2	2,42	7,7	14,1	0,239	0,218	18,5
O2 Usina Ing. White	U1	2,34	4,2	9,3	0,382	0,231	42,0
	U2	2,31	4,1	9,0	0,035	0,004	43,1
O3 Pilotes Ing. White	P1	2,42	7,3	16,4	0,188	0,102	30,0
	P2	2,40	5,7	12,9	0,007	0,005	36,1
	P3	2,43	9,1	18,8	0,319	0,230	31,3
O4 Espigones Monte Hermoso	M1	2,41	6,4	14,5	0,404	0,395	24,1
	M2	2,18	8,8	17,7	0,230	0,228	23,2
	M3	2,19	7,1	16,4	0,967	0,885	19,8
	M4	2,49	6,2	17,8	0,468	0,466	24,8
O5 Estructura Monte Hermoso	E1	2,41	3,3	10,3	0,386	0,333	21,0
	E2	2,49	3,5	11,3	0,438	0,436	22,6
	E3	2,36	4,5	10,8	0,313	0,295	23,1
	E4	2,25	7,0	13,9	0,341	0,323	19,6
	E5	2,48	4,9	12,1	0,264	0,256	20,6
	E6	2,35	5,3	12,3	0,294	0,287	19,8

Estudio estadístico por el método de Componentes Principales

Con los datos de la tabla 1 se realizó un estudio estadístico utilizando análisis multivariado (método de Componentes Principales (CP)) a fin de evaluar, por un lado, si existe correlación entre las seis variables consideradas (resistencia a compresión, cloruros totales y libres, densidad, absorción y porosidad) y por otro comparar las diferentes estructuras en función de estos resultados y relacionarlo con las determinaciones realizadas en trabajos previos. Se utilizó una matriz de correlación para darle el mismo peso a todas las variables. Se consideraron las tres primeras componentes ya que representan el 89,5% de la varianza total del modelo distribuido de la siguiente forma: 44,5% en la primera CP, 28,1% en la segunda y 16,9% en la tercera. En la tabla 2 se muestra la correlación de las variables con las tres primeras componentes. Se observa que la primera CP está expresada por el contenido de cloruros (totales y libres) que se correlaciona de manera inversa con la resistencia. Si bien las variables absorción y porosidad también tienen coeficientes positivos, su porcentaje de representación en esta componente es de aproximadamente 30% y 43% respectivamente. Estas dos últimas variables también están representadas en la segunda CP (70% y 44%). Si bien el peso es mayor, debe considerarse que la segunda CP explica el 28 % de la varianza total vs. el 45% de la primera CP. Esto significa que las muestras con menor resistencia tienen mayor contenido de cloruros y mayor porosidad y absorción. Sin embargo la correlación con esta última variable es baja ya que el 70% de la segunda CP está dado por la absorción. Si bien la tercera CP representa solo el 17% de la varianza total del modelo, está dada principalmente por la densidad. De esto se desprende que, en este caso, los valores de densidad no se correlacionan con los otros parámetros determinados.

Tabla 2: Correlación entre las variables y las primeras tres CP

Variables	Primera CP	Segunda CP	Tercera CP
Densidad	- 0,36314	- 0,11617	0,87995
Absorción	0,53274	0,83057	- 0,02692
Porosidad	0,66104	0,67540	0,20569
Cloruros totales	0,81865	- 0,49373	- 0,09213
Cloruros libres	0,84800	- 0,50086	- 0,01640
Resistencia	- 0,65690	0,15560	- 0,43727

En la tabla 3 se muestran las coordenadas centradas de las 17 muestras analizadas, para las primeras tres CP. En la figura 2a se graficaron las variables en el plano de las dos primeras CP. Se observa que existe una relación directa entre absorción y porosidad e inversa entre cloruros (libres y totales) y resistencia. En cambio no se observa correlación entre densidad y el resto de las variables. La longitud del vector que representa la densidad es pequeña debido a que esta variable está explicada en la tercera CP. En la figura 2b se muestran los resultados de las variables en el plano de las dos primeras CP.

Tabla 3: Coordenadas Centradas para las primeras tres CP

Variables	Primera CP	Segunda CP	Tercera CP
V1	- 0,24177	1,02436	0,52072
V2	0,28077	0,80324	0,90803
U1	- 1,65647	- 1,13720	- 1,47499
U2	- 3,10760	- 0,11774	- 1,66410
P1	- 0,50135	1,54217	0,45786
P2	- 2,20873	0,98694	- 0,19115
P3	0,69885	2,13744	0,54406
M	0,67297	- 0,14283	0,46369
M2	1,28910	2,11791	- 1,35079
M3	4,38987	- 1,37473	- 1,50210
M4	1,18257	0,03156	1,35613
E1	- 0,49937	- 1,88751	0,41559
E2	- 0,21363	- 1,98598	1,10061
E3	- 0,47239	-1,07991	- 0,11489
E4	0,98030	0,30767	- 0,78394
E5	- 0,59624	- 0,70165	1,24170
E6	0,00312	- 0,52374	0,07357

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Las obras estudiadas fueron ejecutadas entre los años 1930 y 2011, esto implica que la edad de los hormigones oscila entre 3 y 84 años. Los valores de densidad medidos son en general uniformes. En tres de las obras (O1, O3 y O4) las determinaciones de porosidad y absorción resultaron significativamente elevadas (mayor a 15% y 5%, respectivamente), lo que indica que estos materiales tienen alta probabilidad de desarrollar patologías debido a la facilidad que presentan para el ingreso de sustancias agresivas desde el medio exterior, en particular por ser obras emplazadas en un ambiente marino. La estructura de mayor edad (O2) presentó los valores más bajos de porosidad y absorción (por debajo de 10% y 5% respectivamente), lo que indica un hormigón de buena calidad y compacidad.

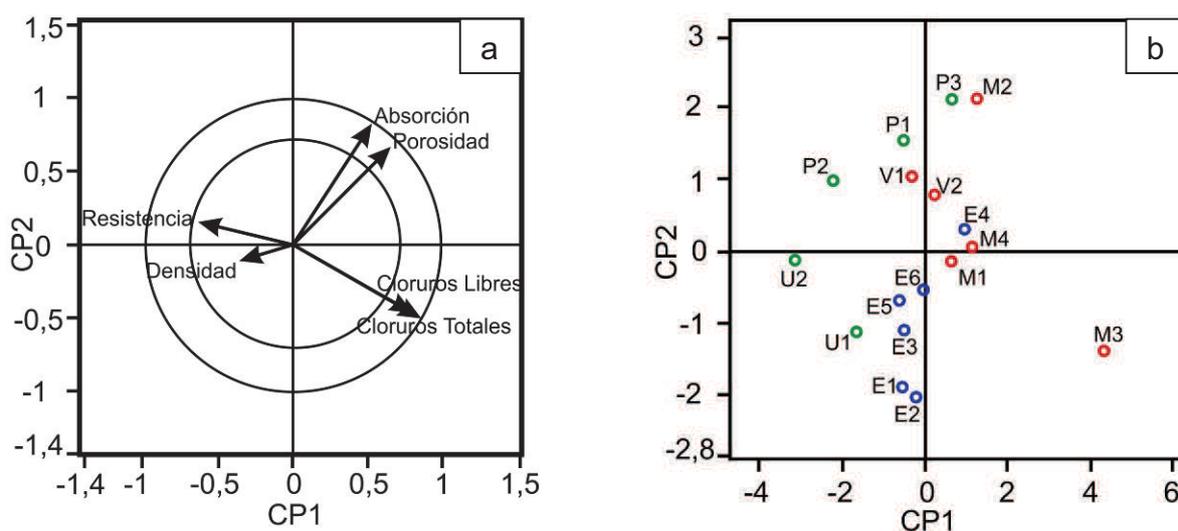


Figura 2: a. Gráfico de las variables en el plano de las dos primeras CP. b. Gráfico de las estructuras marinas en el plano de las dos primeras CP

Las estructuras que presentan el mayor contenido de cloruros en el hormigón, tanto total como libre, son las emplazadas en Monte Hermoso (O4 y O5). En la mayoría de las muestras se hallaron en cantidades significativas como para despasivar las armaduras y dar inicio a un proceso corrosivo. En las obras O1, O4 y O5 se observa que el contenido de cloruros totales y libres (solubles en agua) es similar. Se puede suponer que tienen un ingreso posterior al endurecimiento del hormigón y que no se han fijado en la estructura, o bien, que al ser incorporados con alguno de los componentes del hormigón se hayan fijado y posteriormente, la pérdida de alcalinidad por carbonatación o la presencia de sulfatos, haya originado la liberación de los cloruros fijos. 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 de las armaduras. Se verifica que los sectores más deteriorados coinciden con la zona de salpicaduras. El contenido de cloruros libres en las muestras U2 y P2, es mínimo. Este hecho se refleja en el estado de conservación de las barras que no presentan ningún indicio de corrosión por picaduras. Existen algunas muestras correspondientes a las obras O3 y O5 en las que el contenido de cloruros es alto, pero no está acompañado de un proceso corrosivo avanzado de las armaduras debido a la escasa edad y a la poca disponibilidad de oxígeno en la zona de hincado, el cual resulta necesario para que la corrosión se desarrolle.

En la figura 2b observa que las muestras de los espigones de Monte Hermoso (M) tienen los mayores valores de la primera CP que corresponden a las que mostraron menor resistencia en los ensayos físicos y son a su vez, las que tienen mayor contenido de cloruros. Las muestras del hormigón de la Ex usina de Ing. White (U) se ubican a la izquierda del gráfico, lo que indica que tienen los más bajos contenidos de cloruros y los mayores valores de resistencia. Los pilotes (P) también tienen, en general, valores negativos en la primera CP, mostrando un comportamiento similar al del hormigón de la Usina. El viaducto (V) y la estructura de Monte Hermoso (E), presentan valores cercanos a cero tanto positivos como negativos. Esta variación estaría relacionada con la ubicación de las muestras en relación al ambiente de exposición. Estos resultados son coincidentes con las conclusiones obtenidas en trabajos previos (4, 6). La mayoría de las muestras de las dos estructuras de Monte Hermoso (M y E) tienen valores negativos en la segunda CP, lo que indica alto contenido de cloruros. El hormigón del viaducto (V) y los pilotes de Ing. White (P)

presentan los valores más altos en la segunda CP lo que indica elevada absorción y porosidad. Las muestras de hormigón de la Usina tienen valores muy variables en esta CP.

CONCLUSIONES

- El estudio estadístico por el método de componentes principales permitió agrupar a las estructuras analizadas en función de la primera CP y relacionarlo de manera sencilla con el estado de conservación.
- Las que tienen valores positivos de la primera CP (M y V) son las que mostraron mayores signos de deterioro asociados a procesos corrosivos por la presencia de cloruros.
- Las que tienen valores negativos de la primera CP (P y U) son las que mejor performance han mostrado durante su vida útil.
- Las muestras cercanas al eje de ordenadas (estructura E) presentan un buen estado general, aunque con un incipiente grado de deterioro.

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.

REFERENCIAS

- (1) Mehta, P., Monteiro, P. "Concrete: structure, properties, and materials". Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, (1993), 548 p.
- (2) Traversa, L. "Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales". Durabilidad del hormigón estructural. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, (2001) pp. 217-257.
- (3) Traversa, L, Giovambattista, A., Di Maio, A., Eperjesi, L. "Comportamiento en servicio de estructuras de hormigón armado de edades diferenciadas: Análisis comparativo de estructuras construidas en la Pcia. de Buenos Aires, Argentina". V Congreso Iberoamericano de Patologías de las Construcciones y VII Congreso de Control de la Calidad CONPAT 99. Montevideo, Uruguay, (1999), pp. 617-622.
- (4) Señas L., Maiza P., Priano C. y Marfil S. "Patologías desarrolladas en una estructura de hormigón en zona marítima". VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR Córdoba, (2010), 14 p.
- (5) Priano C., Lescano L., Señas L., Maiza P., Marfil S. "Estado de conservación de los materiales de la ex Usina General San Martín (Ing. White, Prov. de Bs. As.)". 3º Congreso Iberoamericano y XI Jornada de Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio, COIBRECOPA, La Plata, (2013), 12 p.
- (6) Priano C., Traversa L., Marfil S., Marcos A. "Evaluación del hormigón de los espigones del balneario Monte Hermoso (Prov. de Buenos Aires)". VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. CINPAR Córdoba, (2010), 13 p.
- (7) 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, Nº 2, (2003), pp. 151-162.
- (8) ASTM C642. "Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete". American Society for Testing and Materials, (1997), 3 p.
- (9) IRAM 1857. "Hormigón de cemento portland. Determinación del contenido de ión cloruro en el hormigón". Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2000), 17 p.
- (10) RILEM TC 178-TMC. "Testing and modelling chloride penetration in concrete. Analysis of water soluble chloride content in concrete". Materials and Structures. RILEM Publications SARL, Vol. 35, Issue 253, (2002), pp. 586-588.
- (11) Jonson R., Wichern D. "Applied multivariate statistical analysis". Prentice Hall. New Jersey. Cap. 10, (1982), pp. 461-530.