

EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL EN UN EDIFICIO PATRIMONIAL EN ZONA SÍSMICA

Noemí Graciela Maldonado¹, María Carolina Domizio^{1,2}, Martín Pablo Enrique¹, Alberto Marcelo Guzmán¹, Ignacio Alberto Maldonado¹

¹ CeReDeTeC, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, ngm@frm.utn.edu.ar, pablo.martin@frm.utn.edu.ar, mguzman@frm.utn.edu.ar

² CeReDeTeC, UTN-FRM, doctorando CONICET, mdomizio@frm.utn.edu.ar

RESUMEN

Se estudia un edificio industrial de hormigón armado, construido en la década de 1940 con un sistema estructural de pórticos, dos niveles en subsuelo y dos niveles sobre nivel suelo con losas macizas. La caracterización del hormigón utilizado ha requerido de ensayos de esclerometría y carbonatación, detección de armaduras, extracción de testigos y medida de la permeabilidad al aire. Los resultados de permeabilidad al aire, esclerometría y la medida de la carbonatación han demostrado importantes niveles de avance del frente de carbonatación en subsuelos, desapareciendo así la protección de las armaduras. Los ensayos de resistencia a compresión de testigos de hormigón dan una calidad resistente no superior a H20. El uso combinado de estas técnicas de evaluación ha permitido sugerir las pautas del diseño estructural para la puesta en valor, donde los aspectos de durabilidad tienen importancia principal en el diagnóstico y la rehabilitación sísmica.

Palabras claves: carbonatación, durabilidad, permeabilidad al aire, resistencia.

INTRODUCCIÓN

Este edificio industrial de hormigón armado, fue construido en la década de 1940 con un sistema estructural de pórticos de hormigón armado en ambas direcciones (Figura 1), con dos niveles en subsuelo y dos niveles sobre nivel cero con losas macizas de hormigón armado que cubre una superficie de 60x30m con 6400 m² de superficie cubierta (Figura 2). El lugar fue utilizado para estiba y añejamiento de champagne. En el año 1994 el sector dejó de utilizarse y no se realizó mantenimiento alguno de la construcción, quedando afectada por las condiciones ambientales debido al aporte de agua de lluvia, que ha producido corrosión de armaduras en distintos sectores [1].

La caracterización del hormigón utilizado ha requerido de ensayos de esclerometría para identificar homogeneidad y calidad del hormigón, ensayos de carbonatación para identificar el avance del frente respecto a las armaduras, la detección de armaduras para absorber esfuerzos de flexión y corte, la extracción de testigos de hormigón para determinar la resistencia del hormigón y la medida de la permeabilidad al aire de los recubrimientos para evaluar la durabilidad del recubrimiento [2].

El uso combinado de estas técnicas de evaluación ha permitido sugerir las pautas del diseño estructural para la puesta en valor, donde los aspectos de durabilidad tienen importancia principal en el diagnóstico y la rehabilitación sísmica.

METODOLOGÍA

Debido a que no encontraron planos ni datos de ejecución se planificó una primera etapa exploratoria con ensayos no destructivos y mínima extracción de testigos de hormigón.

Como primera actividad se realizaron determinaciones en columnas y tabiques del número de rebote empleando el esclerómetro a resorte previo a una limpieza mecánica de la superficie pintada. Previamente se ubicaron las posiciones de armaduras verticales y estribos [2].

En las mismas ubicaciones se realizaron las mediciones de la permeabilidad al aire del recubrimiento de hormigón utilizando un medidor de permeabilidad al aire automático Perme@Torr que consta de una celda de vacío de doble cámara, una válvula reguladora de presión de alta precisión y unidades de operación, control y medición que cumplimentan la norma suiza SIA 262/2013, Anexo E [3].

Se determinó la resistencia a la compresión del hormigón de la estructura a través de la extracción de testigos de hormigón con taladros de diámetro adecuado en diferentes ubicaciones [4-8].

Una vez seleccionado el testigo se eliminó el polvo que tuviera, se aplicó por atomización el indicador ácido-base en forma uniforme para establecer la profundidad de carbonatación. Transcurridos 15 minutos se midió la profundidad de la zona incolora desde la superficie expuesta. El indicador utilizado (fenoftaleína al 1 %) varía su tonalidad de incoloro a violeta rojizo en el rango de pH 8,2 a 9,8 [2].

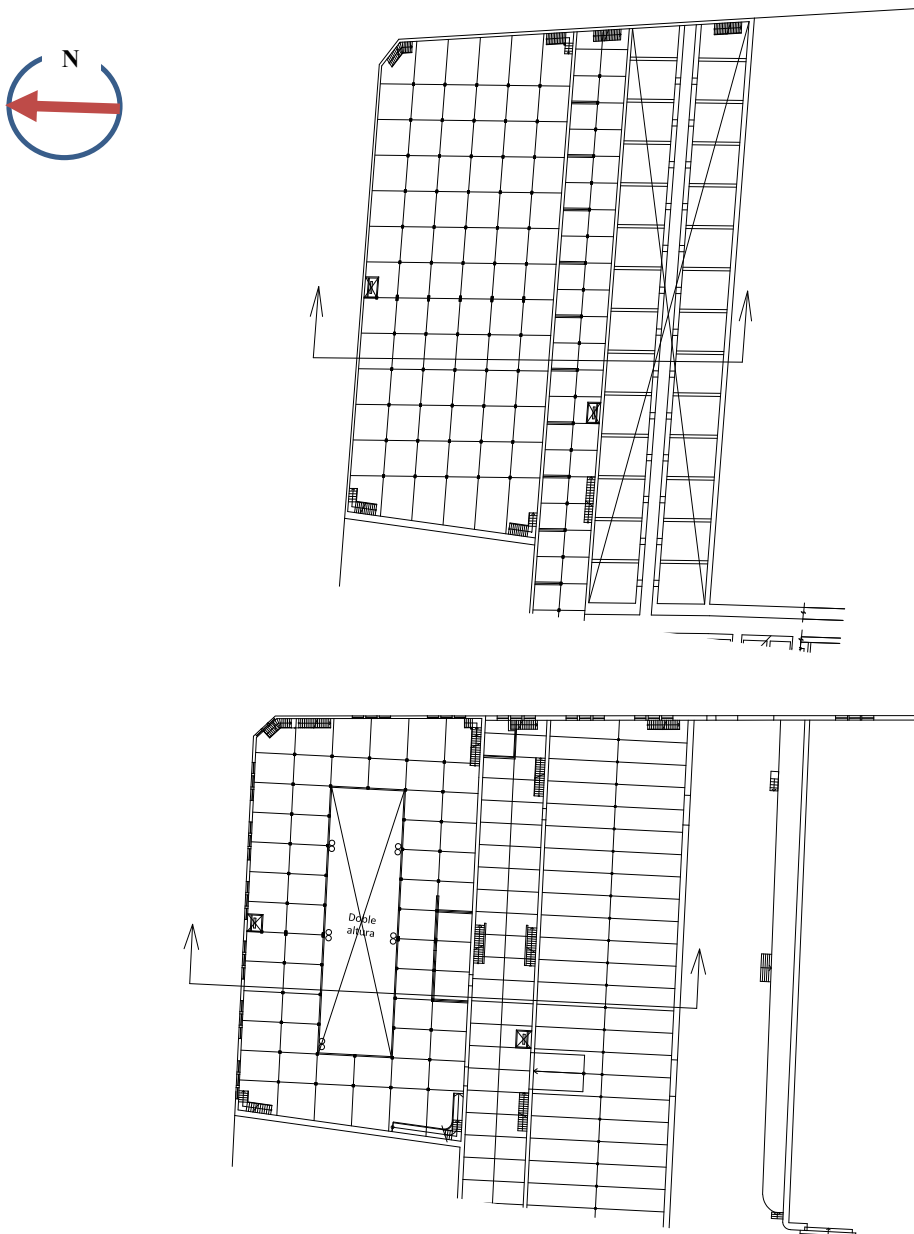


Figura 1: Planta del sector analizado en planta subsuelo (sup.) y planta baja (inf.).

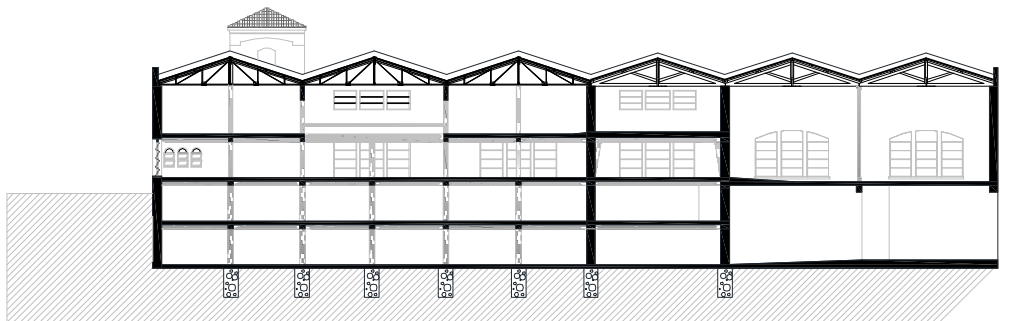


Figura 2: Vista correspondiente a un corte transversal.

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta los resultados de los ensayos de esclerometría con la resistencia a compresión media \pm desviación, la resistencia media \pm desviación ajustadas al nivel de carbonatación medida, la resistencia a compresión de los testigos de hormigón extraídos, y las medidas de la profundidad de carbonatación y la permeabilidad al aire. Se toman muestras de las 12 líneas de pórticos en sentido N-S y de los muros exteriores N-S correspondientes al primer número de la ubicación y de las 5 líneas de pórticos en sentido E-O y de los muros exteriores E-O correspondientes a la letra de la ubicación.

Tabla 1. Resultados de mediciones y ensayos.

Nivel	Ubicación	Índice escleromét. Medio [5]	$f'c \pm \Delta$	$f'c \pm \Delta$ corregida	$f'c$ testigo [6-8]	Prof. carbon. [2]	k_t [3]
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[$10^{-16}m^2$]
	3f -2-O	45	50 \pm 7,5	31 \pm 4,6			332
	3f -2-N	57	70 \pm 8	43,4 \pm 5			16.8
	5b -2-O	44	48 \pm 7,5	30 \pm 4,6			738
	5b -2-N	42	44 \pm 7,5	27 \pm 4,6			NR
	7c-2-N	60	70 \pm 8	43,4 \pm 5			128
	7c-2-O	59	70 \pm 8	43,4 \pm 5			196
	8d				27,4	70	
	9d-2-S	44	48 \pm 7,5	30 \pm 4,6			121
	9d-2-N	45	50 \pm 7,5	31 \pm 4,6			120
	11e-2-E	46	52 \pm 7,5	32 \pm 4,6			101
	11e-2-S	46	52 \pm 7,5	32 \pm 4,6			914
	13b-2-S	46	52 \pm 7,5	32 \pm 4,6			792
	13b-2-E	47	54 \pm 7,5	33,5 \pm 4,6			454
-2	13f-2-O	56	70 \pm 8	43,4 \pm 5			260
-2	13f -2-E	52	64 \pm 8	39 \pm 5			183
	14 de				24,6	70	101
	2-3e-flosa				16,62	80	NR
	3b -1-N	53	68 \pm 8	42 \pm 5			48.5
	3b -1-S	53	68 \pm 8	42 \pm 5			343
	5c -1-E	56	70 \pm 8	43,4 \pm 5			102
	5c -1-S	50	60 \pm 8	37 \pm 5			NR
	8d-1-iN	60	70 \pm 8	43,4 \pm 5			247
	8d-1-dN	53	68,8 \pm 8	42 \pm 5	27,51	70	
	8d-1-E	51	62 \pm 8	38 \pm 5			NR
	8d-1-O	54	68 \pm 8	42 \pm 5			NR
	12e-1-N	56	70 \pm 8	43 \pm 5			122
	12e-1-E	56	70 \pm 8	43 \pm 5			115
-1	13f-1-S	54	68 \pm 8	42 \pm 5			283
	13f-1-E	59	70 \pm 8	43 \pm 5			NR
	5e-0-E	51	62 \pm 8	49 \pm 6,4			NR
0	5e-0-O	50	60 \pm 8	48 \pm 6,4			NR
	6b-0-N	46	52 \pm 7,5	42 \pm 5,2			NR

Nivel	Ubicación	Índice escleromét. Medio [5]	$f'c \pm \Delta$	$f'c \pm \Delta$ corregida	$f'c$ testigo [6-8]	Prof. carbon. [2]	k_t [3]
			[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[10 ⁻¹⁶ m ²]
	6b-0-O	48	56±7,5	49±5,2			NR
	12a				18,75	35	
	12e-0-E	50	60±8	48±6,4			NR
	12e-0-O	60	70±8	56±6,4			NR
	13b-0-N	56	70±8	56±6,4			NR
	13b-0-O	49	58±7,5	46±5,2			77.8
1	5e 1-E	50	60±8	48±6,4			NR
	5e 1-S	45	50±7,5	40±6			NR
	6b 1-E	42	44±7	35±5,6			NR
	6b 1-N	45	50±7,5	40±6			NR
	10b 1-O	41	42±7	33±6			NR
	10b 1-N	44	48±7	38±6			NR
	12e 1-O	44	48±7	38±6			NR
	12e 1-O	46	50±7,5	45±6,4			NR
	13b 1-O	34	30±6,5	24±5,2			74.7
	13b 1-S	36	34±6,5	27±5,2			175

DISCUSIÓN

La resistencia a la compresión del hormigón puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica.

Los ensayos de testigos de los que se dispone son pocos en función de la cantidad de metros cúbicos de hormigón del edificio. Por lo tanto, no se puede sino ser conservador en relación a la resistencia del hormigón a considerar. Si se aplican las consideraciones del reglamento CIRSOC 201 (2005) se encuentra en el punto 4.4.3.1.[4]. Si bien esta verificación no puede ser aplicada a estructuras existentes o a estructuras en construcción en las que se carezca de resultados de ensayos de probetas moldeadas, no deja de ser una guía de referencia importante.

En este caso se considera un control de calidad en Modo 2 de 4.4.3.1. que establece las siguientes relaciones:

$$f'c \text{ testigo} > 0,75 f'c$$

$$f'cm \text{ testigo} > 0,85 (f'c+5 \text{ MPa})$$

La Tabla 2 presenta los resultados de la estimación de la resistencia especificada del hormigón en base a los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de los testigos.

Tabla 2: Resistencia especificada obtenida de los resultados de testigos de hormigón extraídos.

Nivel	Resistencia especificada [MPa]
-2	25
-1	21
0	17

El análisis de los resultados obtenidos de la resistencia a compresión por ensayo de esclerometría presenta valores excesivos respecto a la resistencia a compresión especificada debido a la carbonatación del hormigón de recubrimiento, en especial el correspondiente a los niveles de subsuelo -1 y -2.

Para la condición de durabilidad, la medida del frente de carbonatación entre 70 y 80 mm demuestra que el frente de avance de ataque a las armaduras las alcanza para los niveles -1 y -2, por lo tanto las armaduras presentan corrosión por carbonatación del hormigón para el nivel de resistencia a compresión obtenido de testigos de hormigón, si se compara con el gráfico de la Figura 3 ya que los recubrimientos originales apenas alcanzan los 20 mm.

Para el nivel de planta baja, el frente de carbonatación se encuentra entre 30 y 45 mm por lo que también las armaduras están desprotegidas y presentan corrosión por carbonatación del hormigón, superando el recubrimiento original de 20 mm.

Lo mismo sucede en cuanto a losas donde el frente de carbonatación alcanza los 80 mm frente a los recubrimientos originales de 15 mm.

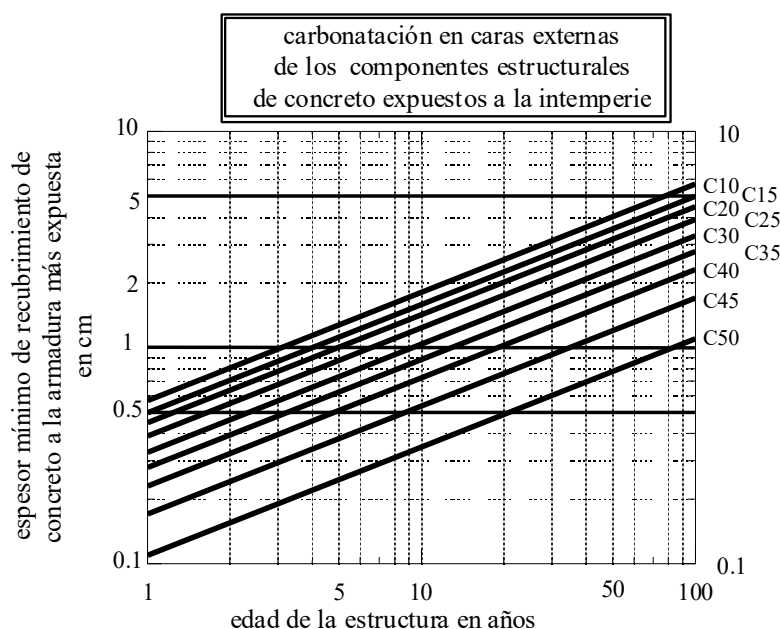


Figura 3: Gráfico que correlaciona la edad de la estructura con el espesor mínimo de recubrimiento para distintas calidades de hormigón [9].

El ensayo de medida de permeabilidad al aire confirma la baja calidad de protección del recubrimiento en todas las ubicaciones evaluadas, variando la permeabilidad entre muy alta y excesivamente elevada de acuerdo a la norma suiza, pero confirma la carbonatación del recubrimiento de la armadura.

RECOMENDACIONES

De la evaluación de los resultados de los ensayos realizados y de las distintas inspecciones realizadas [10], se puede concluir:

- a. Respecto a la construcción de hormigón armado, se trata de una ejecución de muy buena calidad que ha seguido los estándares constructivos y el arte del buen construir de la época. Se observa corrosión en algunos elementos estructurales, debido al ingreso de agua. Respecto a la cubierta, se encuentra prácticamente deteriorada en su totalidad, debido a la falta de mantenimiento y abandono sufrido.
- b. La carbonatación detectada en el hormigón, se debe fundamentalmente al paso del tiempo, se observa que en el subsuelo el estado de carbonatación es mayor, y esta está relacionada con el uso industrial del mismo que generó concentraciones mayores de dióxido de carbono.
- c. Debido a la carbonatación del hormigón, el acero de refuerzo quedó desprotegido frente a la corrosión, que se ha puesto en evidencia en los sectores que han sido afectados por presencia de humedad.
- d. Es factible la recuperación del edificio siempre y cuando se consideren los siguientes aspectos:
 - i. Adecuar la capacidad sismorresistente siguiendo la normativa vigente [11].
 - ii. Realizar la adecuada protección hidráulica a fin de minimizar el ingreso de humedad en los distintos elementos estructurales.
 - iii. Reparar y/o reforzar los sectores de hormigón degradados por corrosión.
 - iv. Reconstrucción de la cubierta superior.
 - v. El estricto control durante la construcción y luego durante la vida útil de los ductos que contengan agua en su interior, tanto en las instalaciones sanitarias, como en el resto de las instalaciones, incendio, climatización, etc. previa detección mediante georadar de cañerías ocultas.
 - vi. Prever que una vez terminada la obra de puesta en valor, se deje en vigencia un plan de revisiones periódicas cada 5 años o luego de algún evento sísmico de importancia a fin de evaluar el estado estructural y tomar las medidas correctivas en forma temprana.

REFERENCIAS

- [1] ACI 201.2R-01 Guía para la Durabilidad del Hormigón. Comité ACI 201, (2001), 59 p.
- [2] CYTED, Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. CYTED, (1998), 208 p.
- [3] Swiss Standard SIA 262/1:2013, Concrete Structures - Supplementary Specifications, Annex E: Air-Permeability on site.
- [4] REGLAMENTO CIRSOC 201, Reglamento argentino de estructuras de hormigón. INTI, (2005). 666 p.
- [5] Norma IRAM 1694, Hormigón de cemento pórtland. Método de ensayo de dureza superficial del hormigón endurecido mediante la determinación del número de rebote empleando el esclerómetro de resorte, (1989).
- [6] Norma IRAM 1551, Hormigón de cemento portland. Extracción, preparación y ensayos de testigos de hormigón endurecido, (2000).
- [7] Norma IRAM 1553, Hormigón de cemento portland. Preparación de las bases de probetas cilíndricas y testigos cilíndricos para ensayo de compresión, (2008).
- [8] Norma IRAM 1546. Hormigón de cemento portland. Método de ensayo de compresión. (2017).
- [9] Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. Manual de diagnosis e intervenció en estructures de hormigó armat, (2000), 153 p.
- [10] CYTED, Manual de reparación, protección y refuerzo de estructuras de concreto. RED REHABILITAR. CYTED, (2007), 741 p.
- [11] REGLAMENTO INPRES-CIRSOC 103, Reglamento argentino de estructuras sismorresistente. Tomo 1. INTI, (2018), 105 p.

