

RELEVAMIENTO DE EDIFICACIONES DE HORMIGÓN EN LA BASE CARLINI, ANTÁRTIDA ARGENTINA

A.Benítez^{*1}, M.Polzinetti^{**2}

*** Unidad Técnica Tecnología del Hormigón.** Construcciones. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Buenos Aires, Argentina. TEFAX (011) 4724-6476. alemir@inti.gob.ar

**** División Tecnología del Hormigón.** Departamento Técnico Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA). Buenos Aires, Argentina. TE (011) 4576-7692. matias.polzinetti@icpa.org.ar

Palabras claves: patologías, permeabilidad, kT, corrosión, congelamiento y deshielo, Antártida Argentina

RESUMEN

El presente trabajo corresponde a una descripción de las principales observaciones, ensayos de campo y conclusiones del estudio de relevamiento y análisis de patologías en las principales estructuras de hormigón de la Base Carlini, en Antártida Argentina. Este estudio fue llevado adelante en la Campaña Antártica de Verano del año 2013 por personal técnico de INTI Construcciones, a pedido de la Dirección Nacional del Antártico. Las patologías detectadas comprendieron principalmente a defectos constructivos, daño por acción cíclica de congelamiento y deshielo en plataformas y plateas de hormigón, y corrosión del refuerzo metálico en estructuras de hormigón armado. Se presenta un resumen de las actividades llevadas a cabo, los ensayos realizados y los resultados obtenidos de la medición in-situ de la profundidad del perfil de carbonatación en el hormigón, y la evaluación de la calidad del recubrimiento mediante la medición de la permeabilidad al aire (kT).

INTRODUCCIÓN

En el año 2013, INTI CONSTRUCCIONES fue convocado por la *Dirección Nacional del Antártico* (DNA) para realizar un relevamiento de las edificaciones emplazadas en la Base Carlini, y elaborar un informe con medidas sugeridas para la remediación de las patologías detectadas. A tal efecto, un equipo integrado por profesionales y técnicos de diferentes especialidades realizó un estudio in situ de los edificios existentes en la Base, comprendiendo a aspectos constructivos, instalaciones eléctricas, provisión de agua potable, manejo de desechos cloacales, instalaciones de protección contra incendios, gestión de los residuos sólidos de la base.

¹ Coordinadora Unidad Técnica Tecnología del Hormigón, INTI Construcciones.

² Coordinador División Tecnología del Hormigón, Departamento Técnico, Instituto del Cemento Portland Argentino

La Base se encuentra localizada en la Isla 25 de Mayo (62°14'18"S, 58°40'00"O), sobre la cuenca del Arroyo Matías, en la zona norte de la Península Potter. Cuenta con 32 estructuras destinadas a diversos usos, situadas mayoritariamente sobre el borde costero, con exposición a la acción de vientos fuertes, alta humedad ambiente, nieve, lloviznas y hielo. Caracteriza a esta Base su emplazamiento en una región de gran biodiversidad, que fundamenta su intensa actividad científica argentina e internacional, para el estudio glaciario, atmosférico, oceanográfico, y de la flora y fauna marina antártica.

En las Tablas 1 y 2 se presentan los valores extremos de clima para el período 2008-2012, y las características de las aguas superficiales y subterráneas de deshielo, respectivamente, según la información recabada en el sitio.

Tabla 1: Valores extremos de clima (2008-2012), según datos de la estación meteorológica local

Parámetro	Registros extremos
Presión atmosférica	Máx: 996,3 mmHg Mín: 968,0 mmHg
Temperatura del aire	Máx: 4,4 °C Mín: - 8,2 °C
Temperatura de bulbo húmedo	Máx: 3,5 °C Mín: - 7,3 °C
Tensión del vapor	Máx: 7,1 hPa Mín: 2,9 hPa
Humedad relativa	Máx: 100 % Mín: 61 %
Temperatura de rocío	Máx: 7,0 °C Mín: - 9,9 °C
Máxima precipitación diaria	11,1 mm
Viento	90 kt (167 km/h)

Tabla 2: Características de aguas de contacto para estructuras de la Base, según ensayos de INTI

Sitio	Temperatura	Salinidad	Conductividad	pH	Turbiedad
Caleta Potter	2,3 °C	32,1 g/dm ³	51,5 miliS/cm	8,05	1,6 NTU
Chorrillo (Vertiente natural)	3,7 °C	< 0,1 g/dm ³	0,115 miliS/cm	8,59	0,45 NTU

El ambiente es de tipo periglaciario, frío y criogénico. Las unidades geológicas detectadas corresponden a volcánicas, marinas, glaciarias y glaci-fluviales, con detección de material granular de tipo glaci-fluvial. Cabe destacar la presencia de rocas afectadas por fenómenos de fractura mecánica por acción cíclica de congelamiento y deshielo, con formación de partículas lajosas y con bordes angulosos. Se encontraron además depósitos de morenas con heterogeneidad granulométrica y mineralógica, y afloramientos de roca volcánica andesítica. Los suelos de fundación son mayormente de tipo granular grueso, con presencia de limo y arcilla subordinada.

ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS

La Base Carlini fue inaugurada en el año 1982 bajo la denominación de Estación Científica Teniente Jubany, bautizada nuevamente en el año 2012 con el nombre del investigador Dr. Alejandro Carlini. La construcción de la Base se desarrolló en forma gradual, con edificaciones de uso habitacional, instalaciones médico-sanitarias, laboratorios de investigación científica, estación meteorológica y de comunicaciones, entre otras. La dotación máxima de personas que habitan la Base en época estival asciende a, aproximadamente, 80.

Las construcciones constan mayoritariamente de infraestructuras de pórticos de hormigón armado, fundados a escasa profundidad respecto a nivel de terreno natural con bases aisladas. La superestructura se integra por estructuras de madera o perfiles de acero laminados, con cerramientos perimetrales conformados por placas de madera, o

paneles mixtos de chapa metálica o madera, combinadas con materiales aislantes (poliestireno expandido o espuma de poliuretano). Las construcciones fueron ejecutadas por las dotaciones de personal militar afectado al mantenimiento de la Base, aunque sin especialización en trabajos de construcción.

Algunos edificios, tales como los denominados “Dallmann” y “Cabildo”, cuentan con una superestructura elevada respecto al nivel del terreno, lo que facilita el paso de viento por debajo de ellas y reduce la acumulación de nieve y hielo sobre los paramentos perimetrales. Otras construcciones, tal como la “casa alojamiento”, se encuentran a nivel del terreno natural, lo que resulta en la acumulación frecuente de “colas de nieve”, con anegamientos permanentes en época invernal y daños sobre el cerramiento.

Los hormigones empleados en la construcción de las estructuras existentes fueron elaborados con las limitaciones evidentes que provienen del empleo de mano de obra no calificada, del uso de equipamiento e insumos inadecuados para las actividades de construcción en este sitio, y la falta de definición técnica apropiada para los proyectos por ejecutar. Estas condiciones han facilitado un deterioro prematuro de las instalaciones de la Base, teniendo en cuenta además que las condiciones de exposición de estas estructuras resulta ser de alta severidad.

Los agregados gruesos y finos empleados correspondieron mayormente a materiales de origen local, aunque se observaron en algunos hormigones de estructuras existentes restos de agregados gruesos livianos (arcilla expandida). El agua de amasado ha provenido, según descripciones del personal de la Base, de los cursos superficiales de agua de deshielo natural, o bien del calentamiento artificial de hielo.

DESCRIPCIÓN GENERAL DE PATOLOGÍAS RELEVADAS

Las condiciones principales de exposición y los factores constructivos predominantes que afectan la durabilidad del hormigón de las estructuras relevadas son los siguientes:

a. Ataques físicos

- Congelamiento durante la mayor parte del año, con presencia de nieve permanente; en el período estival, acción cíclica de congelamiento y deshielo. El deterioro asociado corresponde a descascaramiento superficial y fisuras en el hormigón.
- Mojado y secado: el descongelamiento de la nieve y hielo sobre las estructuras produce contacto frecuente con agua, con secado periódico. Este efecto se acrecienta por la acumulación del agua en superficie, por la presencia de imperfecciones superficiales y falta de pendiente de escurrimiento adecuada.

b. Ataques químicos

- Ambiente marino: exposición superficial a sales presentes en ambiente húmedo (principalmente cloruros), acción cíclica de mojado y secado con agua de mar (con presencia de sulfatos y cloruros) con fluctuaciones de nivel de marea, exposición a viento y salpicaduras frecuentes.
- Lixiviación: proceso de lavado y arrastre hacia la superficie de compuestos presentes en la masa hidratada de cemento, que en contacto con el CO₂ de la atmósfera se traduce en la aparición de eflorescencias blanquecinas.

- Corrosión de las armaduras, bajo procesos combinados de acción física y química.

c. Factores constructivos

- Agregado grueso utilizado: canto rodado, con partículas de forma redondeada y textura suave, y tamaños máximos incompatibles (excesivos) en función a la geometría de los elementos estructurales, a la separación entre armaduras y el espesor de recubrimiento empleados. (Partículas expuestas con tamaños recurrentes superiores a 30 mm).
- Inexistencia o insuficiencia de espesor de recubrimiento para la protección de la armadura.
- Segregación del agregado grueso, incorrecta graduación granulométrica, y/o deficiente diseño de la mezcla de hormigón.
- Compactación inadecuada.
- Curado inexistente, insuficiente o inadecuado.
- Falta de incorporación intencional de aire al hormigón, para prevención del deterioro por congelamiento y deshielo.

En general, los fenómenos de deterioro antes descritos conducen a estados de fisuración, los que favorecen, a su vez, al avance de otros mecanismos con retroalimentación positiva. En las Figuras 1 a 4 se observan algunos ejemplos ilustrativos.



Figura 1. Fisuración por corrosión de barras de refuerzo en vigas de la Casa Principal.



Figura 2. Defectos de compactación en vigas de la Casa Principal.



Figura 3. Rotura de bordes en losas, delaminación, desintegración, y juntas deficientes metálicas.



Figura 4. Sustrato soporte de la Antena con defectos de llenado y deterioro superficial.

ESTUDIO DE LA CALIDAD DEL RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS MEDIANTE ENSAYO KT

Con el propósito de evaluar las características del hormigón de las estructuras de hormigón, fueron llevados a cabo ensayos de determinación in-situ de la permeabilidad al aire del hormigón, velocidad de pasaje de pulso ultrasónico y perfil de carbonatación del hormigón. Dichos trabajos fueron llevados a cabo en los edificios Laboratorio Alemán, Cabildo, Contenedores laboratorio (Módulos Norte y Sur), Casa principal y Laboratorio Argentino.

La evaluación en campo de la profundidad de carbonatación mediante rociado con solución de fenolftaleína sobre el hormigón indicó resultados negativos. Por ello, y teniendo en cuenta las limitaciones al trabajo a la intemperie en el sitio de la Base, se decidió limitar el plan de estudio a la determinación de la permeabilidad al aire (kT) del hormigón de recubrimiento para elementos estructurales de 4 de los edificios antes mencionados. Esta medición permitió valorar la calidad del recubrimiento en cuanto a su aptitud para limitar y/o retardar el avance de agentes agresivos, lo que resultaba ser de particular interés al haberse detectado previamente a la corrosión como fenómeno recurrente y de alta severidad.

Implementación del plan experimental para medición de la permeabilidad al aire

La determinación del coeficiente de permeabilidad al aire (kT) in situ constituye una alternativa confiable para cuantificar la capacidad de transporte de fluidos en sustratos porosos de base cemento, con una determinación no destructiva y mínimamente invasiva. Asimismo, distintos estudios (1) han concluido que el coeficiente de permeabilidad al aire (kT) presenta correlación positiva con otros indicadores de la penetrabilidad de agresivos, tales como lo son el coeficiente de permeabilidad al oxígeno (kO), la velocidad y capacidad de succión capilar, el espesor y la tasa de carbonatación del hormigón, la penetración de cloruros y la profundidad de penetración de agua a presión en el hormigón.

En la evaluación de la permeabilidad a los gases, la temperatura y el contenido de humedad (agua líquida) del sustrato presentan incidencia directa sobre los resultados, sub-valorándolos (2)(3). De acuerdo con los antecedentes técnicos, se recomienda que el contenido de humedad en la masa de hormigón no supere 5,5 % (4). Distintos autores (5) han demostrado que un mayor grado de saturación en agua del sistema de poros del hormigón reduce la capacidad de pasaje de gases, y por lo tanto, conduce a valores de permeabilidad a los gases menores. A pesar de ello, si bien existe consenso en ese sentido, algunos estudios particulares (3) no pudieron alcanzar una definición concluyente sobre el contenido de humedad límite aceptable.

El plan de estudio implementado consistió en la selección al azar de 24 puntos sobre las estructuras seleccionadas, realizando determinaciones sobre 4 a 6 puntos de cada una de ellas. En el caso de las estructuras de mayor volumen, y en aquellas cuyas características fueran visualmente diferentes, se empleó una mayor cantidad de mediciones. Los ensayos se efectuaron de acuerdo con las recomendaciones de la norma SIA 262/1 (4) y las del fabricante del equipo (5). La edad de los hormigones al momento del ensayo fue, en todos los casos, superior a los 2 años.

Las mediciones se llevaron a cabo en puntos sin defectos visibles de compactación, y sin presencia aparente de humedad libre en superficie, a excepción de los casos que se indican en la Tabla 3, para los que esta condición resultó ineludible, por no disponerse de otros sitios más secos en la estructura. Por cada punto se efectuaron 2 a 3

determinaciones, posicionándose la celda sobre cada punto previamente seleccionado e identificado, con una distancia mayor que 15 cm respecto a bordes y aristas de los elementos estructurales. En todos los sitios de medición, se garantizaron espesores de recubrimiento de 20 a 35 mm. Cuando fue necesario, se corrigió la lectura final del equipo a la correspondiente del espesor de recubrimiento de hormigón.

Con anterioridad al uso del equipo en cada jornada de trabajo, se efectuó su acondicionamiento previo mediante una placa de policarbonato por al menos 10 min, más 2 procedimientos de calibración en el lugar. Se verificó no superar 5 mbar como presión final en cada instancia de calibración, ni detectar una diferencia entre calibraciones de más de 0,5 mbar para cada escalón. Durante todo el proceso, se protegió al instrumento de la exposición directa de la radiación solar.

Algunos de los elementos estructurales evaluados se encontraban recubiertos con pintura bituminosa asfáltica (Casa Principal y Edificio Dallmann), o de tipo látex (Cabildo). En consecuencia, los resultados de permeabilidad al aire que se informan contienen menciones que identifican aquéllos que corresponden a sectores con revestimiento superficial.

Al respecto de las condiciones ambientales al momento de la ejecución del ensayo, algunas especificaciones (4) señalan que es recomendable que la temperatura del elemento constructivo se encuentre por encima de los 10 °C, con posibilidad de admitirse hasta 5 °C para personal experimentado en el uso del equipo. Jacobs et al (3) han referido que las medidas de permeabilidad al aire por debajo de los 5 °C conducen a resultados más bajos que los obtenidos a temperaturas templadas. En cada ensayo se determinó la temperatura ambiente y de la superficie del hormigón, adoptándose como límite inferior aceptable para cada determinación a los 5 °C en el hormigón.

Durante la ejecución de cada ensayo se controló la evolución de la relación entre el incremento de presión efectiva en la recámara central interior de la celda de medición y el tiempo, observándose un desarrollo lineal “normal”. De acuerdo con los antecedentes técnicos del equipo (5), una correlación “no lineal” es un indicio de heterogeneidad en el sustrato (como cambios en la porosidad o permeabilidad a distintas profundidades), o bien de una desigual distribución de la humedad y/o la temperatura, o presencia de recubrimientos o microfisuración superficial.

Los resultados informados para cada punto provienen del cálculo de la media geométrica entre valores individuales, pues ello que permite atenuar la incidencia de resultados individuales extremos. Este criterio también responde a que la distribución de datos en mediciones de la permeabilidad al aire del hormigón se ajusta a una distribución logarítmica (5).

En la Tabla 3 y en la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos, ordenados según su localización y existencia de revestimiento en el sitio de análisis. Asimismo, se incluye una referencia a la calificación de la calidad del recubrimiento en función al criterio establecido en (7), que resulta, con excepción al caso del Edificio Dallmann en áreas con revestimiento bituminoso superficial, de nivel “pobre”.

Los valores que se informan con fondo sombreado fueron descartados por observarse influencia del contenido de humedad sobre el resultado de ensayo, mientras que en los restantes se detectaron diferencias apreciables entre valores individuales (de 1 o 3 órdenes de magnitud). En los casos de dispersión elevada, no fue informado el valor promedio, aunque se presume que valores sensiblemente bajos correspondieron a elevados contenidos de humedad en el punto de medición, o bien a lecturas efectuadas en un entorno de temperatura próximo al límite inferior admisible (Ver C-R-2 y ED-NR-3),

dato que coeficientes kT menores a 1.10^{-16} m^2 , no resultan razonables en función a los métodos constructivos empleados, descriptos precedentemente.

Tabla 3: Resultados de permeabilidad al aire en estructuras de Base Carlini

Edificio	Recubrimiento superficial	Id.	T _{amb} [°C]	T _H [°C]	kT _i [$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$]	kT _{prom} [$\cdot 10^{-16} \text{ m}^2$]	Calificación del calidad del recubrimiento(10)
Casa Principal	NO	CP-NR-1	6,0	9,0	0,6	6,0	Bajo / Pobre
		CP-NR-2	5,0	10,0	3,1		
		CP-NR-3	4,0	9,0	5,9		
		CP-NR-4	4,0	10,0	12,0		
		CP-NR-5	5,0	10,0	0,062 (+)		
	SI	CP-R-1	4,0	9,0	6,0	4,2	Bajo / Pobre
Cabildo	NO	C-NR-1	4,0	7,0	0,016	----	----
		C-NR-2	4,0	6,0	4,2		
	SI	C-R-1	3,0	7,0	4,5	---	----
		C-R-2	2,0	6,0	0,9		
Edificio Dallmann	NO	ED-NR-1	4,0	8,0	<0,001	5,1	Bajo / Pobre
		ED-NR-2	9,0	8,0	5,1		
		ED-NR-3	3,0	7,0	0,12		
	SI	ED-R-1	4,0	7,0	0,052	0,08	Muy buena
		ED-R-2	7,0	9,0	0,34		
		ED-R-3	5,0	8,0	0,03		
Laboratorio Argentino	NO	LA-NR-1	6,0	8,0	3,72	2,88	Bajo / Pobre
		LA-NR-2	6,0	8,0	0,023 (+)		
		LA-NR-3	7,0	10,0	2,23		
		LA-NR-4	8,0	11,0	0,006 (+)		
		LA-NR-5	4,0	8,0	0,05 (+)		
		LA-NR-6	3,0	8,0	0,01 (+)		

Referencias: (+) Sustrato de hormigón húmedo al tacto al momento de la determinación

En el análisis comparado de mediciones en las que presentaba pintura bituminosa, se observa baja interacción en los resultados, a excepción del edificio Dallmann, para el que las diferencias resultan más apreciables. Para el caso del Cabildo, en el que la pintura era tipo látex, se infiere una escasa incidencia sobre la permeabilidad al aire del sustrato.

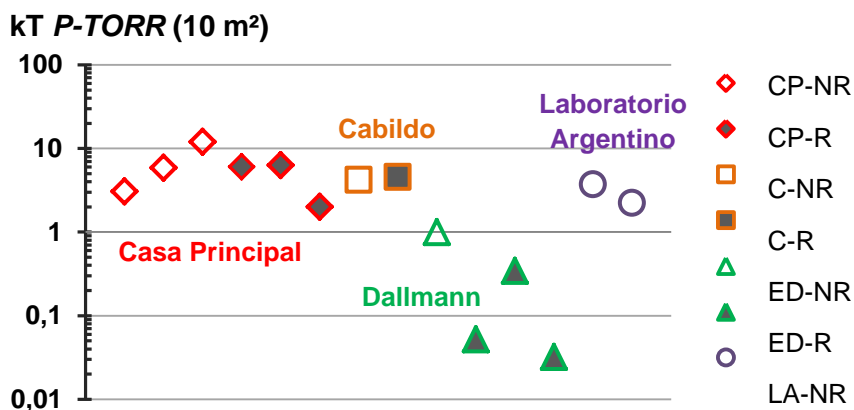


Figura 5: Resultados de permeabilidad al aire (kT) en estructuras de Base Carlini

CONSIDERACIONES FINALES

Las estructuras de hormigón evaluadas presentan patologías y deterioros que pueden agruparse en ataques físicos como congelamiento y deshielo, mojado y secado, ataques químicos como presencia de agua de mar, lixiviación por aguas puras, corrosión de las armaduras, deficiencias en los materiales, diseño de mezclas y construcción, debido a la dificultad de planificación en condiciones climáticas y de recursos adversas.

El fenómeno de carbonatación no se manifiesta como causa del principal deterioro de corrosión en armaduras, dado que no se detectó en las muestras tomadas.

Asimismo la aplicación del método de ensayo de determinación de la permeabilidad al aire presentó un adecuado desempeño bajo las condiciones climáticas de uso, con baja temperatura ambiente, permitiendo confirmar, en general, una baja calidad del recubrimiento, lo que permite prever una limitada duración de la integridad de las estructuras.

A modo de resumen general, los procedimientos de reparación deberían comprender el retiro del espesor de recubrimiento en áreas con pobre adherencia, recuperar la pasivación de armaduras (con posibles reemplazos o empalmes de nuevas barras en sitios en los que se requiera, y protección con revestimientos de base cemento o industriales específicos), y restituir barras de acero en casos de pérdida de sección según las dimensiones requeridas.

REFERENCIAS

- (1) Torrent R.J., "Non-destructive site air permeability test (SIA 262/1-E Standard Method) Relation with other transport test methods", M-A-S Materials Advanced Services, disponible on line en: <http://www.m-a-s.com.ar/pdf/kT%20vs%20Transport%20Properties.pdf>
- (2) Fernandez Luco L., "Ensayos de desempeño in situ", Taller Internacional de la microestructura al diseño por vida útil, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2 al 5 de noviembre de 2015, M8.
- (3) Jacobs F., Hunkeler F., "Air permeability as a characteristic parameter for the quality of cover concrete", International Conference in honour of Prof. A. Long and Prof. J. Bungey, The Concrete Platform (2007).
- (4) SIA 262/1:2013 "Concrete Structures - Supplementary specifications", Swiss Society of Engineers and Architects (2013)
- (5) Torrent R.J., "Recommendations for quality control of concrete with air-permeability measurements", M-A-S Materials Advanced Services (2010), disponible on line en: <http://www.m-a-s.com.ar/pdf/Swiss%20Recommendations%20for%20site%20measurement%20Ch%201%20and%202%20and%20Annex%20D.pdf>
- (6) Torrent R.J., "Justification of the reduction of kT test's maximum duration", M-A-S Materials Advanced Services (2010), disponible on line en: <http://www.m-a-s.com.ar/pdf/Justification%20of%20kT6.pdf>
- (7) Denarié E, Jacobs F, Leeman A, Teruzzi T, Torrent R, "Specification and site control of the permeability of the cover concrete: the swiss approach", RILEM Workshop Durability, Swiss Federal Institute of Technology in Zurich (ETHZ), 17 al 18 de abril de 2012, página 15, disponible on line en: <http://www.m-a-s.com.ar/images/events/RILEM%20Workshop%20Durability%20ETHZ.pdf>.