

ZEOLITA COMO PUZOLANA EN HORMIGONES, COMPORTAMIENTO ANTE INDICADORES DE DURABILIDAD POR CORROSIÓN.

Bárbara Belén Raggiotti (belenraggiotti@gmail.com); Ángel Oshiro (oshiroangel@gmail.com); Malena del Valle Monetti (malenammonetti@gmail.com); María Soledad Gómez Lorenzini (mgomezl@uc.cl); Rosa Carina Andrada (rosacarinandrada@gmail.com)

Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Construcción Civil (PUCC) - Arg.
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN-FRC) - Arg.

Palabras clave: durabilidad, corrosión, hormigón, zeolita.

El hormigón es un material extremadamente complejo y su comportamiento en servicio depende de los materiales utilizados, de los procesos de elaboración, de la estructura de la cual forma parte y del medio ambiente que lo rodea. En las estructuras de hormigón armado el proceso de degradación más frecuente es la despasivación y posterior corrosión de las barras de acero de la armadura. Ello puede producirse por dos procesos: la carbonatación del hormigón de recubrimiento y/o la presencia de iones cloruro.

La carbonatación es un proceso químico en el cual el CO₂ atmosférico difunde y penetra en los poros capilares del hormigón donde se combina formando carbonatos provocando la neutralización de la pasta de cemento y posteriormente la corrosión.

Por otra parte cuando los cloruros en el líquido de poros superan una cierta concentración denominada umbral crítico, la película pasiva formada sobre la superficie del metal, se altera. Esto da origen a la formación de una celda electroquímica en la cual el área alterada actúa como ánodo, iniciándose el proceso de corrosión.

La durabilidad del hormigón está vinculada con la capacidad de transporte de soluciones a través de la red de capilares, y para reducirla puede recurrirse a los materiales puzolánicos adicionados a las mezclas de hormigón que disminuyen la porosidad y aumentan la durabilidad. Por lo tanto, la primera línea de defensa contra la corrosión es la disminución o el impedimento de la penetración de agua, oxígeno, dióxido de carbono y sales de la superficie de hormigón hacia la armadura.

Este trabajo presenta los resultados en hormigones con remplazo parcial del cemento por zeolita, ante parámetros de durabilidad relacionados al deterioro por corrosión. Se evaluó resistencia a compresión, absorción, capacidad y velocidad de succión capilar, permeabilidad al aire y profundidad de penetración de cloruros y de carbonatación.

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras de hormigón generalmente se diseñan para una vida en servicio de 50 años, sin embargo muchas estructuras en ambientes urbanos y marinos comienzan a deteriorarse al cabo de 10 a 20 años o en algunos casos a menor edad (Irassar, 2012). El hormigón, por su parte, es un material extremadamente complejo y su comportamiento en servicio depende los materiales utilizados, de los procesos de elaboración, de la estructura de la cual forman parte y del medio ambiente en la cual se encuentra emplazada.

Teniendo en cuenta los crecientes problemas de degradación prematuros observados en las estructuras, las nuevas necesidades competitivas y las exigencias de sustentabilidad en el sector de la construcción civil, se observa que en las últimas dos décadas existe una tendencia mundial a privilegiar los aspectos de proyecto referentes a la durabilidad y a la

extensión de la vida útil de las estructuras de hormigón armado (Farias de Medeiros et al., 2011).

La durabilidad del hormigón está vinculada con la capacidad de transporte de soluciones a través de la red de capilares. Ésta puede reducirse utilizando materiales puzolánicos adicionados a las mezclas de hormigón con cemento pórtland ya que reaccionan con la portlandita formando nuevos silicatos de calcio hidratados, disminuyendo la porosidad y en consecuencia aumentando la durabilidad de las estructuras de hormigón (Raggiotti et al., 2013).

La zeolita, dado su carácter de puzolana favorece el proceso de hidratación del cemento a largo plazo, como consecuencia de su mayor capacidad de intercambio catiónico que otras puzolanas naturales y su estructura porosa que retiene agua, por lo que en estado endurecido, contribuye a mejorar las resistencias a compresión como producto de su actividad puzolánica y del refinamiento de los poros (Raggiotti et al., 2012). Las potenciales desventajas de la aplicación de las zeolitas naturales pueden ser atribuidas al hecho común relativo a la mineralogía, dado que en general son mezclas minerales donde la fase zeolítica suele ser un constituyente variable.

Pereira (2001), destaca que los principales factores que determinan la formación de la estructura de poros del hormigón, que tiene influencia en la facilidad con que los fluidos, líquidos o gases penetran y se transportan en el hormigón, son el tipo de cemento, la relación agua/cemento, el grado de hidratación, el tenor y tipo de adición y la presencia de microfisuras o fisuras.

En los hormigones armados, la durabilidad frente a procesos de corrosión de armadura depende de la clase de exposición que induce en la armadura procesos de corrosión. Éstos pueden ser procesos de carbonatación y/o procesos que tienen su origen en la actuación de cloruros.

La carbonatación es un proceso químico en el cual el CO₂ atmosférico (~0.03 % en volumen), difunde y penetra en los poros capilares del hormigón donde se combina con el agua presente formando ácido carbónico (H₂CO₃), el cual reacciona con los hidróxidos alcalinos de sodio, potasio y calcio, formando carbonatos (Da Silva et al., 2009), disminuyendo el pH hasta valores menores a 9. En consecuencia, provoca la neutralización de la pasta de cemento y posteriormente la corrosión de la armadura. Este mecanismo de reacción está controlado por un paso difusional, a una velocidad tal que se requieren años para observar el fenómeno por condiciones naturales de exposición (Raggiotti et al., 2018)

La reacción de carbonatación comienza en las capas superficiales y avanza progresivamente para el interior del hormigón. La pasivación está asegurada mientras el pH no baje de 9.

Por otra parte, el proceso de corrosión también puede iniciarse como consecuencia del ingreso de iones cloruros. Cuando el hormigón alcanza ciertos niveles críticos de elementos corrosivos en sus estructura, el acero de la armadura se despasiva dando lugar al proceso de corrosión, generando reacciones expansivas, con material que es de 2 a 10 veces más voluminoso que el acero original. Este fenómeno genera tensiones que cuando sobrepasan la tensión de tracción del hormigón circundante provoca su agrietamiento y fragmentación (Vera et al., 2013).

Los cloruros pueden incorporarse al hormigón con los materiales componentes y por procesos de transporte (difusión, permeabilidad, absorción capilar) cuando el material se encuentra expuesto a atmósferas, aguas, o suelos húmedos que los contengan. Los iones cloruros, se trasladan a través de los poros capilares del hormigón húmedo, siendo capaces

algunos de ellos (los cloruros ligados) de fijarse, ya que el hidróxido de calcio tiene capacidad química y física para que esto ocurra (Traversa, 2012).

Evidentemente, aquellos hormigones con poco recubrimiento, permeables o porosos, son más propensos a la oxidación de las armaduras ya sea por carbonatación o por cloruros.

Por lo que, al incorporar a los hormigones zeolita; la estructura rugosa y porosa de ésta, así como su gran área superficial, crean una estructura de la pasta de las mezclas que contienen formas y vacíos más complejos que la mezcla referencia causados por el crecimiento de la estructura cristalina en todas las direcciones (Yilmaz et al., 2007). Éste fenómeno en general, se manifiesta en una microestructura de la pasta de cemento más compacta y menos porosa y por ende menos propensa a la oxidación de las armaduras en estructuras de hormigón realizadas con estas mezclas.

Considerando los conceptos anteriores, en este trabajo se presentan los resultados del diseño, elaboración y evaluación de hormigones con la incorporación de un material no tradicional, la zeolita, como reemplazo parcial de parte del cemento, ante parámetros de durabilidad relacionados con el deterioro por corrosión.

2. OBJETIVOS

Se plantea como objetivo general analizar el comportamiento de hormigones estructurales que tienen zeolita en reemplazo parcial de cemento ante parámetros indicadores de durabilidad relacionados con fenómenos de corrosión de armaduras.

Los objetivos específicos son determinar:

- Resistencia a compresión a 7, 28 y 90 días
- Capacidad de absorción del hormigón endurecido
- Capacidad y velocidad de succión capilar
- Permeabilidad al aire
- Profundidad de carbonatación
- Profundidad de penetración de cloruros

3. PLAN EXPERIMENTAL

3.1. Materiales

Los materiales utilizados son de la provincia de Córdoba, Argentina, a excepción de la zeolita que es procedente de la zona de Pagancillo, en la provincia de La Rioja, Argentina.

3.1.1. Cemento

Se utilizó cemento Pórtland compuesto, resistencia mínima de 40 MPa a los 28 días y densidad de 3,10 kg/m³.

3.1.2. Zeolita

La zeolita es un mineral con Al₂O₃ y SiO₂ reactivos, con propiedades puzolánicas. Tiene una densidad de 2,13 kg/m³ y una Superficie Específica Blaine de 234 m²/kg. Su granulometría es heterogénea con 40.62% de partículas de tamaño mayor a 1000 µm, y 59.38% de partículas con tamaño menor o igual a 1000 µm. En la tabla 1 se presenta la composición química del material zeolítico determinado por fluorescencia de rayos X. En la figura 1 se presenta el patrón de DRX de la zeolita y en la figura 2, una imagen mediante SEM de los cristales laminares de zeolita.

Tabla 1. Composición química (%) del material puzolánico determinada por FRX (LOI: Pérdida de ignición)

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	S	Total
------------------	------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----	-----	-----	-------------------	------------------	-------------------------------	-----	---	-------

59,81	0,19	14,32	1,04	0,01	0,83	5,50	5,76	1,36	0,02	7,47	3,36	99,67
-------	------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

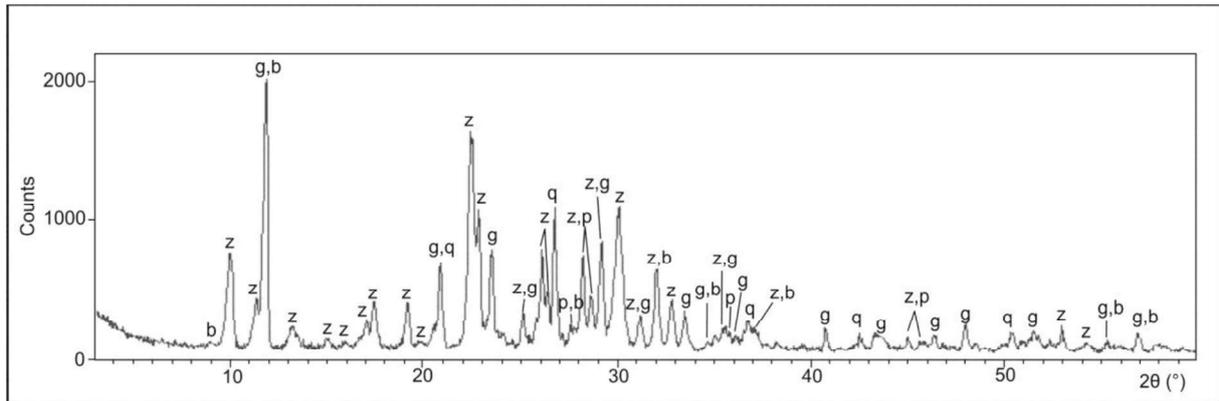


Figura 1. Patrón de difracción del material puzolánico.

z: zeolita, g: yeso, p: plagioclasa, b: biotita, q: cuarzo.

Mediante DRX se determinó que el material zeolítico corresponde a una mezcla de minerales, donde la zeolita es la fase predominante. De acuerdo con la identificación de minerales por DRX que se presentan en la figura 1 y la determinación de porcentaje semi-cuantitativa de fases minerales por el método RIR propuesto por Chung (1974), la muestra se compone principalmente de zeolita de la serie de clinoptilolita-heulandita (51%), yeso (13%), albita (17%), biotita (10%) y cuarzo (9%).

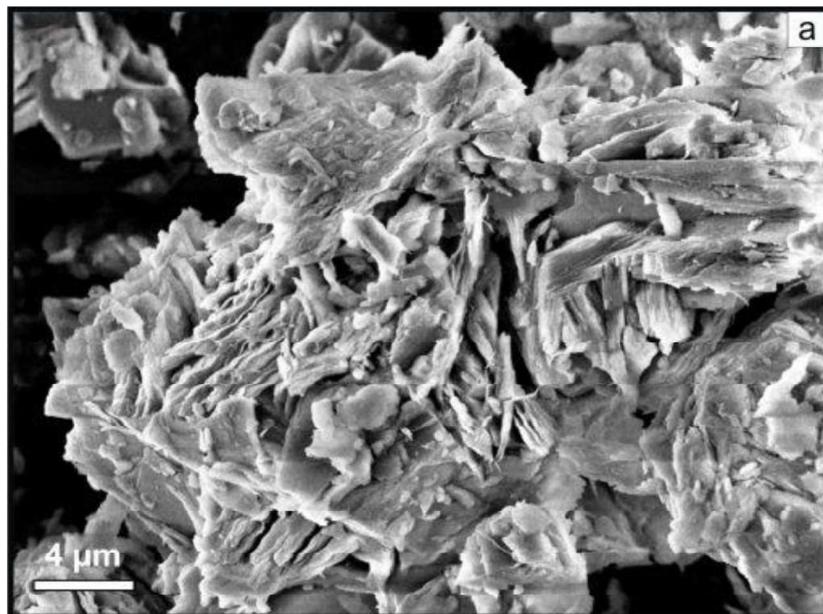


Figura 2. Imagen mediante SEM de los cristales laminares de clinoptilolita-Na.

3.1.3. Agregado Grueso

El agregado grueso es una piedra partida de tamaño máximo de 19 mm, con una densidad relativa de 2,68, una absorción de 0,8% y una granulometría continua. En la figura 3 se presenta la granulometría del agregado grueso.

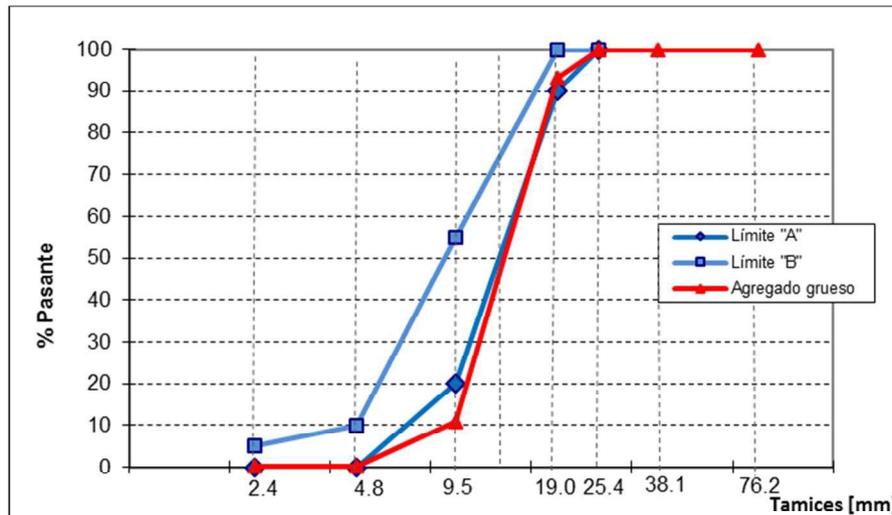


Figura 3. Granulometría agregado grueso

3.1.4. Agregado Fino

El agregado fino es una arena mezcla que cumple con curvas límites de norma. El módulo de fineza es de 3,10, con una densidad relativa de 2,68 y una absorción de 1,0%. En la figura 4 se presenta la granulometría del agregado fino.

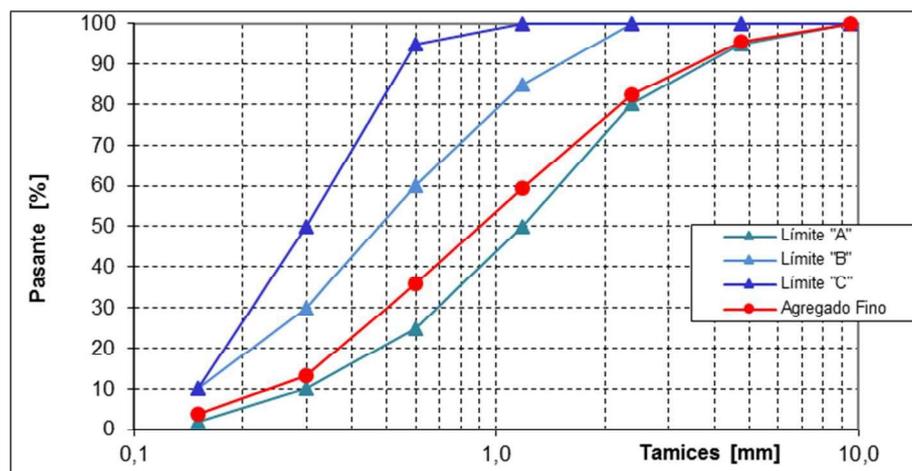


Figura 4. Granulometría agregado fino

3.1.5. Aditivo

El aditivo empleado fue un plastificante para hormigón de base química de lignosulfonatos que cumple con norma IRAM 1663 (2002) y con los requisitos ASTM C494 (1999) para aditivos tipo A, reductores de agua. La dosis utilizada fue de 0.35% de peso de material aglomerante (cemento más zeolita).

3.1.6. Agua

Se utilizó agua de red que cumple con los requisitos establecidos en el Reglamento CIRSOC 201 y en la norma IRAM 1601 (2012).

3.2. Dosificación

En la tabla 2 se presentan las dosificaciones. Los distintos hormigones corresponden a distintos porcentajes de reemplazo de cemento por zeolita natural. Se designó cada mezcla con dos letras y un número. La primera letra es la "Z" que corresponde a zeolita, la segunda letra hace referencia al tipo de cemento empleado, C para cemento compuesto. El número indica el porcentaje de reemplazo en peso de cemento por zeolita en la mezcla.

Tabla 2. Dosificación de materiales para un m³ de hormigón

Material	ZC0	ZC5	ZC10	ZC15	ZC20
Cemento [kg]	450,0	427,5	405,0	382,5	360,0
Agua [kg]	185,0	185,0	185,0	185,0	185,0
Zeolita [kg]	0,0	22,5	45,0	67,5	90,0
Agregado Grueso [kg]	980,0	975,0	970,0	965,0	960,0
Agregado Fino [kg]	847,0	842,0	838,0	834,0	829,0
Aditivo plastificante [kg]	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Relación a/c	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51
Relación a/ma	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

3.3. Ensayos

3.3.1. Resistencia a compresión axial

La resistencia a compresión axial fue evaluada entendiendo que es la propiedad más empleada para el cálculo de estructuras y el control de calidad por los proyectistas e ingenieros y es una referencia del material en la industria de la construcción. Se evaluó la resistencia a compresión según norma IRAM 1546 (2013).

3.3.2. Capacidad de absorción

La absorción como parámetro, implica la capacidad que tiene el material de retener agua. Al ser el hormigón un material poroso, tanto el volumen, tamaño y distribución de los poros y sus características, regulan la rapidez con que el hormigón absorbe agua y otros líquidos o gases y su permanencia en los mismos. Se determinó la absorción de los hormigones en estado endurecido a los 28 días según norma ASTM C642 (2013).

3.3.3. Capacidad de succión capilar

La capacidad de succión capilar del hormigones un parámetro asociado con la durabilidad de las estructuras de hormigón. Se determinó estas propiedades según norma IRAM 1871 (2004).

3.3.4. Permeabilidad al aire

La permeabilidad al aire mide el aire presente en los poros del hormigón. Una medida de permeabilidad al aire alta implica una gran cantidad de aire en los poros, es decir un gran volumen de poros. Por lo tanto, la permeabilidad al aire en hormigones nos brinda información sobre la porosidad de esos hormigones; esto hace importante medir este parámetro como indicador de la durabilidad del material. Se determinó la permeabilidad al aire según norma Suiza SIA 262/1-E (2003) y con el equipo Permea-TORR.

3.3.5. Profundidad de carbonatación

La profundidad de carbonatación se determinó a través del método colorimétrico que utiliza una solución de fenolftaleína. La carbonatación fue medida en los hormigones luego de ser expuestos a una cámara de carbonatación acelerada, saturada en CO₂ con temperatura y humedad controlada (20°C y 50-60%).

3.3.6. Penetración de cloruros

Los hormigones se expusieron a una solución de agua de mar y se midió la profundidad de penetración de cloruros según método colorimétrico de teñido con solución de nitrato de plata.

La profundidad de penetración se observó en láminas de probetas de 1,0 cm de espesor que, luego de aplicarles una solución de nitrato de plata, dejarla reaccionar por un minuto y posterior rociado con dicromato de potasio adquirieron una coloración color terracota ante la ausencia de cloruros, y una coloración blanca amarilla ante la presencia de cloruros.

4. RESULTADOS

A continuación se presenta lo siguiente:

- Figura 5: Resistencia a compresión axial a 7, 28 y 90 días.
- Tabla 3: Absorción, velocidad de succión capilar y permeabilidad al aire a los 28 días.
- Figura 6: Capacidad de succión capilar a los 28 días.
- Figura 7: Profundidad de carbonatación a 24, 48 y 120 hs después de estar en cámara de carbonatación acelerada.
- Figura 8: Cambio de coloración de las muestras por presencia de cloruros.

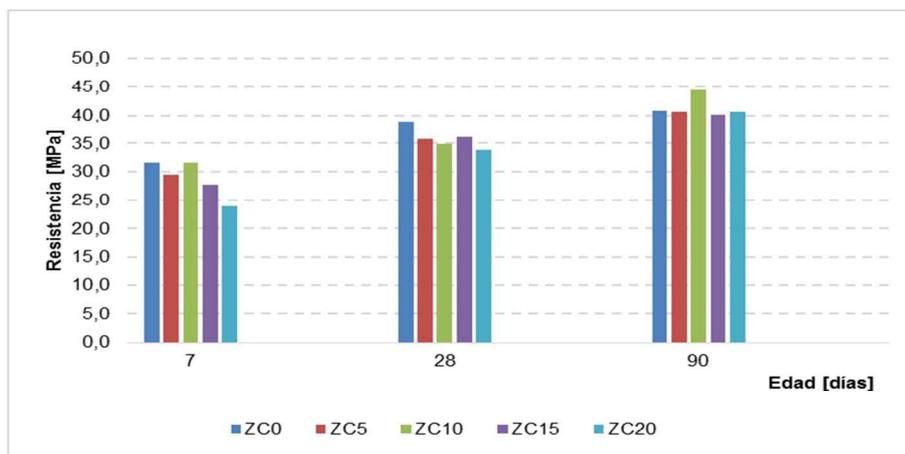


Figura 5. Resistencia a compresión

Tabla 3. Absorción, velocidad de succión capilar y permeabilidad al aire

	ZC0	ZC5	ZC10	ZC15	ZC20
Absorción [%]	6,7	7,3	7,9	6,7	7,3
Velocidad de succión capilar [gr/m ² .seg ^{1/2}]	28,3	33,2	34,1	35,9	34,4
Permeabilidad (kT) [.10 ⁻¹⁶ .m ²] y tipo de permeabilidad	1,275 Alta	1,160 Alta	1,500 Alta	1,255 Alta	1,225 Alta

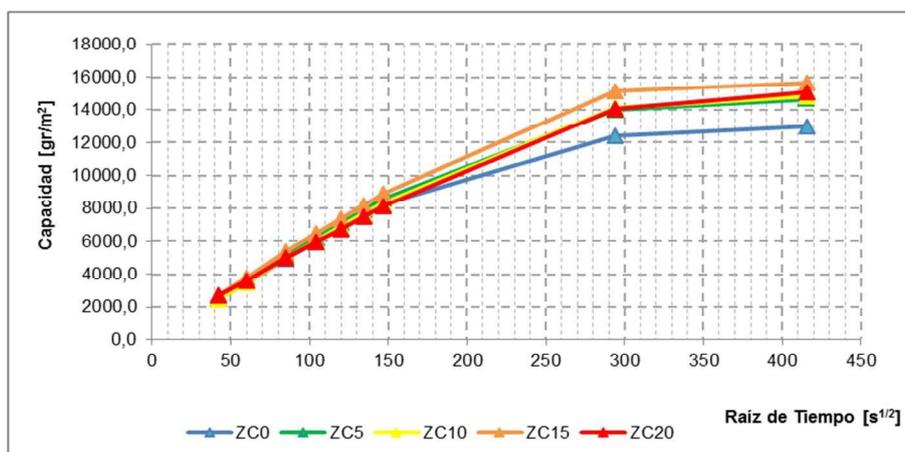


Figura 6. Capacidad de succión capilar

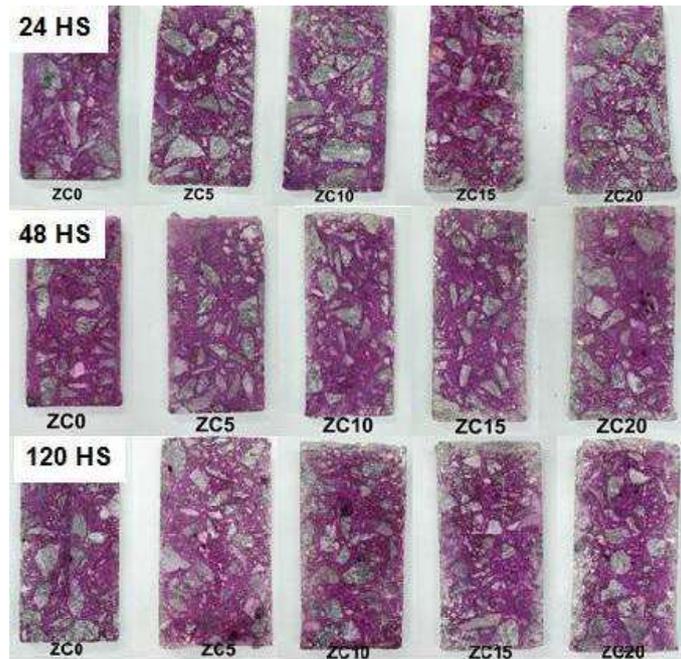


Figura 7. Probetas sometidas a carbonatación acelerada

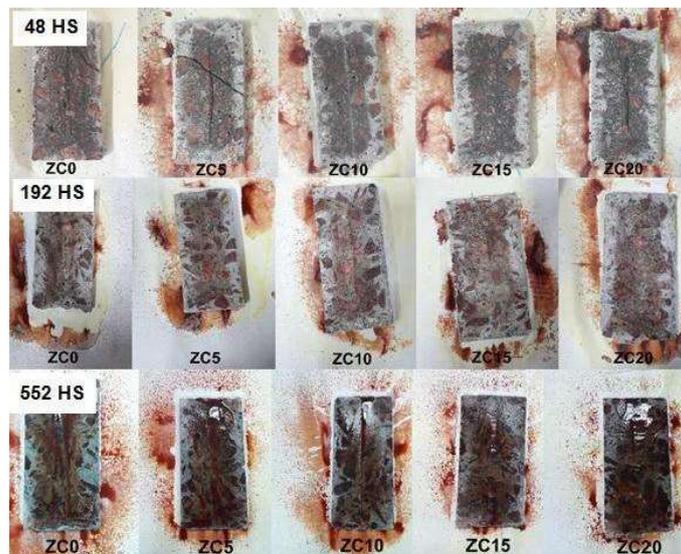


Figura 8. Probetas expuestas a cloruros

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A los 7 días la resistencia a compresión de todas las mezclas alcanza o supera los 24 MPa, siendo el mínimo valor el de la mezcla ZC20 de 24 MPa y el valor máximo de 31,6 MPa (ZC0), es decir una diferencia del 24,5%. A los 28 días la diferencia entre hormigón referencia (ZC0) y hormigón con máximo reemplazo (ZC20) es de sólo 13,1%, evidenciándose la acción puzolánica de la adición en el tiempo. Siendo esta aún mayor a los 90 días donde la diferencia es apenas el 0,6%. Se destaca que con un reemplazo del 20% de cemento por zeolita natural a los 90 días se alcanza un hormigón con una resistencia característica de 40,6 MPa. Analizando la ganancia de resistencia por kilo de cemento a los 90 días, para el ZC0 es de 0,09 MPa/kg y para el ZC20 de 0,11 MPa/kg, demostrando la mayor ganancia de resistencia en el tiempo en relación al consumo de cemento.

Los resultados de absorción de los hormigones con zeolita presentan valores similares entre sí. Con una máxima variación entre valores mínimos (ZC0) y máximo (ZC10) de 14,5%.

En cuanto a la capacidad de succión en los hormigones, éstas fueron similares entre sí, y con un incremento a mayor porcentaje de reemplazo de zeolita hasta el 15%. Para ZC20 la capacidad de succión (7027 gr/m^2) se encontró entre los valores del ZC5 (6985 gr/m^2) y ZC10 (7069 gr/m^2). Las velocidades de succión capilar resultaron todas superiores al límite fijado por CIRSOC 201(2005) de $4,0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$ para hormigones de estructuras que estarán sometidas a las clases de exposiciones A2, A3, CL, M1, M2, M3, C1, C2, Q1, Q2 y Q3.

Analizando la profundidad de carbonatación, se observa que cuando se aplica la solución de fenolftaleína, en general, existe una zona perimetral no coloreada y la zona interior que ha cambiado de color, aún no carbonatada. La profundidad de penetración promedio de la carbonatación acelerada en los distintos hormigones al resultar poco uniforme y a la vez nula en muchos casos, provocó que se realice un análisis cualitativo de las muestras. Se observó un aumento de la profundidad al aumentar el porcentaje de reemplazo de cemento por zeolita; a su vez se evidenció el mismo aumento a mayor tiempo de exposición al CO_2 .

A medida que se incrementa el porcentaje de zeolita, aumenta el frente carbonatado debido a la presencia de mayores cantidades de hidróxido de calcio en la adición, posible de reaccionar para formar el frente carbonatado. Estos resultados concuerdan con los expuestos por Dopico Montes de Oca et al. (2009). Cabe destacar que las reacciones puzolánicas pueden reducir la reserva alcalina debido al consecuente consumo de hidróxido de calcio, que es importante para resistir la carbonatación (Pazini Figueiredo y Rocha Meira, 2011).

El estudio de la penetración de cloruros por absorción presentó similar comportamiento que los resultados de absorción y capacidad de succión capilar. A mayor porcentaje de reemplazo mayor profundidad de penetración alcanzada por los cloruros. Lo que no se observa es una mayor profundidad de penetración a mayor tiempo de exposición, al menos para los tiempos de ensayos analizados. Se destaca que en ningún caso se alcanzó una penetración mayor a 1,5 cm. Por lo tanto la protección a la armadura se encuentra aún garantizada al no alcanzarse el espesor de recubrimiento mínimo.

- De los resultados analizados, se desprende que:
- La presencia de la adición modifica las propiedades relacionadas a la permeabilidad del material. Si bien no las cambia de manera sustancial, denota que se produce una modificación de la porosidad del material al incrementarse el reemplazo de la zeolita por cemento en los hormigones.
- Teniendo en cuenta lo expuesto por Pereira (2001), se confirma como la estructura de poros en el hormigón se encuentra afectada por el tenor y tipo de adición presente. Se considera importante seguir estudiando el comportamiento ante la incorporación de la zeolita como adición y no como reemplazo. Lo cual podría llevar a estructuras de pastas más compactas.
- Esto conlleva a que, ante ciertos tipos de exposición si bien se alcanzan resistencias mecánicas del material muy buenas, la durabilidad sea menor que la que brindan hormigones sin reemplazo de cemento por zeolita.
- En el sentido inverso, cuando no haya necesidad de diseño por durabilidad, pero si por resistencia, los hormigones desarrollados resultan técnica y ambientalmente eficientes.
- Por lo que, se considera el uso de zeolita natural una alternativa viable para ser usada en mezclas cementicias, con la ventaja del ahorro económico que implica un menor consumo de cemento acompañado de un menor impacto ambiental para estructuras de baja exposición según Reglamento CIRSOC 201 (2005).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chung, F.H. (1974). *Quantitative interpretation of x-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrixflushing method for quantitative multicomponent analysis.* *J Appl Crystallogr* 7(6).
- Da Silva, F.G.; Helene, P.; Castro Borges, J.B.L. (2009). *Liborio "Sources of variations when comparing concret carbonation results."* *Journal of materials in civil engineering.*
- Dópico Montes de Oca, J.J.; Martirena Hernandez, J.F.; López Rodríguez, A.; González López. R. (2009). *Effect of lime- zeolite binder on compression strength and durability properties of concrete.* *Revista Ingeniería de Construcción* Vol. 24, N° 2.
- Farias de Medeiros, M. H.; De Oliveira Andrade, J. J.; Helene, P. (2011). *Capítulo 22. Durabilidade e Vida útil das estruturas de concreto.* En Cechella Isaia, G. (Ed.). *Concreto: ciência e tecnologia.* Vol 1. São Paulo: IBRACON.
- Irassar, F.E. (Ed.). (2012). *Durabilidad del hormigón estructural. Segunda Edición.* Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- Norma ASTM C494. (1999). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.*
- Norma ASTM C642. (2013). *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.*
- Norma IRAM 1546. (2013). *Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión. Cement concrete. Compression test method.*
- Norma IRAM 1601. (2012). *Agua para morteros y hormigones de cemento. Water for mortars and cement concretes.*
- Norma IRAM 1663. (2002). *Hormigón de cemento. Aditivos químicos. Concrete. Chemical admixtures.*
- Norma IRAM 1871. (2004). *Hormigón. Método de ensayo para determinar la capacidad y la velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido. Concrete. Test method for determination the water capacity and the capillary suction speed of the hardened concrete.*
- Norma Suiza SIA 262/1-E. (2003). *Construction en béton – Spécifications complémentaires", Annexe E: Perméabilité à l'air dans les Structures.*
- Pazini Figueiredo, E.; Rocha Meira, G. (2011). *Capítulo 26. Corrosao das armaduras das estruturas de concreto.* En Cechella Isaia, G. (Ed.). *Concreto: ciência e tecnologia.* Vol 1. São Paulo: IBRACON.
- Pereira, V. G. A. (2001). *Avaliação dos Coeficientes de Difusão de Cloretos em Concretos: Influência do Tipo de Cimento, da Relação a/c, da Temperatura e do Tempo de Cura. (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS. Porto Alegre.*
- Raggiotti, B.B.; Positieri, M.J.; Oshiro, A. (2013). *Durabilidad del hormigón con adiciones: importancia de sus indicadores. 1º Congreso ALCONPAT Argentina 2013. Patología, control de calidad y rehabilitación en la construcción.*
- Raggiotti, B.B.; Positieri, M.J.; Parola, M.P.; Rautenberg, D.P.; Romero, A. (2012). *Influencia de las adiciones activas en la durabilidad del hormigón. El cómo y el por qué. SINCO 2012. 5 Simposio Internacional sobre concretos especiales.*
- Raggiotti, B.B.; Schutz, B.; Rodríguez, T.; Segura, A.; Sánchez, C. (2018). *Desarrollo, construcción y puesta en funcionamiento de cámara de carbonatación acelerada. 8º Jornadas de Ciencia y Tecnología. CyTAL 2018.*
- Reglamento CIRSOC 201. (2005). *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón. INTI.*
- Vera, R.; Román, J.; Puentes, M.; Bagnara, M.; Carvajal, A.M.; Rojas, P. (2013). *Efecto de la difusión de ion cloruro en el comportamiento de acero galvanizado en estructuras de hormigón armado. Resultados preliminares. Revista de la Construcción. Vol 12, N°1.*

- Traversa, L. P. (2012). Capítulo 5. Corrosión de armaduras en atmosferas rurales, urbanas, marinas e industriales. En Irassar, E. F. (Ed.). *Durabilidad del hormigón estructural, Segunda edición*. 306 páginas. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- Yilmaz, B.; Uçar, A.; Öteyaka, B.; Uz, V. (2007). *Properties of zeolitic tuff (clinoptilolite) blended portland cement*. *Building and Environment* Vol. 42(11).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la UTN por el financiamiento al proyecto PID 4715: “Hormigón armado: sustentabilidad de los materiales componentes y durabilidad ante fenómenos de corrosión de armaduras” dentro del cual se desarrolló este trabajo. Y al CINTEMAC, Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba por brindar el espacio para su realización.

Además se agradece a la Dirección de Extensión en Construcción, DECON UC, de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile por los aportes brindados en cuanto a ensayos colorimétricos de durabilidad por corrosión.