

## Durabilidad del hormigón producido con agentes de curado interno probados sometidos a la acción del cloruro

J. G. Berton<sup>1</sup> \*, L. C. P. Silva Filho<sup>1</sup>

\* Autor de contacto: [berton\\_julia@hotmail.com](mailto:berton_julia@hotmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.665>

Recibido: 31/01/2023 | Correcciones recibidas: 21/08/2023 | Aceptado: 31/08/2023 | Publicado: 01/08/2023

### RESUMEM

El procedimiento para promover el curado interno es una de las estrategias para reducir el proceso de retracción del concreto de alta resistencia con baja relación agua/cemento. Se han utilizado diversos materiales como agentes de curado, como materiales porosos, los cuales deben cumplir con los requisitos mínimos definidos por la norma ASTM C1761. Esta investigación buscó contribuir al desarrollo de nuevas formas de inhibir la degradación de estructuras de concreto armado mediante el uso de cáscara cerámica y arcilla expandida, utilizadas como agente de curado interno en concreto sometido a la acción de cloruros. Con base en los resultados encontrados, es posible comprobar que los agregados seleccionados, principalmente la cáscara cerámica, contribuyeron a la mejora de las propiedades mecánicas y durabilidad de los hormigones en las condiciones evaluadas.

**Palabras clave:** curado interno; materiales porosos; acción de cloruros; durabilidad.

**Citar como:** Berton, J. G., Silva Filho, L. C. P. (2023), "*Durabilidad del hormigón producido con agentes de curado interno probados sometidos a la acción del cloruro*", Revista ALCONPAT, 13 (3), pp. 299 – 311, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v13i3.665>

<sup>1</sup> PPGEC – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

#### Contribución de cada autor

En este trabajo el autor J. G. Berton contribuyó con la idea original en un 50%, redacción del trabajo en un 90%, experimentación en un 90%, recolección de datos en un 100% y discusión de los resultados en un 75%. L. C. P. Silva Filho aportó la idea original en un 50%, la redacción del trabajo en un 10%, la experimentación en un 10% y la discusión de los resultados en un 25%.

#### Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2023) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo o tercer número del año 2024 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 2024.

## **Durability of concrete produced with proven internal curing agents subjected to the action of chloride**

### **ABSTRACT**

The procedure to promote internal curing is one of the strategies to reduce the shrinkage process of high strength concrete with low water/cement ratio. Various materials have been used as curing agents, such as porous materials, which must meet the minimum requirements defined by ASTM C1761. This research sought to contribute to the development of new ways to inhibit the degradation of reinforced concrete structures through the use of ceramic shell and expanded clay, used as an internal curing agent in concrete subjected to the action of chlorides. Based on the results found, it is possible to verify that the selected aggregates, mainly the ceramic shell, contributed to the improvement of the mechanical properties and durability of the concretes in the evaluated conditions.

**Keywords:** internal curing; porous materials; chlorides action; durability.

## **Durabilidade de concretos produzidos com agentes de cura interna submetidos à ação de cloretos**

### **RESUMO**

O procedimento para promover a cura interna é uma das estratégias para reduzir o processo de retração do concreto de alta resistência com baixa relação água/cimento. Vários materiais têm sido utilizados como agentes de cura, como materiais porosos, que devem atender aos requisitos mínimos definidos pela ASTM C1761. Esta pesquisa buscou contribuir para o desenvolvimento de novas formas de inibir a degradação de estruturas de concreto armado por meio da utilização de casca cerâmica e argila expandida, utilizadas como agente de cura interna em concretos submetidos a ação de cloretos. Com base nos resultados encontrados, é possível verificar que os agregados selecionados, principalmente a casca cerâmica, contribuíram para a melhoria das propriedades mecânicas e durabilidade dos concretos nas condições avaliadas.

**Palavras-chave:** cura interna; materiais porosos; ação de cloretos; durabilidade.

### **Información Legal**

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la NBR 6118 (ABNT, 2014), la durabilidad de las estructuras de hormigón armado puede definirse como la capacidad de las estructuras de resistir las influencias ambientales previstas y definidas al inicio de los trabajos de elaboración del proyecto, es decir, el resultado de la interacción entre la estructura, el entorno, las condiciones de uso y mantenimiento de las estructuras. A pesar de todo el desarrollo de conceptos sobre durabilidad y vida útil de las estructuras y de los avances relacionados con la tecnología en la construcción civil, aún es posible constatar la degradación temprana de las estructuras, caracterizada por manifestaciones patológicas.

Según Pereira da Costa (2015), las manifestaciones patológicas en las estructuras de hormigón se deben a errores de diseño, ejecución inadecuada, uso, cambios en el ambiente, materiales utilizados, o puede provenir de un conjunto de estos factores. Los investigadores afirman que la mayoría de estas manifestaciones son resultado de fallas de diseño y/o ejecución, que pueden deberse a desprecio del entorno en el que se insertará la estructura, negligencia en las acciones o incluso desconocimiento de los procesos degenerativos existentes. Según Bolina, Tutikian y Helene (2019), la aparición de manifestaciones patológicas en las edificaciones puede provenir de numerosos factores y de diferentes fuentes, produciéndose por causas simples o combinadas.

Entre los factores vinculados a la aparición de manifestaciones patológicas, la porosidad del hormigón está directamente relacionada con el transporte de agentes agresivos en el hormigón. La porosidad abierta se refiere a poros abiertos e interconectados, que permiten el transporte de agentes agresivos en el material. Según CEB (1992) y Metha y Monteiro (2014), los poros que afectan el transporte de agentes agresivos en el concreto son los poros capilares, que se forman debido a la evaporación del agua durante los procesos de hidratación y curado, y los macroporos. Para Silva (2011), la conexión entre estos poros y la tortuosidad son propiedades fundamentales para determinar su estructura, y sólo los poros interconectados participan en el proceso de transporte de sustancias.

Cada vez se buscan más formas de reducir la aparición de manifestaciones patológicas en estructuras de hormigón armado. Una de las vías estudiadas para buscar hormigones de mayor durabilidad y resistencia son las relacionadas con la reducción de la relación agua/cemento utilizada en la mezcla, ligada a la técnica de cicatrización interna que consiste en introducir en la superficie los llamados cicatrizantes internos. mezcla, que son materiales capaces de actuar como reservorios de agua, que actúan como reguladores para mantener alta la humedad relativa interna, y en consecuencia pueden prevenir o incluso reducir los efectos provocados por la autodesecación. Estos agentes cicatrizantes internos son normalmente materiales porosos capaces de almacenar y liberar agua rápidamente (CAETANO, 2019). Los estudios realizados por el autor han demostrado la eficacia de los agentes cicatrizantes internos en términos de retracción autógena y permeabilidad. Asimismo, Cusson y Margeson (2010) y Thomas (2006) observaron en sus estudios una reducción en la permeabilidad de cloruros y agua en mezclas con agentes curativos internos en comparación con el concreto que utiliza solo áridos tradicionales.

Así, la presente investigación busca evaluar el uso de cáscara cerámica y arcilla expandida como cicatrizantes internos en concreto sometido a la acción directa de cloruros mediante ensayos acelerados. De esta manera, además del uso de estos materiales como agentes cicatrizantes mediante pruebas de estructura de poros y desempeño mecánico, se evaluará su efectividad respecto de la durabilidad del concreto expuesto a ambientes altamente agresivos, mediante la realización del ensayo de corrosión acelerada por inmersión modificada. y penetración de cloruro.

## 2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales, determinación del rasgo, moldeo y curación.

De la misma manera lo realizado por Caetano (2019), se utilizó como base para la producción del concreto los estudios publicados por RILEM TC 255 - SAP Newsletter n°1 y ASTM C1761 (2015), el cual presenta los requisitos que deben cumplir los materiales. para asegurar su potencial como sanadores internos. Para esta investigación se utilizaron como agentes curativos internos los residuos triturados de la cáscara cerámica para fundición a la cera perdida, llamada simplemente cáscara cerámica, y arcilla expandida, como se muestra en la Figura 1 a continuación. Se utilizó cemento CP-V ARI, dado su alto contenido de clinker. Como árido fino se utilizó arena fina.



Casca cerâmica

Argila expandida

Figura 1. Concha cerámica y arcilla expandida utilizadas.

Ambos materiales, además de la arena utilizada, fueron ensayados según los requisitos de la norma ASTM C1761 (2015), mostrando un cumplimiento parcial de los requisitos mínimos establecidos. La cáscara cerámica no está de acuerdo en cuanto a granulometría, masa unitaria y presencia de impurezas orgánicas. En cuanto a la arcilla expandida, las inconsistencias encontradas están relacionadas con la granulometría y las impurezas orgánicas. La arena analizada se encuentra dentro de los rangos establecidos para todos los parámetros analizados.

La mezcla definida para la mezcla, basada en RILEM, como se mencionó anteriormente, se definió como 1:1914 de cemento y arena con una relación agua/cemento de 0.30 y una adición del 10% en masa de humo de sílice. La proporción de agua que debe reservar el agregado para ser utilizado en el proceso de hidratación del concreto se determinó con base en el modelo de Powers, considerando que para la mezcla utilizada es necesario agregar 0.066 kg de agua por cada 1 kg de cemento utilizado. A continuación se presenta la cantidad de materiales utilizados, adaptados por los autores con base en RILEM TC 255 – SAP Newsletter n°1.

Tabla 1. Cantidad de materiales según RILEM 225 - SAP

Material	Cuantitativo RILEM TC 225 -SAP (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento CEM I 42,5 R (Schwenk)	700
Sílice activa (Elkem, grado 917-U)	70
Agua (a/c=0,3)	210
Agregado (arena (0/4)	1218
Arena de cuarzo (0,06/0,2)	121,8
Superplastificante - 1,8% del cemento	12,6

Los cicatrizantes internos se utilizaron como sustitutos parciales de la arena fina utilizada, utilizándose los valores teóricos con base en los estudios realizados por Caetano (2019), con una reposición de volumen del 45% para la cáscara cerámica y del 67% para la arcilla expandida. .

Previo al mezclado de los materiales, los materiales porosos (cáscara cerámica y arcilla expandida) se sumergieron durante 24 horas en la cantidad total de agua utilizada en la mezcla, provocando la saturación del agregado. Luego de 24 horas, las probetas pertenecientes a cada una de las características fueron moldeadas en un mortero de 20 L, como se muestra en la Figura 2. Una vez finalizado el moldeo, todas las probetas fueron llevadas a curado húmedo durante 28 días.



Figura 2. Materiales y mortero utilizados

### 2.1 Relación de absorción y vacíos.

Para determinar las relaciones de huecos, la absorción y la masa específica de los microhormigones estudiados, se utilizaron los parámetros descritos por la NBR 9778 (ABNT, 2005). De esta forma se moldearon tres ejemplares de 10 x 20 cm (diámetro x largo) de cada uno de los rasgos estudiados. La Figura 4 muestra dos etapas del ensayo, la primera (a) consiste en determinar la masa de la probeta y (b) el paso en el que las probetas se sumergen y se llevan a ebullición por un período de 5 horas.



Figura 3. Pasos para realizar la prueba de absorción y relación de vacíos

### 2.2 Fuerza compresiva

Para el análisis de la resistencia a la compresión del hormigón producido, se adoptó el procedimiento descrito en la NBR 12041 (ABNT, 2012) - Morteros de alta resistencia mecánica para pisos - Determinación de la resistencia a la compresión simple y a la tracción por compresión diametral, ya que el microhormigón producido presentan una distribución granulométrica reducida similar a la encontrada en morteros, debido a la no utilización de árido grueso.

De esta forma se moldearon 4 ejemplares de cada uno de los rasgos para cada una de las edades ensayadas, 3, 7 y 28 días. También se realizó la ruptura de 4 probetas a los 75 días, edad en la que finalizaron las pruebas de penetración de cloruros con el fin de evaluar la resistencia en esta fecha. La Figura 5 muestra la ejecución del ensayo de resistencia a la compresión.

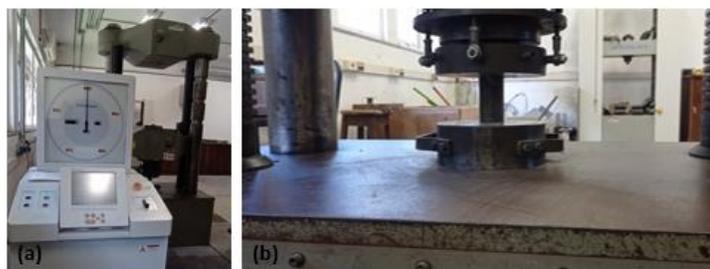


Figura 5. Ensayo de resistencia a la compresión

### 2.3 Módulo de elasticidad

Para la realización del ensayo de módulo de elasticidad del hormigón, se siguieron los parámetros establecidos en la NBR 8822 (ABNT, 2002). En este ensayo, cada una de las probetas fue sometida a 4 ciclos de carga, utilizándose en cada ciclo como nivel de tensión superior el 30% del valor correspondiente al resultado de resistencia a compresión más alto de las probetas ensayadas. Los desplazamientos entre las secciones de control se midieron con la ayuda de LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal), los cuales fueron previamente posicionados sobre las probetas, como se muestra en la Figura 6. Los valores referentes a carga y desplazamiento se monitorean, adquieren y almacenan con ayuda de un sistema de adquisición de datos tipo QUANTUN, utilizando el software CATMAN EASY para visualización y control de todo el ensayo realizado.



Figura 6. Prueba de módulo elástico

### 2.4 Penetración de cloruros

Para realizar la prueba de penetración del ion cloruro se siguieron los parámetros establecidos por la ASTM C1202 (2022). El ensayo utiliza muestras de hormigón con dimensiones de 9,5 cm de diámetro y 5,1 cm de altura, sometidas a la aplicación de un estímulo eléctrico de  $60V \pm 0,1V$  durante 6 horas. Estas muestras cilíndricas fueron acopladas en medias celdas de acrílico, en las cuales las caras fueron expuestas a dos soluciones diferentes, en una cara hidróxido de sodio (NaOH) en una concentración de 0.3N, mientras que la otra media celda recibe una solución de cloruro de sodio (NaCl) con una concentración del 3% en masa.

De esta forma se moldearon y cortaron probetas de 10x20 cm y solo se utilizó la capa central de 5,1 cm de alto. Después del corte, las rodajas todavía pasaron por un preacondicionamiento. La figura 7 muestra el esquema para la realización del ensayo.



Figura 7. Prueba de penetración de cloruro

Con las mediciones de las corrientes eléctricas durante las 6 horas que dura la prueba, es posible analizar la carga total que pasa, la cual según la referida norma está determinada por la siguiente Ecuación, donde Q corresponde a la carga total que pasa, en Culombios, I<sub>0</sub> es la corriente medida inmediatamente después de la aplicación de tensión, en Amperios y I<sub>t</sub> es la corriente medida en intervalos “t” minutos, en Amperios.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} = 2I_{330} + 2I_{360})(1)$$

También se corrige el valor correspondiente a la carga de paso, mostrado en la siguiente ecuación, ya que las muestras tienen un diámetro diferente a 95 mm.

$$Q_s = Q_x \left(\frac{95}{x}\right)^2 (2)$$

Así, con los resultados de carga total total, es posible clasificar el concreto según el riesgo de penetración de iones cloruro, de acuerdo con los parámetros descritos por la ASTM C1202 (2022), que se muestran en la Tabla 2 a continuación.

Tabla 2. Clasificación según el riesgo de penetración de iones cloruro

Riesgo de penetración de iones cloruro.	Carga pasante (Coulomb)
Alto	> 4000
Moderado	2000 a 4000
Bajo	1000 a 2000
Muy bajo	100 a 1000
Despreciable	<100

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este tema se presentan los resultados de cada una de las pruebas realizadas junto con su análisis e interpretación. Todos los datos mostrados en los siguientes temas fueron tratados para eliminar valores espurios con la ayuda del software Excel.

#### 3.1 Relación de absorción y vacíos.

La prueba de absorción según NBR 9778 (ABNT, 2005) se basa en el proceso en el que el agua es transportada al interior del hormigón y tiende a ocupar todos los espacios presentes en una muestra, es decir, es el proceso en el que el agua ocupa el total de poros de una muestra. De esta forma, la penetración del agua se ve obligada a dispersarse en todas direcciones, permitiendo evaluar la cantidad total de poros existentes en el microhormigón analizado. La Figura 8 muestra el gráfico con los valores promedio de absorción y relación de vacíos determinados en base a los parámetros descritos por la normativa.

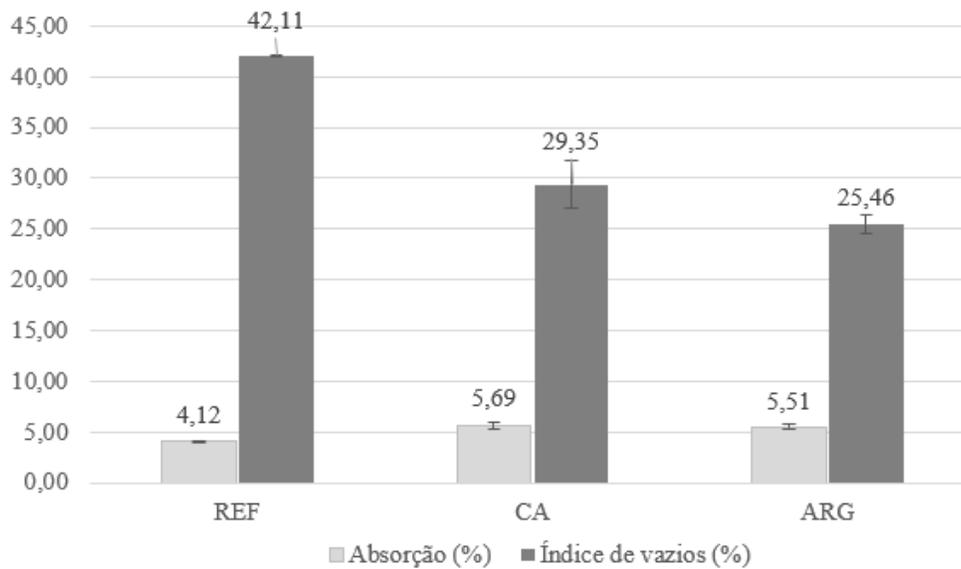


Figura 8. Valores medios de absorción y relación de vacíos.

Al observar la Figura 8, se puede observar que el microhormigón perteneciente a la mezcla de referencia presentó una menor absorción de agua y un mayor índice de huecos en comparación con las otras dos mezclas analizadas. El microhormigón con cáscara cerámica (CA) incorporado a la mezcla presentó una reducción en la proporción de huecos del 30,30% con relación a la mezcla de referencia (REF), mientras que el hormigón producido con arcilla expandida (ARG) mostró una reducción del 39,54% también en relación con el rasgo de referencia (REF). Según los resultados encontrados por los estudios realizados por Kim et al. (2018), Caetano (2019) la disminución en la relación de vacíos de estos concretos puede haberse debido a la liberación de agua para el saneamiento interno, generando concretos con menos poros y menor interconectividad de poros. Por otro lado, los valores de absorción mostraron un ligero aumento para ambos rasgos analizados.

### 3.2 Fuerza compresiva

A continuación, en la Figura 9, se presentan los valores relacionados con la resistencia a compresión del concreto producido según las edades ensayadas.

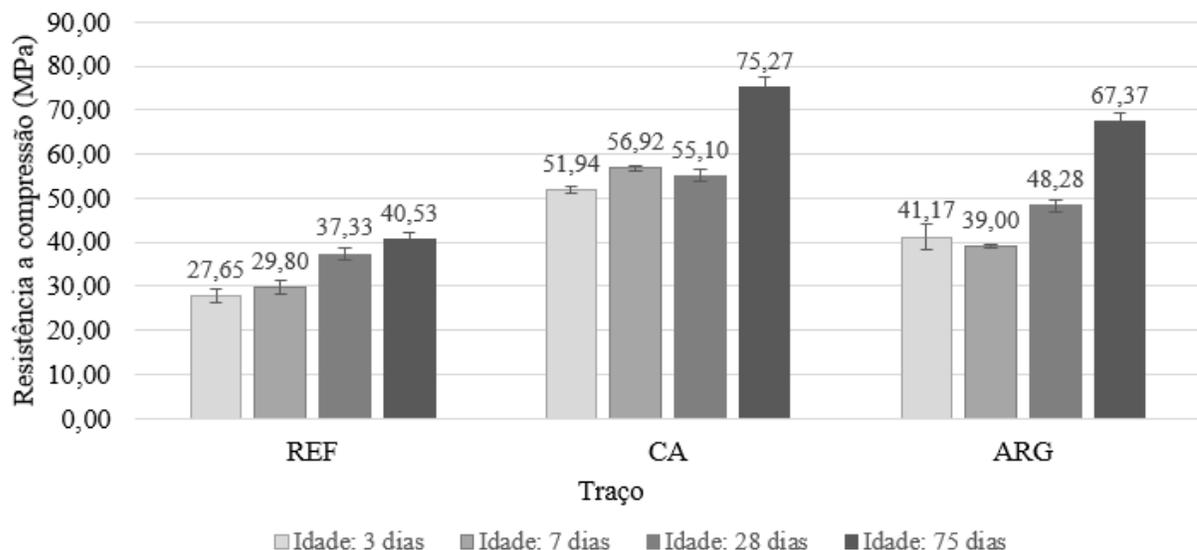


Figura 9. Resistencia a la compresión por edad.

Con el análisis de la Figura 8, es posible observar que las adiciones de cáscara cerámica (CA) y arcilla expandida (ARG) proporcionaron una ganancia de resistencia con relación a la mezcla de referencia (REF). Se cree que esta mejora en el rendimiento mecánico se debe al aumento de las reacciones de hidratación del hormigón debido al curado interno del mismo que proporcionan estos materiales.

En este trabajo se puede observar que la mezcla con cáscara cerámica (CAR) presentó un aumento de resistencia del orden del 40% para las edades de 3, 7 y 28 días. en comparación con el rasgo de referencia en el orden del 30%, 24,18% y 29,9% para las edades de 3, 7 y 28 días, respectivamente. Al realizar la comparación de resistencias entre los grupos con adición de cáscara cerámica (CAR) y arcilla expandida (ARG), se observa que la cáscara cerámica mostró mejores resultados, con resistencias mayores que la arcilla expandida del orden de 20,6%, 28,17. % y 11,7% para las edades de 3, 7 y 28 días, respectivamente.

Al analizar la mezcla con adición de cáscara cerámica (CA) y la mezcla con adición de arcilla expandida (ARG), se puede observar que a los 75 días de edad hubo un incremento de 36,6% y 39,54%, respectivamente, en relación con la edad de 28 días. Se cree que este comportamiento se produjo debido a la ocurrencia de una mayor hidratación de las matrices de cemento dada por la cicatrización interna, según el trabajo realizado por De La Varga (2012) y Bayard, Schindler y Barnes (2010).

### 3.3 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad es una propiedad que refleja la capacidad de deformación de las probetas moldeadas. La prueba fue realizada de acuerdo con las normas recomendadas por la NBR 8522 (ABNT, 2008). En la Figura 10 es posible visualizar los resultados de módulo de elasticidad para cada uno de los tres grupos de microhormigón analizados.

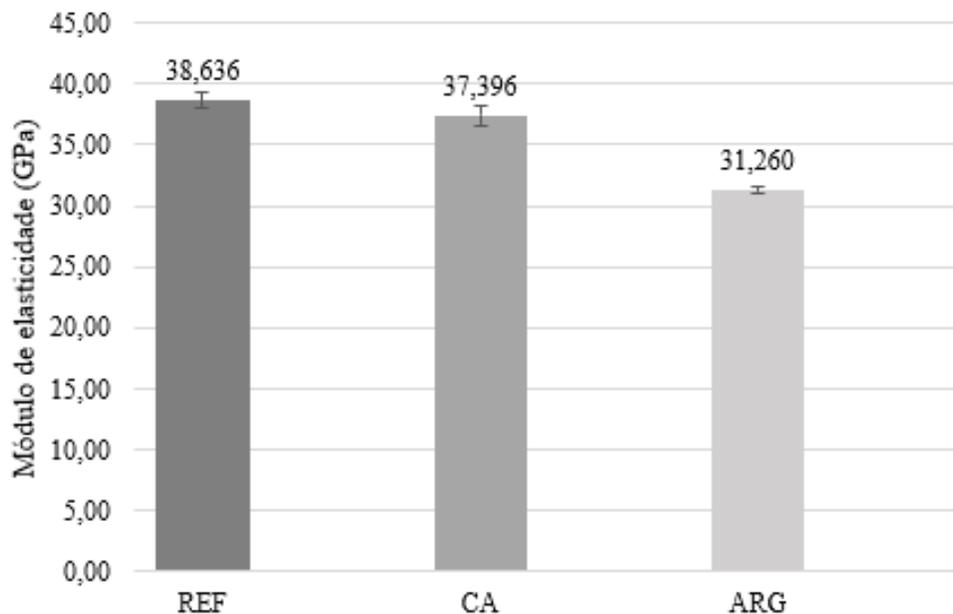


Figura 10. Módulo de elasticidad por edad

De los resultados se puede observar que hubo una reducción en el módulo de elasticidad de los concretos con la adición de agregados livianos para el saneamiento interno, como se esperaba. La presencia de agregados porosos puede haber afectado negativamente el módulo de elasticidad tanto de la arcilla expandida como de la cáscara cerámica. Para el grupo con cáscara cerámica la reducción fue del 3,21% mientras que para la arcilla expandida la reducción fue del 19%.

### 3.4 Penetración de cloruros

La prueba de penetración de cloruros es una prueba de tipo acelerado, realizada de forma estacionaria, donde se monitorea el paso de corriente eléctrica durante un período de 6 horas. En la fecha de la prueba, los ejemplares tenían 75 días.

Durante toda la prueba se monitoreó la temperatura de la solución presente en cada una de las semiceldas acrílicas, no llegando a una temperatura de 90°C. sin embargo, la característica de referencia al llegar a las 4 horas de prueba mostró un sobrecalentamiento, alcanzando las soluciones temperaturas cercanas a los 90°C, lo que provocó que se diera por terminada la prueba. Varios autores como Pereira da Costa (2015) notaron el mismo tipo de comportamiento durante la prueba, y se cree que esto ocurre debido al alto voltaje que se aplica a la muestra, lo que puede provocar un aumento de temperatura, resultando en un aumento de la carga. transeúnte. La Figura 11 muestra el gráfico con la carga que pasa por las mezclas hasta las 4 horas de ensayo, permitiendo así una mejor comparación entre los resultados obtenidos.

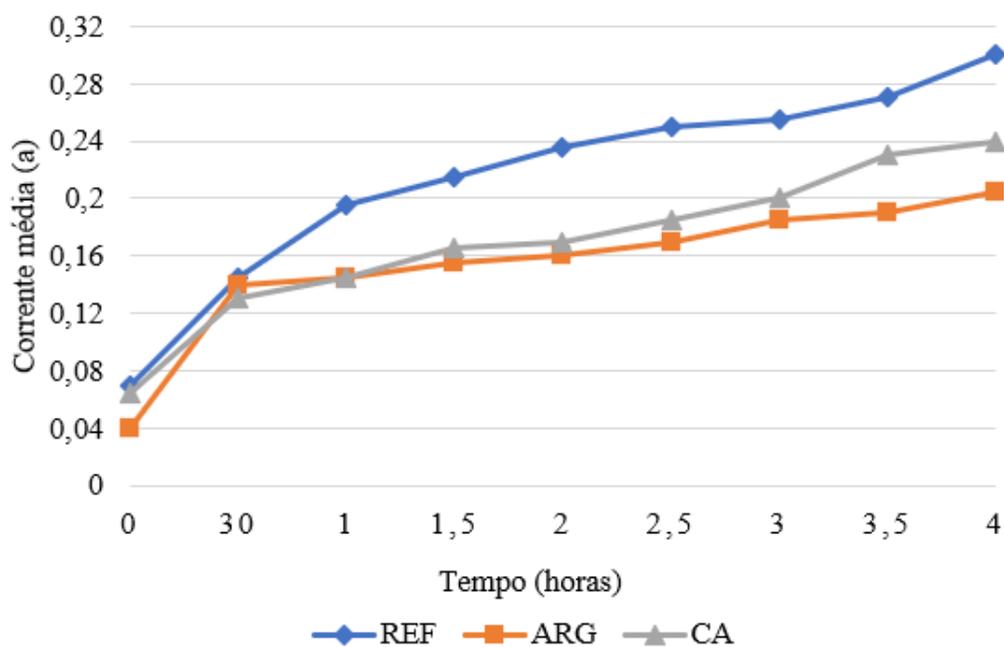


Figura 11. Corrientes promedio obtenidas durante 4 horas de prueba.

Los resultados promedio de carga de paso, en Coulombs, permiten verificar la penetrabilidad de los iones cloruro en el concreto a través de la tabla presentada por ASTM C1202 (2022). Así, la Tabla 4 presenta las cargas promedio obtenidas para cada uno de los grupos probados y la probabilidad de penetración de iones cloruro.

Tabla 4. Clasificación de cargas medias y penetrabilidad

Rastro	Q media (culombios)	Dakota del Sur	CV %	Penetrabilidad de los iones cloruro.
Referencia	308,66	66,05	4,67	Muy bajo
Arcilla expandida	222,56	75,24	2,96	Muy bajo
Concha de cerámica	243,27	74,09	3,28	Muy bajo

Con base en la Figura 11 y la Tabla 4, se puede observar que durante las 4 horas de prueba realizadas para todas las trazas analizadas, los valores de carga pasante fueron bajos, por lo que

todos se clasificaron como de muy bajo riesgo de penetrabilidad de los iones cloruro. También se puede observar que la mezcla con menor tendencia a la penetración de cloruros fue la mezcla con adición de arcilla expandida.

Según los resultados encontrados por Zhang y Gjorv (1991), Bentz (2009) y Thomas (2006), la adición de agregados livianos que promuevan la curación interna a la mezcla de concreto reduce la permeabilidad de la mezcla. Los autores creen que este comportamiento se debe a la cicatrización interna, que promueve un aumento de los productos de hidratación del cemento, haciendo la matriz más densa y consecuentemente reduciendo la permeabilidad del hormigón. El comportamiento es consistente con lo encontrado en este trabajo, al comparar el tiempo de ensayo realizado con todas las probetas.

Sin embargo, al realizar un análisis con el tiempo total de prueba, como se muestra en la Figura 12 a continuación, analizando así las 6 horas de prueba, los resultados presentados son diferentes, y para este análisis la mezcla con cáscara cerámica (CAR) mostró un resultado 11.06% mayor que la mezcla de referencia (REF) y un 9,50% superior a la mezcla con adición de arcilla expandida (ARG). El mismo desempeño fue verificado por Caetano (2019), en el que la traza con cerco cerámico presentó un resultado de carga pasante un 64% mayor que su traza de referencia. De esta manera, es posible percibir que los estudios con agregados livianos adicionados al concreto, buscando promover el saneamiento interno, presentan, en la mayoría de los casos, un comportamiento mejor o cercano a la referencia en cuanto a la penetración de iones cloruro en el concreto. Se cree que la diferencia se produjo debido a la diferencia en el tiempo de prueba entre los rasgos analizados.

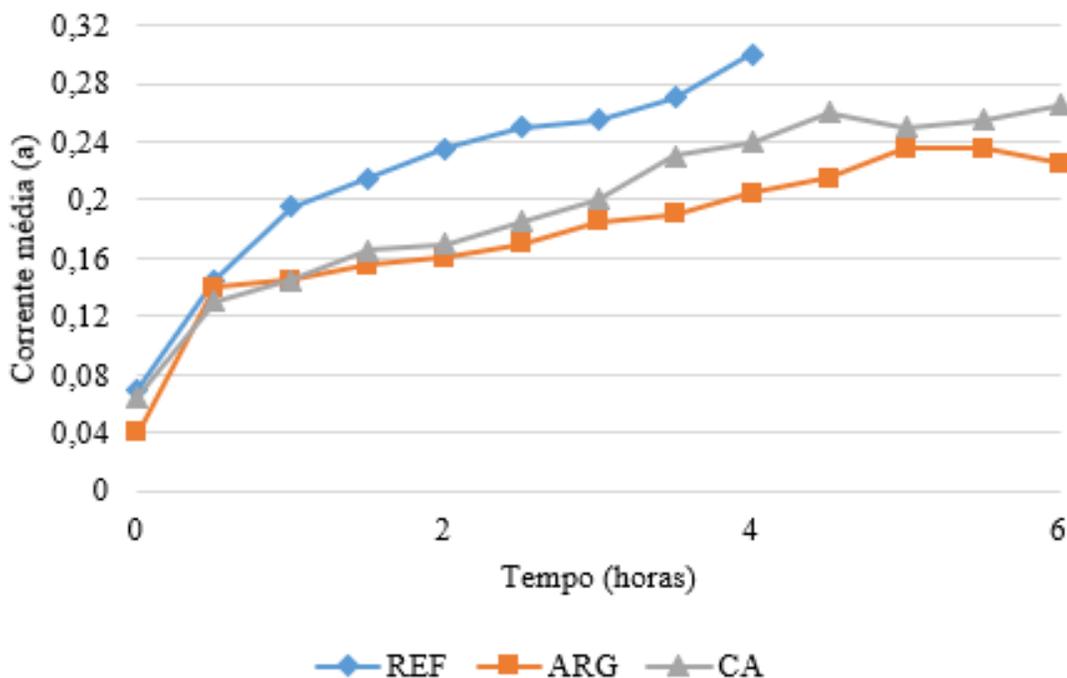


Figura 12. Corrientes promedio obtenidas durante 6 horas de prueba.

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis de los datos experimentales obtenidos durante el desarrollo de este estudio muestra que tanto la cáscara cerámica como la arcilla expandida mostraron buenos resultados en cuanto a durabilidad y acción de los cloruros al compararlos con la mezcla de referencia, comprobando la

efectividad del uso de estos materiales como cicatrizante interno. buscando una mayor durabilidad de las estructuras.

El uso de cicatrizantes internos promovió una reducción en los valores relacionados con el índice de huecos, comprobando que hubo una mayor hidratación de la matriz cementosa, generando hormigones con menor cantidad de poros y menor interconectividad de poros. Se cree que este factor condujo a una menor penetrabilidad de los cloruros en la mezcla, especialmente en la mezcla con la adición de arcilla expandida. También hubo un aumento en la resistencia a la compresión del concreto con la incorporación de agregados livianos, especialmente a los 75 días. Se cree que el hecho se produjo debido a que la hidratación tardía del hormigón sufre la influencia positiva de la cicatrización interna. Sin embargo, hubo una ligera reducción en el módulo de elasticidad del hormigón. Los resultados presentados están en línea con los verificados por Caetano (2019), en el que los cicatrizantes internos presentaron un comportamiento similar a los encontrados en este trabajo.

De esta manera, es posible confirmar que el uso de cáscaras cerámicas provenientes de microfusión y de arcilla expandida, en particular, tienen una alta capacidad de actuar como agentes cicatrizantes internos, mejorando tanto las propiedades mecánicas como las relacionadas con la durabilidad del concreto, bajo las condiciones evaluadas en este estudio.

## 5. REFERENCIAS

- American society for testing and materials. (2022). *ASTM C1202: Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. Philadelphia.
- American society for testing and materials. (2015). *ASTM C1761: Specification of lightweight aggregate for internal curing of concrete*. West Conshohocken.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2014). *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2009). *NBR 9778: Argamassas e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2012). *NBR 12041: Argamassas de alta resistência mecânica para pisos – Determinação da resistência à compressão simples e tração por compressão diametral*. Rio de Janeiro.
- Associação brasileira de normas técnicas. (2021). *NBR 8522: Concreto endurecido – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação*. Rio de Janeiro.
- Bolina, Fabricio Longhi. (2019). *Patologia das estruturas*. In TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. HELENE, Paulo. Editora Oficina de Textos.
- Byard, B. E. and Chindler, A. K. (2010). *Cracking tendency of lightweight concrete*. Highway Research Center, Auburn: Auburn University.
- Caetano, L. F. (2019). *Avaliação do potencial de uso de materiais porosos como agregados para cura interna de concretos com reduzida relação a/c*. Tese (Doutorado em engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- De la Varga, I.; Castro, J.; Bentz, D. P.; Weiss, J. (2012) *Application of internal curing for mixtures containing high volumes of fly ash*. Cement and Concrete Composites. v. 34, n. 9. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.008>
- Kim, J. H. et al. (2018). *Influence of internal curing on the pore size distribution of high strength concrete*. Construction and Buildings Materials. v. 192. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.130>
- Mehta, P. K; Monteiro, P. J. M. (2014). *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2014.

Pereira da costa, F. B. (2015). *Análise da Durabilidade de Compósitos Cimentícios de Elevada Capacidade de Deformação Reforçados com Fibras*. 169 f. Dissertacao (Mestrado em engenharia civil) - Programa de Pos-graduacao em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Silva, T. J. (2011). *Mecanismos de Transporte de Massa no Concreto*. In: ISAIA, G. C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. São Paulo: IBRACON

Thomas, M. D. A. (2006). *Chloride Diffusion in High-Performance Lightweight Aggregate Concrete*. In: Malhotra, V.M. *7th CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, p. 797-812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.068>