

## **RESUMEN**

El hormigón armado compuesto de cemento Portland fue inventado hace algo más de un siglo aproximadamente y se ha convertido en el material más utilizado en la construcción. La durabilidad de este hormigón es una de las consideraciones más importantes a ser tenidas en cuenta en el diseño de nuevas estructuras y en la evaluación estructural de las ya existentes. Cuando un hormigón sujeta a un ambiente o cargas que puede degradarlo, como puede ser su uso en puentes y ambientes marinos o si contiene grandes cantidades de alúmina o áridos reciclados, el conocimiento o predicción de su durabilidad es un aspecto crítico para su comportamiento en servicio.

Los ensayos no destructivos se han mostrado como unos de los ensayos preceptivos con una importancia económica y social más relevante desde que se han aplicado para la auscultación de la durabilidad de las estructuras de hormigón pertenecientes a la ingeniería civil, donde estos materiales son ampliamente utilizados. En cualquier caso, el uso de las técnicas no destructivas en estos materiales no está suficientemente implementado, hecho este motivado por las características heterogéneas de su microestructura. De todos los métodos no destructivos aplicables para el hormigón, el uso de pulsos ultrasónicos es de gran interés para la caracterización de la microestructura y las propiedades de materiales heterogéneos.

El objetivo del presente trabajo es obtener un procedimiento de evaluación del ciclo de vida del hormigón preparado y puesto en servicio para ambientes marinos. Además, será estudiado y analizado la incorporación de varias metodologías (destructivas y no destructivas) para caracterizar el proceso de degradación de morteros y hormigones expuestos a disolución de sulfato de sodio y a exposición en disolución de nitrato amónico. Con esta finalidad, una integración adecuada de diferentes técnicas será usada para la caracterización de propiedades y el seguimiento del proceso de degradación que afectan al hormigón.

Como objetivos adicionales, destaca que fueron estudiadas las relaciones entre los parámetros destructivos y no destructivos, así como la relación entre los distintos parámetros no destructivos entre sí. Muchos de los estudios anteriores que han usado la inspección ultrasónica las cuáles fueron utilizadas para determinar la relación agua/cemento del mortero, de la pasta de cemento y del hormigón, o para monitorizar los cambios estructurales, para diferentes relaciones a/c, en el proceso de curado. En este trabajo de investigación fue analizado el efecto que tiene para diferentes relaciones a/c en los parámetros ultrasónicos durante el proceso de degradación.

Para este objetivo, se utilizaron un Cemento Portland tipo II A L 42.5 (LPC), y otro sulfurresistente tipo I 42.5R/SR (SRPC) que fueron usados en la fabricación de dos marcos de hormigón, los cuales fueron utilizados como hormigón en servicio (caso real). Para el estudio del efecto de la variación de a/c en los parámetros ultrasónicos durante la degradación se utilizaron muestras de mortero con diferentes relaciones agua cemento 0.525- 0.45- 0.375 and 0.30 a partir de LPC para obtener diferentes niveles de degradación.

Para monitorizar el proceso de degradación se utilizó la inspección por pulso/eco (1 y 3.5 MHz) para la obtención del parámetro del área del perfil de atenuaciones (APA) el cual fue estimado por L Vergara et al., 2003 y usado por Fuente et al, 2004.

Para seguir el proceso de curado de pasta de cemento y morteros, este parámetro ha demostrado una alta sensibilidad para caracterizar los cambios microestructurales de materiales derivados del cemento a lo largo de su curado. El método de transmisión se ha utilizado para la determinación de las velocidades de ondas longitudinales con la frecuencia de 1MHz y transversales con la frecuencia de 500 kHz. La velocidad ultrasónica también ha demostrado la capacidad para seguir los cambios microestructurales de un modo sencillo porque dicho parámetro está relacionado con la variación de las propiedades mecánicas, y bajo ciertas premisas, con la variación de la porosidad. El análisis con la imagen ultrasónica con 2 MHz fue también usada para la consecución de los mismos objetivos.

Como métodos destructivos, los ensayos de resistencia a la compresión y flexión fueron los utilizados para determinar la pérdida de actividad resistente de morteros y hormigones, y

la porosidad conectada al agua para analizar los cambios en la matriz porosa por el efecto de la difusión de elementos agresivos que penetran en el material provocando su degradación.

La porosimetría de mercurio (MIP) fue usada para observar las variaciones del volumen y tamaño de poro y, por último, la microscopía electrónica de barrido (MEB) que fue utilizada para cuantificar y detectar los cambios en la microestructura por el ataque de elementos agresivos.

Los resultados obtenidos muestran que, la degradación producida por exposición a sulfato de sodio, tiene dos etapas, en la primera etapa se forma la etringita que llena los poros pero que no produce microfisuración. En esta etapa se observó una variación en los parámetros obtenidos por ejemplo, incremento de la velocidad de la onda ultrasónica, de las resistencias a compresión y a la flexión o la disminución de la porosidad. Esta variación en los parámetros podría indicar una mejora en las prestaciones mecánicas del material objeto de la investigación, pero en realidad esto no es cierto porque los poros están llenos de etringita, provocando una expansión, que es la causa de la degradación en la segunda etapa. En dicha segunda etapa, se produce una microfisuración generalizada por la expansión de la etringita e incrementando su volumen dentro de los poros. Este hecho produjo un cambio en los parámetros medidos que contrastan con la evolución en la primera etapa, disminución de la velocidad de las ondas ultrasónicas, y de las resistencias mecánicas y consecuentemente un aumento de la porosidad. Por otro lado, la degradación por ataque de nitrato amonio tiene una única etapa debida al proceso de descalcificación que comienza desde el principio del proceso de exposición y es lineal durante todo el periodo de exposición. Para ambos casos, la integración de las diversas técnicas se revela como satisfactoria para el seguimiento del proceso de degradación, encontrando buenas correlaciones entre los parámetros no destructivos y los parámetros destructivos de técnicas de análisis físico-químico.