

INTRODUCCION

Durabilidad es la capacidad que poseen los materiales, que componen una estructura, de perdurar en el tiempo manteniendo sus características iniciales. En el caso del hormigón, la principal causa de su deterioro está vinculada a la acción del medio ambiente que lo rodea (suelos, agua, temperatura, humedad relativa, iones agresivos, etc).

El Reglamento CIRSOC-201 (2005) hace referencia al concepto de vida útil en servicio de una estructura como *“El período a partir de la construcción, durante el cual deben mantenerse las condiciones de seguridad, funcionalidad y aspectos aceptables sin gastos de mantenimiento significativos”*; considerando expresamente que las especificaciones de durabilidad indicadas en el mismo, permiten obtener una vida en servicio de la estructura de 50 años [1].

Hay diversas patologías que afectan a las estructuras de hormigón armado, las principales son: ataques químicos, ataques físicos, corrosión de la armadura y reacción álcali agregado (RAA).

Entre las patologías citadas, la RAA se divide en reacción álcali carbonato (RAC) y reacción álcali sílice (RAS), siendo esta última el objeto del presente estudio. La RAS es una reacción química que se produce entre los álcalis presentes en la solución de poros del hormigón y la sílice inestable contenida en algunos agregados, en presencia de humedad periódica o permanente, que produce compuestos expansivos que fisuran el hormigón y deterioran la estructura.

En la figura 1 se presenta el modelo que esquematiza todos los procesos de degradación del hormigón, el cual incluye dos períodos: *período de iniciación* (P_i) que es el tiempo que tardan las sustancias agresivas y las reactivas en ponerse en contacto y el *período de propagación* (P_p) que es el tiempo durante el cual se producen las reacciones cuyos resultados pueden llegar a un grado de deterioro inaceptable para la seguridad, funcionalidad o estética de la estructura. Este modelo fue propuesto por Tutti para la corrosión de las armaduras.

En el caso de la RAS, el *período de iniciación* es el tiempo durante el cual los iones (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , OH^-) en la solución de poros migran o difunden hacia al agregado reactivo y se forman los primeros productos de reacción, denominado como el período de inducción de la RAS [2]. El *período de propagación* es el tiempo donde el hinchamiento del gel genera tensiones que superan la resistencia a tracción del hormigón provocando las primeras fisuras (no visibles a simple vista) y/o la aparición de geles sobre la superficie de la estructura. De esta manera se llega a la vida útil en servicio que solo requiere una mínima reparación para mejorar el aspecto estético de la estructura. El aumento de las fisuras, en tamaño (ancho y longitud) y cantidad (densidad) afecta la funcionalidad de la estructura requiriendo una mayor intervención para que la misma continúe en servicio; y por último el crecimiento de tamaño y la unificación de fisuras provocan una disminución de la capacidad portante que pueden producir el colapso de la estructura, poniendo en riesgo la vida de los usuarios, seguridad, y de esta manera se llega al final de la vida útil.

En este modelo de deterioro por RAS, cuando las estructuras de hormigón no están sometidas a un nivel adecuado de humedad presenta un período de iniciación indefinido.

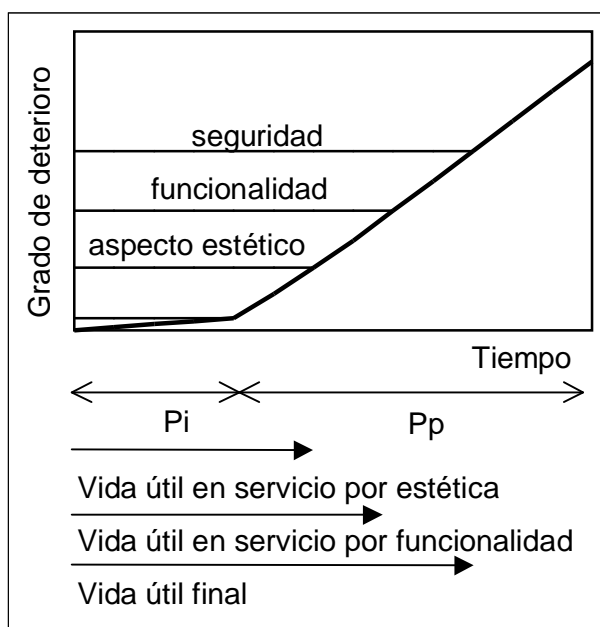


Figura 1. Esquema de Tutti adecuado a RAS.

La RAS tiene dos comportamientos diferenciados en función de la mineralogía de los agregados, definidos según la velocidad de reacción: reacción rápida o normal y reacción lenta. Los agregados que producen una reacción rápida principalmente están constituidos por sílice amorfa (como ópalo) y vidrio volcánico. Mientras que los agregados constituidos por cuarzo microcristalino, tensionado y/o deformado generan una reacción lenta [3-4].

La RAS produce daño en las estructuras de hormigón cuando se cumplen simultáneamente condiciones del grupo de materiales constituyentes, del medio ambiente y del tipo de estructura. Las condiciones citadas, hacen referencia a la definición de la RAS, pues deben existir agregados reactivos, presencia de iones alcalinos (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , OH^-) en la solución de poros aportados principalmente por el cemento, humedad elevada en forma periódica o permanente que dependerá de la ubicación de la estructura y del medio ambiente; y por último la temperatura es un factor que puede acelerar el proceso de deterioro [2].

Los primeros antecedentes de estructuras afectadas por RAS, fueron detectadas entre los años 1920 y 1930 en los Estados Unidos de América [5]. En la planta hidroeléctrica Buck, construida en 1912 en Virginia, se detectaron las primeras evidencias de RAS, expansión y fisuración, en 1922. Los resultados de ensayos realizados con los

mismos agregados utilizados en la construcción de la planta empleando un cemento de elevado contenido de álcalis mostraron grandes expansiones luego de un año a 43 °C [6]. En 1932, la presa Owyhee en Oregon se construyó con un agregado natural caracterizado como muy reactivo con el método de la barra de mortero y solamente se manifestaron evidencias de RAS, fisuración, en 2 ó 3 áreas en 1937, este deterioro progresó hasta los seis años (1943) [7]. La presa Parker, sobre el río Colorado, se terminó de construir en 1938 y a los dos años aparecieron fisuras características de la RAS de igual manera a lo diagnosticado por Stanton [8]. En Argentina, a mediados de la década de 1950, la Dirección de Vialidad de la Provincia de Buenos Aires solicitó al LEMIT, con posterioridad a la construcción, evaluar el deterioro progresivo del camino de hormigón a Punta Lara; estudios realizados a los agregados y al cemento confirmaron que era posible la existencia de RAS en el hormigón [9].

En las figuras 2, 3 y 4 se muestran ejemplos de obras de hormigón afectadas por RAS en Argentina. El hormigón de las figuras 2 y 3 está elaborado con agregados de reacción rápida o normal y el hormigón de la figura 4 con agregados de reacción lenta.



Figura 2. Pilares de compuerta reguladora de agua. Cinco Saltos. R. Negro



Figura 3. Hormigón de la presa "El Cadillal" Tucumán.



Figura 4. Pavimento en la ciudad de Olavarría

La RAS se puede evitar si se toman los recaudos necesarios en la redacción de las especificaciones de los pliegos de construcción y que las mismas se cumplan en obra.

Para evitar la RAS es necesario que uno de los tres factores principales (agregados reactivos, álcalis y humedad) no esté presente o esté en cantidades insuficientes durante la vida en servicio [10-11]. Por lo tanto, en caso de existir algunos de estos factores, por ejemplo obras que estén en contacto con humedad elevada, habrá que evaluar los agregados frente a los álcalis antes de ser usado en la elaboración del hormigón, con el fin de eliminar uno de los factores (agregados reactivos). En el caso de que fuesen potencialmente reactivos, buscar soluciones tecnológicas para atenuar la RAS como por ejemplo disminuir el contenido de álcalis en el hormigón y/o usar adiciones minerales activas y de esta manera lograr la vida útil de diseño de la estructura. Para cumplir con este propósito existen diversos métodos de ensayo que permiten evaluar a los agregados y a los materiales cementantes. Otra tendencia nueva es analizar el conjunto de materiales (agregados-material cementante) y observar el comportamiento de dicho conjunto.

Detectar los agregados potencialmente reactivos y aplicar soluciones tecnológicas comprobadas, a través de métodos de ensayo de laboratorio, sería la manera más simple

para evitar el deterioro de las estructuras de hormigón por RAS. Los estudios previos de los agregados, a la ejecución de una obra, no solamente son de carácter técnicos, sino también de carácter económico, ya que al ser considerados potencialmente reactivos es necesario la búsqueda de una solución técnica-económica factible, ya sea analizando el material cementante y/o el conjunto de materiales.

La consecuencia más significativa de la RAS es el aumento de volumen del hormigón, que puede dejar fuera de servicio a las estructuras. De acuerdo al tipo de estructura será la consecuencia, por ejemplo en un pavimento, la expansión generada por la RAS, producirá el cerrado de las juntas de dilatación, roturas y posteriormente una superposición de las losas, con lo cual el daño entorpece al tránsito. Cuando el hormigón corresponde a una obra hidráulica, como es el caso de los pilares y compuertas de un dique se produce el bloqueo de las mismas o filtraciones en el cuerpo de las presas. Generalmente, el grado de deterioro se agrava por la coexistencia de otras agresiones que aumentan el grado de deterioro, la circulación de agua, la carbonatación, congelación y deshielo, etc.