

Deterioro de probetas de concreto por agentes físicos y químicos

Concrete Test Tubes' Deterioration by Physical and Chemical Agents

Javier Hugo Hernández Delgadillo*

Resumen

Debido a los procesos de deterioro y daño que afectan seriamente la integridad de las obras de infraestructura, han tomado gran auge en los últimos años los estudios sobre la forma y los mecanismos de degradación de los materiales con los cuales estas se construyen. Uno de estos materiales es el concreto, por lo que el Grupo de Investigación en Materiales y Obras Civiles, GIMOC, de la Uptc, ha emprendido investigaciones preliminares para determinar el nivel, el comportamiento y el proceso de deterioro de probetas de concreto al ser sometidas a distintos agentes físicos y químicos observados en diversas estructuras de la región. El artículo muestra, en primer término, referentes conceptuales acerca de la durabilidad y comportamiento de los elementos de concreto y los diferentes tipos de agentes que los afectan; posteriormente reseña los resultados cualitativos encontrados en los ensayos efectuados a probetas de concreto sometidas a la acción acelerada

Abstract

The on going studies on the different materials degradation's form and mechanisms with which the different infrastructure works are built, is in the up beat in the last years due to the serious deterioration and damage's processes that affect these works' integrity. The concrete is not an exception to this reality and for that reason the Investigation Group on Materials and Civil Works, GIMOC, has undertaken the preliminary investigations to determine the concrete test tube deterioration behaviour and level's process, after being subject to the different physical and chemical agents observed in the diverse structures of the region. The present article shows, first some conceptual referents about the concrete elements' durability and behavior and the different types of agents that affect them. Second it refers to the qualitative results found in the rehearsals made to the concrete test tubes subjected to the several physical and chemical agents

* Ingeniero Civil, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Aspirante a Especialista en Gerencia de Proyectos. Ingeniero de Proyectos de la División Capex de Acerías Paz del Río S.A. – Votorantim Siderurgia. Asesor externo en Gestión, Planeación y Ejecución de Proyectos de Inversión.

de varios agentes físicos y químicos, y culmina con una discusión acerca del análisis de los parámetros encontrados en los apartes anteriores y de las inquietudes generadas para establecer de forma más profunda el comportamiento del concreto ante este tipo de agentes.

Palabras clave: Hormigón, Patología estructural, Probetas de Concreto.

accelerated action, and ends up with a discussion about the parameters analysis found in the above mentioned items and the questions raised to settle down in the deepest way the concrete behavior facing this type of agents.

Key words: Reinforced and Prestressed Concrete, Structural Pathology, Concrete Test Tube.

1. Introducción

Las estructuras de concreto son diseñadas y construidas para satisfacer una serie de requisitos expresados en términos de resistencia, funcionalidad, seguridad y estética, entre otros, basados en un adecuado proceso de diseño iterativo que busca cumplir con las premisas enunciadas esperando que la estructura construida tenga una vida útil lo suficientemente larga. Sin embargo, en la actualidad, el cambio en las condiciones climáticas, los fenómenos naturales y la contaminación en general, entre otros, han generado mecanismos de deterioro en los diferentes materiales que hasta ahora no eran tenidos muy en cuenta dentro de los procesos de diseño y construcción. Por lo tanto, el concreto no va a estar expuesto sólo a acciones de tipo mecánico, expresadas en términos de cargas de servicio, sino que además los factores de intemperismo que afectan su clima y microclima van a ser agentes preponderantes en su comportamiento, factores que crean nuevas variables que llegarían a generar procesos de deterioro y posterior daño parcial o total.

En un comienzo se supuso que el concreto podría resistir cualquier condición de exposición a agentes climáticos, de tipo físico o químico, y que por lo tanto no requería de mantenimiento; pero a través de observaciones realizadas a numerosas estructuras se ha evidenciado la susceptibilidad del concreto ante diferentes tipos de agentes físicos, químicos y biológicos que afectan de forma importante su comportamiento. Estos problemas están reflejados en el deterioro y progresiva degradación de los elementos, debido, entre otras cosas, a especificaciones no apropiadas o ignoradas en el momento de la concepción y diseño, y a procesos constructivos mal ejecutados. Por lo tanto, el conocimiento detallado de estos agentes se convierte en elemento primordial de decisión sobre la calidad y grado de control en la operación y puesta en obra de mezclas en concreto y la pertinencia o necesidad de implementar medidas de mitigación a fuertes agentes agresores presentes en el clima y microclima de la estructura.

Aunque las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98 [1] establecen,

en su capítulo C-4, algunos parámetros para tener en cuenta cuando el concreto se encuentra sometido a algún tipo de agente agresor, como sulfatos y ácidos, entre otros, las especificaciones planteadas son superficiales, y, por lo tanto, los efectos que el concreto presentaría ante estos agentes no podrían llegar a ser controlados debido al desconocimiento del comportamiento de estos agentes y a la forma como afectan el material.

El presente artículo muestra los resultados cualitativos encontrados en la investigación adelantada al deterioro controlado de más de 60 probetas de concreto que fueron sometidas de forma acelerada a diferentes agentes físicos y químicos para conocer, de manera preliminar, el comportamiento del concreto como material afectado, y el nivel de daño de estas muestras al ser afectadas por dichos agentes. Este estudio hace parte del proyecto de investigación “Degradación del concreto ante agentes físicos, químicos y biológicos”, de los Grupos de Investigación GIMOC y GRINFRAVIAL de la Uptc.

2. Referentes conceptuales

El concreto armado puede ser considerado un material perdurable, dependiendo del uso y de las características del tiempo. Estas dos condiciones dependen de la proyección que se haya dado al diseño, de acuerdo con los requerimientos de uso y entorno. Deben tenerse en cuenta seis factores principales que contribuyen a la degradación del concreto armado [2]:

1. Cambios de temperatura en su entorno.
2. Reacciones químicas a las que está sometida la estructura.
3. Vibraciones.
4. Erosión.
5. Corrosión.
6. Contaminación ambiental, como SO_2 y SO_3 , entre otros.

Los dos últimos factores ocasionan el mayor deterioro en el concreto, con la disminución de las secciones de los diferentes elementos estructurales.

Se debe tener en cuenta que el concreto es un

compuesto de varios materiales que se mezclan para obtener un aglutinante con muy buenas resistencias y un comportamiento “homogéneo”, pero no hay que olvidar que el concreto, gracias al gran aporte del cemento, es un material químicamente activo que puede reaccionar de forma anormal ante determinados compuestos, como los enunciados por

Piedrahita [2], entre otros, y que lo afectan de forma considerable. Por lo tanto, es necesario identificar dentro de sus componentes aquellos que son especialmente reactivos, para llegar a establecer medidas de prevención ante los agentes mencionados. La composición química del cemento se puede encontrar en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis de compuestos del cemento

Nombre	Composición química	Representación simbólica	% medio en cemento
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C3S	48%
Silicato bicálcico	2CaO.SiO ₂	C2S	27%
Aluminato tricálcico	3CaO.Al ₂ O ₃	AC3	12%
Ferroaluminato de calcio	4CaC.Fe ₂ O ₃ .Al ₂ O ₃	AFC4	8%
Cal (CaO), magnesia, (MgO) y álcalis			5%

La identificación anterior se denomina análisis de compuestos, para diferenciarlo del análisis de óxidos,

cuyo valor promedio para un cemento normal es el siguiente (tabla 2):

Tabla 2. Análisis de óxidos del cemento

Representación simbólica	% medio en cemento
SiO ₂	21%
Al ₂ O ₃	6.50%
Fe ₂ O ₃	2.50%
CaC	64%
MgO	2,50%
SO ₃	2,10%

Algunos de estos elementos se convierten en “males necesarios” para que el cemento logre, junto con los demás materiales empleados en la mezcla del hormigón, las resistencias y durabilidad esperadas. Dentro de estos compuestos se pueden nombrar el aluminato tricálcico, que le provee al concreto un calor de hidratación bastante alto y alta reacción con los sulfatos, ya que estos reaccionan con el aluminato tricálcico para formar el sulfoaluminato de calcio, que tiene un volumen mayor que el de las sustancias

que le dan origen, lo cual trae como consecuencia la aparición de esfuerzos internos que pueden llegar a desintegrar el material [3]. Dentro de la mezcla, el aluminato tricálcico es un compuesto preponderante en el proceso de fraguado de la mezcla, por lo que su inclusión dentro del cemento es vital. Además de los sulfatos, los ácidos se encuentran entre los agentes químicos más agresivos del concreto. En la tabla 3 se muestra de forma resumida una clasificación de los ácidos que son más dañinos para el concreto.

Tabla 3. Ácidos que deterioran el concreto

ÁCIDOS	
Inorgánicos y minerales	Orgánicos
Ácido clorhídrico	Ácido acético
Ácido brómico	Ácido Formica
Ácido carbónico	Ácido láctico
Ácido de cromo	Fenol
Ácido fluorhídrico	Ácido tánico
Ácido fosfórico	Ácido butílico
Hidrógeno sulfurado	Ácido úrico
Ácido nítrico	Microorganismos
Ácido sulfúrico	Ácido húmico
Ácido sulfuroso	

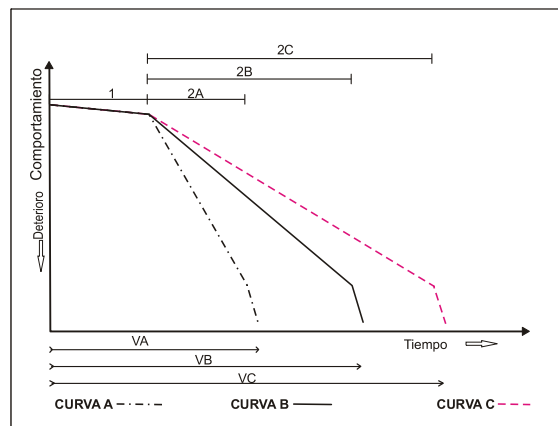
Adaptada de Sánchez, Diego [4].

Por otro lado, es necesario considerar términos como la durabilidad y la forma de comportamiento de una estructura ante la acción de estos agentes. Sánchez define la durabilidad del concreto como “la capacidad para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, de los agentes químicos, biológicos y/o de cualquier otro proceso de deterioro”[4]. Esto es, la resistencia de la estructura obtenida a partir de las especificaciones suministradas en la concepción, diseño y posterior construcción.

Por lo tanto, la durabilidad y el comportamiento de la estructura se convierten en un “juego de equilibrio” entre las acciones o agentes, ya sean de tipo mecánico, físico, químico, biológico o de cualquier

tipo (que denominarán “agentes agresores”), y las especificaciones suministradas a la estructura en cada una de sus etapas antes y durante la construcción en términos de resistencia, rigidez, permeabilidad y condiciones superficiales (al cual se denominarán “especificaciones previas”). Como elemento mediador en este “juego de equilibrio”, el mantenimiento o conservación de la estructura determinan, junto con los otros dos conjuntos actuantes, el comportamiento de la estructura de concreto.

Teniendo en cuenta los elementos actuantes, los diferentes tipos de comportamiento bajo los cuales se puede categorizar una estructura o elemento de concreto se pueden resumir en la gráfica 1.



Gráfica 1. Tipos de comportamiento de una estructura de concreto.

La gráfica muestra los diferentes comportamientos de una estructura o elemento de concreto con el paso del tiempo a partir de la relación entre los agentes agresores, las especificaciones previas y el mantenimiento o conservación realizados. Cada una de las curvas muestra un comportamiento similar establecido en función de tres etapas que dependen de los elementos mencionados. La primera etapa (1) representa el deterioro normal de la estructura con el paso del tiempo por efectos como la fatiga y el deterioro natural de los materiales; la segunda etapa (2) representa el comportamiento de la estructura luego de la acción de los agentes agresores, y por último, en la parte final de cada una de las curvas se encuentra un cambio en la pendiente que muestra la franja de daño o colapso parcial o total de la estructura, en la cual se establece el final de la vida útil (V_i) de esta.

La curva B representa comportamiento normal de una estructura. En la segunda etapa (2B), el deterioro de la estructura se produce por las acciones mencionadas en la primera etapa y por la aparición de agentes agresores. Las consecuencias de este agente se prevén dentro de las especificaciones previas. La vida útil de esta estructura (V_B) se encuentra dentro de los límites esperados por el diseñador.

La curva A representa el comportamiento de una estructura deteriorada rápidamente. En la segunda etapa (2A), la aparición y posterior acción de los agentes agresores no se prevén dentro de las especificaciones previas, por lo que la pendiente de la curva de comportamiento en la etapa aumenta de forma considerable, disminuyendo la vida útil (V_A) de los elementos o estructuras y, por lo tanto, causando un daño o un colapso, parcial o total, prematuro.

La curva C representa el comportamiento de una estructura con nivel de deterioro menor a la curva B. En la segunda etapa (2C), y de forma análoga a lo ocurrido en la curva B, las acciones de los agentes agresores se prevén dentro de las especificaciones previas, y además se ha realizado un mantenimiento o conservación rutinaria que ha permitido disminuir de forma considerable la pendiente de la curva y prolongar la vida útil (V_C) del elemento o estructura. Se debe tener en cuenta que este mantenimiento o

conservación rutinaria no hace referencia a estudios de vulnerabilidad estructural.

Los estudios de vulnerabilidad estructural buscan establecer en qué momento de una etapa en particular se encuentra la estructura, y, si su alcance lo exige, establecer las medidas correctivas ante los agentes agresores presentes o que se prevén, para llevar la estructura a su estado inicial, dado por las especificaciones previas, o a un estado mejor.

A continuación se hace una reseña de los resultados cualitativos encontrados en la investigación adelantada al deterioro controlado de más de 60 probetas de concreto que fueron sometidas de forma acelerada a diferentes agentes físicos y químicos para conocer, de forma preliminar, el comportamiento del concreto como material afectado y el nivel de daño de estas muestras al ser afectadas por dichos agentes.

3. Proceso experimental

Para el estudio del fenómeno de degradación del concreto se decidió exponer, de forma acelerada, probetas de concreto a diferentes agentes agresores y conocer preliminarmente la forma y el nivel de afectación de las muestras ensayadas. El periodo de afectación establecido fue de cuatro meses, aproximadamente, en el cual se varían elementos intrínsecos de la mezcla de concreto, como la relación agua/cemento, la posibilidad o no de curado, el tiempo de exposición de las probetas ante el agente, entre otros, buscando simular de forma real y acelerada el proceso de deterioro al cual están sometidas algunas estructuras de la región. A continuación se presenta un resumen del proceso realizado para cada uno de los agentes escogidos y los resultados encontrados al final del estudio desarrollado:

3.1 Agente ácido de batería

El deterioro en las probetas se produce por la reacción entre el ácido sulfúrico encontrado en el ácido de batería en solución y los compuestos cálcicos del concreto. La exposición de las probetas se realizó por medio de su sumergimiento en el ácido de batería, junto con su exposición al medioambiente.



Gráfica 2. Exposición de probetas al ácido de batería.

Se encontró que los bordes de las probetas se hicieron muy frágiles y presentaron pérdida de material. A partir de los 21 días de afectación, el concreto se hizo muy blando, y en algunas probetas se evidenció el aumento de volumen. Otro estudio desarrollado, tomando como concentración ácido sulfúrico en 50%, en condiciones atmosféricas durante tres horas y ciclos de secado de 12 horas diarias y con ciclos de humedecimiento cada tercer día, permitió encontrar

que se presenta lavado del material de color gris, evidenciando la pérdida de cemento, decoloración permanente que lleva a que se adquiera un tono blanco, y oxidación del cilindro a un mayor nivel, por la porosidad del concreto y la capilaridad de los poros de gel y microporos del concreto. Además, se encontró una lama de color blanca adherida a los cilindros sumergidos, lo que evidencia el crecimiento de microorganismos y la disminución del pH.



Gráfica 3 y 4. Afectación de las probetas ante el ácido de batería.

Estudios desarrollados por Peña y Santamaría [5], muestran que a mayor concentración del ácido sulfúrico la resistencia del concreto sufre una disminución considerable.

3.2 Agente ácido muriático

El agente de afectación utilizado es el ácido

clorhídrico industrial en bruto, producto del cloruro de hidrógeno, que es un gas incoloro, corrosivo e inflamable. El proceso de exposición se puede observar en la gráfica 5, donde se evidencia que aproximadamente el 50% de cada una de las probetas es afectada por el agente agresor. Similar al agente anterior, las probetas se encuentran a la acción del medioambiente.



Gráfica 5. Exposición de probetas ante el ácido muriático.

Luego de la exposición de las probetas al ácido muriático se encontró que estas presentan lavado total de los agregados finos y de la pasta cementante que las

componen. Los efectos de este son menores a los encontrados en el ácido sulfúrico, aunque sus efectos causaron un daño considerable a las probetas de concreto.



Gráfica 6. Afectación de las probetas ante el ácido muriático.

Estudios de Peña y Santamaría [5] muestran que en este tipo de ácidos la relación concentración vs. resistencia es inversamente proporcional; en este caso se producen cambios en la coloración superficial del concreto, desmoronamiento del agregado fino y pérdida total de la pasta de cemento. Peña y Santamaría-[5] concluyen que dentro de la afectación de estos agentes al concreto se produce una separación de iones de los componentes químicos del cemento.

3.3 Ciclo hielo-deshielo

El mecanismo de falla de los ciclos de hielo-deshielo se produce en el interior del concreto, donde el agua que se percola en los poros llega al congelamiento, incrementando su volumen en un 9% (según el estudio realizado) en relación con el volumen que se tiene en estado líquido; esto induce a un esfuerzo de tracción considerable en el interior de la pasta y de las partículas de agregado, que hace que la masa se fracture, dada su incapacidad mecánica para soportar tracciones.



Gráfica 7. Exposición de las probetas ante ciclo hielo-deshielo.

El cambio de temperatura afecta el concreto, pues ocasiona pérdidas de masa por afectación de la pasta, fisuras y ensanchamientos. Las fisuras que se inducen en el concreto sometido a este tipo de ataques físicos, en las condiciones que se realizó, llegan a un grado elevado. Se determinó pérdida de masa en las

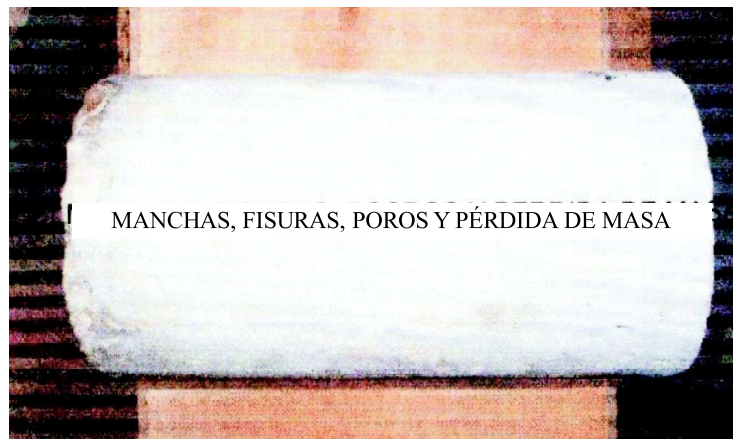
probetas, que pudo ocurrir por la manipulación de estas en los diferentes estados y al descongelarse el agua. La absorción fue incrementándose a medida que transcurría el tiempo de ataque, que es consecuente con el incremento de porosidad y la absorción al finalizar la prueba.



Gráfica 8. Afectación de las probetas ante ciclo hielo-deshielo.

Estudios desarrollados paralelamente por Peña y Santamaría [5] encontraron que los cilindros presentan desmoronamiento y pérdida de la pasta de cemento, picaduras, cambios en la coloración

superficial y fisuración en mapeo en las caras superiores. Estos efectos se producen por la contracción y la dilatación a las cuales están sometidas las probetas.



Gráfica 9. Afectación de las probetas ante ciclo hielo-deshielo.

4. Discusión

Uno de los materiales más importantes para la construcción de obras civiles es el concreto, cuyo estado del arte en cuanto a la degradación y deterioro ante agentes de tipo físico, químico y biológico todavía es somero, por lo cual se hace necesario desarrollar investigaciones más detalladas que permitan caracterizar su comportamiento ante dichos agentes, para posteriormente establecer medidas de mitigación que permitan conservar sus propiedades resistentes.

El nivel de influencia de los agentes agresores dentro del comportamiento y durabilidad de las estructuras de concreto depende en alto grado de las especificaciones previas suministradas a los elementos o estructuras.

El mantenimiento o conservación rutinaria de una estructura deben ser tenidos en cuenta dentro de la vida de servicio de esta. Esto permitirá que los efectos de los agentes agresores presentes en ella logren disminuirse, para así aumentar de forma considerable su vida útil.

Se requiere que en ensayos posteriores, dentro del análisis de los efectos de la degradación del concreto, se realicen observaciones detalladas sobre la afectación química del concreto, debido a la alta susceptibilidad presentada en esta temática por el cemento.

Se deben adelantar estudios que permitan conocer el grado de afectación de agentes biológicos al concreto por medio de ensayos *in situ*, por ejemplo, en estructuras que son afectadas por aguas residuales, como puentes, muelles, sistemas de alcantarillado,

tanques para tratamiento de aguas residuales, entre otros, y realizar ensayos en laboratorio para caracterizar el progreso del deterioro del concreto y evaluar qué otros agentes intervienen directa o indirectamente en el proceso de degradación.

Agradecimientos

Al ingeniero Diego Fernando Páez, por apoyar permanentemente cada uno de los proyectos adelantados y solucionar los interrogantes acerca del tema; a los estudiantes de Patología de la Construcción, cuyos aportes investigativos y técnicos hicieron posible llenar de interrogantes los espacios del Grupo de Investigación en Materiales y Obras Civiles, GIMOC; a la Escuela de Ingeniería Civil, por su propósito de que el GIMOC siga adelante; a la Dirección de Investigaciones, por su continua colaboración para con el GIMOC.

Referencias

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-98. Bogotá D.C., 2000.
- [2] A. Piedrahita. "Patologías por acciones biológicas: bioerosión del muelle La Padoga, Buenaventura, Colombia". *Revista Noticreto* 70: 42-50.
- [3] A. Sandino. Tecnología del concreto. Bogotá D.C., 1988.
- [4] D. Sánchez. Durabilidad y patología del concreto. Instituto del Concreto. Editorial Asocreto, 2003.
- [5] N. Peña y M. Santamaría. Evaluación y diagnóstico de durabilidad del concreto simple bajo la acción de procesos acelerados de deterioro. Trabajo de Grado. Ingeniería Civil. UPTC. Tunja, 2006.

Fecha de recepción: 23 de octubre de 2007
Fecha de aprobación: 30 de mayo de 2008