



El agua: Un agente de lesión silencioso en las estructuras de concreto reforzado

Camilo Andres Chinome Giraldo

Caisan Ingeniería SAS, Bogotá

Correo electrónico autor: administracion@caisaningenieria.com

Resumen: El presente artículo se constituye en una reflexión a nivel profesional de la afectación que ocasiona el agua en las estructuras de concreto reforzado. El permitir que el agua con su efecto diluyente penetre las estructuras de concreto ocasiona una serie de lesiones que deteriora los materiales que componen la estructura y con el tiempo disminuirán la capacidad de carga de las mismas. Con el fin de concientizar a diferentes colegas del ejercicio profesional se expone un compendio de criterios de inspección preliminar que permita establecer un plan de inspección, ensayos para la evaluación de la estructura y establecer la hoja de ruta con las recomendaciones de la disciplina de la patología de la construcción para que se califique la estructura, con el fin de recopilar los datos de entradas necesarios para que la diseñador estructural pueda realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica con los factores de seguridad más cercanos a la situación real actuante en la estructura.

PALABRAS CLAVE: Agua, agente de lesión, concreto reforzado, inspección preliminar, plan de inspección y ensayos, calificación de la estructura.

A. 1. INTRODUCCIÓN

(López et al., 2004), exponen que el agua es el elemento más abundante de la naturaleza y se presenta en diferentes estados en los que puede penetrar las estructuras de concreto como líquido o gas. Cuando el agua penetra una estructura de concreto se le conoce a dicho fenómeno como humedad por filtración. (Broto, 2005) define las filtraciones así: "Es la procedente del exterior y es la que penetra en el interior del edificio a través de fachadas o cubiertas" (2013, p.32). La definición de humedad por filtración está enfocada a los elementos que hacen parte de la envolvente de la edificación. Para el curso del presente artículo, es importante enfocarla a estructuras de concreto reforzado que han tenido interacción directa con el agua.

De acuerdo con la experiencia profesional, se definen las filtraciones en estructuras de concreto reforzado como un tipo de lesión física que se manifiesta porque el agua atraviesa la sección transversal antes de ser evacuada por el sistema de drenaje o el elemento de conducción. El agua puede vulnerar el concreto por sus intersticios (Posada, 2012), al tener alta permeabilidad la superficie porosa, o por lesiones mecánicas como grietas y fisuras que permiten el paso del agua.

Cuando el agua ingresa en reiteradas ocasiones al interior del concreto, desencadenara con el transcurrir del tiempo un deterioro de sus materiales constitutivos y en la armadura que producen diferentes lesiones que afectan la capacidad de carga de los elementos que conforman la estructura. Un deterioro por filtración de la estructura de concreto reforzado es un fenómeno silencioso que muestra una serie de síntomas que en la mayoría de casos se asocia como un problema de mantenimiento y cuando ya se hace una auscultación más profunda se puede encontrar que la integridad de la estructura ya está afectada y es cuando las intervenciones se vuelven onerosas.

Posteriormente, al ocurrir el deterioro en la estructura y si se omitió la revisión de los síntomas a tiempo, es cuando debe recurrir al apoyo de una consultoría especializada para este tipo de casos. En la construcción existe una disciplina que observa las estructuras de forma similar a la que los médicos tratan un paciente. Al igual que el paciente, la estructura tiene una vida útil y puede envejecer o padecer de una enfermedad. Para estudiar las enfermedades se requiere de un análisis semiológico detallado por un proceso de auscultación y estudios diagnóstico para definir sus lesiones, establecer una historia clínica y un proceso de intervención terapéutica. Esta disciplina se conoce como patología de la construcción.

La consultoría de patología de la construcción debe tener la suficiente pericia y suficiencia técnica para emitir un diagnóstico de la estructura de concreto reforzado y emitir una hoja de ruta para que se generen las labores de mantenimiento correctivo sobre la misma o en su máximo declive se emitan los conceptos e información suficiente para que el consultor de estructura pueda realizar el estudio de vulnerabilidad sísmica y el modelado de reforzamiento para rehabilitar la estructura.

En el desarrollo del artículo se presentará las diferentes consideraciones que se tienen para evaluar una estructura de concreto reforzado afectada por el agua en las etapas de inspección preliminar, levantamiento de información en campo, plan de inspección y ensayos, diagnóstico, recomendaciones y metodología para la intervención.



B. LA INSPECCIÓN PRELIMINAR

B.1 ¿De dónde proviene el agua?

El agua es un elemento que puede en los periodos de lluvia presentar una escorrentía sobre la superficie de diferentes elementos de la estructura que se encuentran en el exterior y si no se conducen con suficiente velocidad, el concreto permea el agua hasta saturarse y es cuando ocurre la filtración. También la aparición del agua puede desencadenarse porque el suelo absorbe en su estructura gran contenido de la misma y entra en una condición de saturación. En estructuras como lo son los muros de contención, en donde existan oquedades en el concreto puede presentarse el paso del agua. En las estructuras como lo son tanques y piscinas, en las cuales su funcionalidad es ser reservorios de agua para fines de suministro o lúdico, se pueden presentar filtraciones que son producto del paso del agua en un punto de falla del sistema de impermeabilización.

En principio al realizar la inspección y observar las manchas que deja el agua o el paso del agua de forma constante si el concreto está saturado se debe revisar primero su punto de origen. No hay que conformarse con ver el agua pasar, también se debe revisar encima o en el respaldo del elemento donde filtra el agua si existen grietas, huecos, superficies sin impermeabilizar, ausencia de canalizaciones o filtros, según sea el caso. El realizar este razonamiento en la inspección preliminar permitirá identificar la causa origen para emitir recomendaciones de solución desde la raíz del problema.

C. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN EN CAMPO

C.1 Procesos patológicos posibles en estructuras de concreto reforzado que se derivan del fenómeno de filtración

En la inspección preliminar cuando se esté en campo, se debe hacerse una idea de cuales procesos patológicos se están desarrollando en la estructura de concreto reforzado producto del agua como agente de lesión. A nivel general, las lesiones se agrupan por familias definidas por los autores, y el criterio de clasificación se estableció por la causa que produce la lesión o la evolución del proceso degenerativo. Las tres principales familias de lesiones conocidas en la patología de la construcción son: mecánicas, físicas y químicas; sin embargo, en algunas clasificaciones también son consideradas las biológicas y antropogénicas. (Eichler et al., 1978; Monjo & Maldonado, 2001; López et al., 2004; Broto, 2005; Montejo et al., 2013; Matallana, 2019).

En el proceso de evaluación de lesiones conocido como historia clínica, se debe tener en cuenta que un elemento puede tener una lesión o varias al mismo tiempo, y en el proceso de investigación se puede establecer que un proceso degenerativo pudo desencadenar otro.

Con el fin de hacer inteligible los procesos patológicos derivados del fenómeno de filtración estructuras de concreto reforzado, se presentan clasificados y descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de posibles lesiones en estructuras de concreto reforzado que se derivan del fenómeno de filtración.

Familia de lesiones	Codificación	Lesión	Descripción
MECÁNICAS	LM1	Grietas y fisuras	Son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente.
	LM2	Deformaciones	Alteración mecánica del elemento debido a solicitaciones externas. Esto implica pérdida de linealidad y verticalidad de la forma regular del elemento.
	LM3	Desprendimientos	Separación parcial o total del material que constituye el elemento ocasionado por pérdida de adherencia.
	LM4	Craquelado	Fragmentación de capa de recubrimiento.
FÍSICAS	LF1	Filtración localizada	Penetración de agua a través de puntos débiles de un elemento constructivo, de forma aislada (situada en puntos específicos).
	LF2	Humedad por filtración	Entrada o presencia de agua por puntos débiles de una construcción elemento, de forma generalizada (situado en superficies más extensas).
	LF3	Suciedades	Se observa rastros de escurrimiento por la superficie de concreto
	LF4	Meteorización	Desintegración y descomposición del concreto producto del contacto con el agua, ciclos de deshielo y cambios de temperatura que afectan su composición física, sin afectar su composición química y mineralógica.
QUÍMICAS	LQ1	Ataque de sulfatos	El ataque se produce cuando, a través del agua, los sulfatos entran en contacto con los compuestos hidratados de la pasta de cemento. Este contacto hace que se produzca una reacción química que desencadena expansión en la pasta y crea una presión capaz de fracturarlo.



Familia de lesiones	Codificación	Lesión	Descripción
QUÍMICAS	LQ2	Corrosión del acero de refuerzo	Reacción electroquímica que se genera cuando el acero se oxida por contacto directo con el aire o el agua (contacto con el ion cloruro).
	LQ4	Erosión química del concreto	Abrasión del concreto por su exposición directa a fenómenos climatológicos. La abrasión se produce en la pasta cementante.
	LQ3	Carbonatación del concreto	Pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto.
	LQ4	Lixiviación del concreto	Proceso mediante el cual el agua, al penetrar a través del concreto, disuelve y extrae el hidróxido de calcio e incrementa la porosidad.
	LQ5	Reacción álcali-agregado	Esta es una reacción desfavorable dentro de la masa endurecida de concreto. Se produce entre los óxidos de sílice (SiO ₂) y los óxidos alcalinos de la pasta de cemento, óxido de sodio (Na ₂ O) y óxido de potasio (K ₂ O). Al reaccionar químicamente generan un gel hinchable que aumenta de volumen a medida que absorbe el agua, y el concreto, origina presiones internas que conducen a la expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento.
	LQ6	Corrosión del acero de refuerzo	Reacción electroquímica que se genera cuando el acero se oxida por contacto directo con el aire o el agua (contacto con el ion cloruro).
BIOLÓGICAS	LB1	Plantas superficiales	Aparecen en grietas o dilataciones que no están selladas y existe condición ideal de humedad para su crecimiento.
ANTROPOGÉNICAS	LA1	Carencia de mantenimiento	Se produce envejecimiento de la cubierta y obsolescencia de sus elementos, producto de no tener programa de mantenimiento.
	LA2	Errores de diseño	No se revisa el comportamiento funcional y materialidad del elemento que debe tener ante la solicitud de servicio.
	LA3	Errores de proceso constructivo	No se siguen especificaciones técnicas y se construye el elemento de tal forma que su morfología y funcionalidad no es la adecuada.

D. PLAN DE INSPECCIÓN Y ENSAYOS

El plan de inspección y ensayos es el conjunto de ensayos de campo y laboratorio que se deben ejecutar para tener un parámetro o criterio de aceptación que conforman un estándar de calidad (AIS 100, 2010; PMI, 2017), el cual, permite evaluar un elemento y en nuestro caso es el concreto reforzado. Existen varias opciones para definir un estándar de calidad mínimo. Un ejemplo internacionalmente aceptado y que permite la construcción de un conjunto de criterios mínimos dentro de un sistema de ejecución es la ISO 9001:2015: Sistemas de gestión de la calidad. Cada País tiene una estructura para certificar sistemas y dentro de ellos pueden existir los de las empresas de laboratorio de materiales que contemplen listas de chequeo para su evaluación.

Para aplicar mecanismos de control de calidad en el plan de inspección de ensayos recomendado, se tienen el principio de control de variables, y control de atributos El control de variables consiste en la aceptación o rechazo de un producto a través de la medición de un parámetro de gran importancia (Cortés,2017). Para el control de variables en el plan de inspección y ensayos propuesto se tiene los ensayos de resistencia a la compresión del concreto, tensión de barras de acero de refuerzo, ultrasonido, ensayo de corrosión de media celda y permeabilidad del concreto. El control de atributos consiste en una clasificación de aceptación o rechazo de un producto por un parámetro de observación cualitativa y no por una medición, (Cortés,2017). Para el control de atributos en el plan de inspección y ensayos propuesto se tiene los ensayos de carbonatación del concreto, ensayo de ferro-scan, calas de exploración, petrografía y prueba de estanqueidad.

Con el fin de hacer inteligible los posibles ensayos que se recomiendan practicar en el caso de evaluar una estructura de concreto reforzado afectada por filtración, se presentan clasificados y descritos en la tabla 2.

Cuando se obtienen los resultados de los ensayos el consultor de patología deberá realizar un memorial de análisis de resultados de la información obtenida que servirá de soporte para la emisión de un dictamen sobre las causas de falla y gravedad de las lesiones presentadas.



Tabla 2. Plan de inspección y ensayos recomendado para evaluar una estructura de concreto reforzado afectada por filtración.

Nombre del ensayo	Tipo de ensayo	Criterio de aceptación
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO NTC 673, (ICONTEC, 2010)	Destructivo	Mínimo 17 Mpa. Debe coincidir con los diseños establecidos por el diseñador estructural, (AIS 100,2010)
Ensayo de tensión en barras de acero (ICONTEC,2021; ICONTEC 2020)	Destructivo	Mínimo 420 Mpa para refuerzo de acero longitudinal. Debe coincidir con los diseños establecidos por el diseñador estructural, (AIS 100,2010)
PULSO ULTRASÓNICO EN EL CONCRETO, (ICONTEC, 1997)	No destructivo	Es captable si tiene una velocidad de más de 3.600 m/s, (Matallana,2019)
ENSAYO DE POTENCIAL DE CORROSIÓN DE MEDIA CELDA, (ASTM,2015)	Semi-destructivo	Si el electrodo de sulfato de cobre da una medición menor a -350 mV, significa que hay un 90% de probabilidad de corrosión activa
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO NTC 4483, (ICONTEC, 1998)	Destructivo	Penetración del agua menor a 30 mm, (Matallana, 2019)
ENSAYO DE CARBONATACIÓN DEL CONCRETO, (ASTM,2000)	No destructivo	Se coloca fenolftaleína en la superficie de concreto. Las áreas carbonatadas del concreto no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor a 9 tomarán un color rosado brillante. Este cambio apreciable de color muestra cuál es la profundidad de carbonatación dentro de la masa de concreto.
DETECCIÓN DE ACERO DE REFUERZO POR FERROSCAN (PROCEQ,N.D)	No destructivo	El scanner materializa en la pantalla una proyección visual de la silueta de los aceros de refuerzo que permite caracterizar su longitud y diámetros
ENSAYO DE PETROGRAFÍA, (ASTM,2017)	No destructivo	Caracterizar el material en términos de porcentajes composicionales, presencia de contaminantes y ocurrencia de reacciones perjudiciales.
CALAS DE EXPLORACIÓN, (PROYECTO PATRIMONIO, 2012)	Destructivo	Se desvanece las capas del elemento y se va evaluando espesores de recubrimiento y elementos embebidos en el mismo.
PRUEBA DE ESTANQUEIDAD ASTM D5957-98 (2021)	No destructivo	No se deben presentar filtraciones en un periodo de 24 horas debajo de la cubierta (Osuna, 2016)

E. DIAGNÓSTICO

El proceso de diagnóstico se realiza cuando ya se levantó las lesiones y los ensayos de apoyo diagnóstico. Cuando se realice el mismo se debe emitir un dictamen con criterio técnico, avalado con los criterios de aceptación de los ensayos e indicar la gravedad de la afectación de la estructura. Es bueno considerar como una condición agravante la frecuencia de los mantenimientos preventivos al exponer el diagnóstico. En el proceso de diagnóstico es necesario calificar la estructura por calidad de diseño y construcción, (AIS,2010). La calificación se realiza con el fin de asignar un factor de seguridad entre buena, regular y mala, que oscila entre 0,6-1 con el fin que el consultor de estructura pueda afectar el coeficiente de disipación de energía al modelar el diseño sismo resistente.

F. RECOMENDACIONES Y METODOLOGÍA DE LA INTERVENCIÓN

Como punto final de un estudio de patología de una estructura de concreto reforzado se deben emitir unas recomendaciones y una metodología de la intervención. Las recomendaciones son todas las labores de estudios complementarios de otras disciplinas que se deben realizar para ampliar el diagnóstico en caso que existan riesgos de estabilidad, estos estudios pueden ser de geotecnia o vulnerabilidad sísmica.

La metodología de la intervención se refiere a todas las labores necesarias para realizar una rehabilitación o mantenimiento del concreto. En caso de requerir una rehabilitación se deben generar una memoria descriptiva y planos de reforzamiento necesarios para que se pueda intervenir la estructura sin arriesgar la estabilidad del inmueble.

El proceso de mantenimiento se debe enfocar a realizar labores para que la estructura se encuentre en óptimo funcionamiento. En las estructuras de concreto lo ideal es realizar concretos con baja permeabilidad y recubrimientos impermeables que generen estanqueidad y disminuyan el riesgo de filtración, (Chinome&Ríos,2021).



G. CONCLUSIÓN

Como Colofón, se tiene que el agua es un agente de lesión que se suele subestimar en las estructuras y el proceso de diagnóstico de un concreto deteriorado por el agua que no se trató a tiempo requiere de un protocolo de patología estructurado, que no solo va a tener en consideración una revisión en campo por medios organolépticos y un plan de inspección de ensayos que genera unos parámetros de criterios de aceptación necesarios para generar un diagnóstico. Del diagnóstico parte las diferentes recomendaciones y metodología de la intervención que pueden desencadenar estudios de otros especialistas, reforzamiento estructural y/o labores de mantenimiento que se enfoquen en generar estanqueidad en el concreto.

H. REFERENCIAS

- AIS 100, (2010). TÍTULO A – Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente. NSR-10, TÍTULO A. Colombia.
- AIS 100, (2010). TÍTULO C – Concreto estructural. NSR-10, TÍTULO C. Colombia.
- AIS 100, (2010). TÍTULO I - Supervisión técnica. NSR-10, TÍTULO I. Colombia.
- ASTM, (2000). ASTM C114: Métodos de prueba estándar para el análisis químico del cemento hidráulico. Estados Unidos.
- ASTM, (2015). ASTM C876: Método de prueba estándar para potenciales de corrosión de acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto. Estados Unidos.
- ASTM, (2017). ASTM C856 Práctica estándar para el examen petrográfico de hormigón endurecido. Estados Unidos.
- Broto, C. (2005). Enciclopedia Broto De Patologías De La Construcción. Control.
- Chinome, C. & Ríos-Fresneda, C. (2021). "Modelo para especificar, ejecutar y controlar la impermeabilización de cubiertas planas en concreto reforzado construidas en la ciudad de Bogotá". Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de patología de la construcción y el XVIII de control de calidad en la construcción CONPAT Brasil 2021, 133-149. DOI: <https://doi.org/10.4322/conpat2021.496>
- Cortés, J.M. (2017). "Sistema de gestión de calidad (ISO 9001:2001)". ICB Editores-Bogotá: Ediciones de la U; 1ra edición. p. 178.
- Eichler, F., Margarit, A. & Fabregat, J. (1978), Patología de la construcción. Detalles constructivos. (2da Ed). Blume. (original publicado en 1973).
- ICONTEC. (1997). Ingeniería civil y arquitectura. Metodo de ensayo par la determinacion de la velocidad de pulso ultrasonico a traves del concreto. Bogotá.
- ICONTEC. (1998). NTC 4483. ingeniería civil y arquitectura. Concretos. Métodos de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua. Bogotá.
- ICONTEC. (2010). NTC 673. Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. Bogotá.
- ICONTEC. (2020). NTC 2289. Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto
- ICONTEC. (2021). NTC 2289. Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto
- López, F., Rodríguez, V., Cruz, J., Torreño, & Ubeda, P. (2004). Manual de patología de la edificación. Tomo 1 El lenguaje de las grietas, patología y recalce de cimentaciones. Universidad Politécnica de Madrid
- López, F., Rodríguez, V., Cruz, J., Torreño, & Ubeda, P. (2004). Manual de patología de la edificación. Tomo 3 lesiones en los edificios debidas a las humedades. Patología de las cubiertas y las fachadas. Universidad Politécnica de Madrid.
- Matallana, R. (2019). El concreto: Fundamentos y nuevas tecnologías. Concreto & Corona, Colombia.
- Monjo, J. & Maldonado, L. (2001). "Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas". Munilla-Lería, Madrid.
- Proyecto Patrimonio. (2012). Prospección estratigráfica proyecto Inventario de los bienes muebles de la Iglesia del Voto Nacional. Corporación proyecto patrimonio, Colombia. <http://www.proyectopatrimonio.info/wp-content/uploads/2018/06/Prospeccion-mural-Voto-nacional.pdf>
- Montejo, A., Montejó, F. & Montejó, A. (2013). "Tecnología y patología del concreto armado". Universidad Católica de Colombia. Bogotá.
- Osuna-Moral, J.J. (2016). "Pruebas de estanqueidad para cubiertas planas, identificación y solución de fallos en el desarrollo de las pruebas", Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, p.29.
- PROCEQ. (n.d). Instrumentos portátiles de ensayos no destructivos de hormigón. https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Concrete%20Testing%20Products_Sales%20Flyer_Spanish_high.pdf
- PMI. (2017). "Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos PMBOK". (6ta ed.). Estados Unidos.
- Posada, B. (2012). La degradación del concreto armado. Revista Universidad EAFIT, 30(93), 83-98. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1417>