

PROPUESTAS DE ENSAYOS AL HORMIGÓN ARMADO EN ESTRUCTURAS PATRIMONIALES SEGÚN SU ESTADO TÉCNICO-CONSTRUCTIVO

Ing. Javier Colina Hernández¹, Ing. Dariel Soto Portillo², Ing. Ernesto Romero Carmenate³

1. *Planificación Física Cárdenas, Anglona entre Coronel Verdugo e Industria*

2. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. dariel.soto@umcc.cu*

3. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. ernesto.romero@umcc.cu*

Resumen

El hormigón armado como material de construcción debido a sus prestaciones es de los más usados desde fines del siglo XIX hasta la actualidad. Los costos de mantenimiento de las estructuras de este material, como la de corrección o contención de las patologías, son económicamente significativos, de ahí que ha estimulado la investigación científica y tecnológica. A pesar del interés y de los estudios sobre los ensayos al hormigón armado, no existe consenso sobre su empleo causando en algunas oportunidades inadecuadas reparaciones y excesivos gastos económicos en la rehabilitación, especialmente en estructuras patrimoniales, siendo este el problema general tratado en la presente investigación. Se brindan propuestas de ensayos a elementos estructurales de hormigón armado teniendo en cuenta el estado técnico-constructivo de los mismos, los cuales a su vez agilizarían el proceso de diagnóstico a las edificaciones.

Palabras claves: *Hormigón armado; Patologías; Investigación; Ensayos; Estado técnico-constructivo.*

Introducción

El hormigón armado como material de construcción, se pensó que podría tener una duración ilimitada. Sin embargo, en la actualidad se reporta un número creciente cada día de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de iones cloruro que penetran desde el exterior por difusión o porque fueron incorporados a la mezcla de concreto y /o a la carbonatación del recubrimiento de concreto.

Las primeras observaciones de corrosión del acero embebido en el hormigón fueron hechas a principios del siglo XX, principalmente en ambientes marinos y plantas químicas. Sin embargo, sólo a mediados del mismo se inició el estudio sistemático de este problema que ha llegado a ocupar un lugar importante dentro de las investigaciones sobre corrosión a nivel mundial, por los problemas y tipos de estructuras involucradas.

La corrosión de las armaduras se considera la patología, entre otras, la más significativa y reiteradamente encontrada en estas estructuras, siendo esto un problema que preocupa seriamente al sector de la construcción en todo el mundo, pues las pérdidas por concepto de reparación son abismales.

Los efectos de la corrosión de las armaduras influyen directamente sobre el acero, sobre el hormigón y sobre la adherencia entre el acero y el hormigón.

Dado el grado de deterioro en que se encuentran las edificaciones en la actualidad y con el fin de preservar los valores patrimoniales, culturales, históricos y patrióticos de nuestra nación, se ha dado lugar a la restauración de las grandes ciudades, como fue Matanzas en su aniversario 325. Esta tarea tiene un rol de vital importancia, ya que posibilita la recuperación y mantenimiento de estas edificaciones para darles un uso socioeconómico adecuado, recuperando su funcionalidad y preservando a su vez todos los valores antes mencionados.

Desarrollo

El hormigón armado es aquel que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos, tanto de compresión, como de tracción, estos últimos encargados de soportarlos las armaduras de refuerzos. El hormigón o concreto, por sus características pétreas, soporta bien esfuerzos de compresión, pero se fisura con otros tipos de solicitaciones como la flexión, tracción, torsión, cortante. La inclusión de refuerzos metálicos que soportaran dichos esfuerzos propició optimizar sus características como el coeficiente de dilatación, el cual es semejante al del hormigón, despreciándose los cambios por temperaturas. También la adherencia química y mecánica, al ser el acero corrugado y la contracción del hormigón debido al fraguado, haciendo que las barras dentro del hormigón queden sujetas y evitándose el pandeo de las mismas.

También es de importancia que el pH alcalino del cemento ayuda a proteger el acero de la corrosión, fenómeno llamado pasivación del acero y su empleo generalizado en múltiples obras de ingeniería y arquitectura. Como resultado se obtiene un material de construcción de lo más versátil, teniéndose en cuenta para casi todo tipo de proyectos. (Santana y Caneiro, 2013)

El hormigón armado presenta dos formas de construcción generalmente, la tipología clásica que se puede construir in situ y la prefabricada. La elaboración in situ se realiza colocando los materiales ya mezclados a pie de obra, es decir en el lugar donde se lleva a cabo la construcción. A diferencia, la tipología del prefabricado, se realiza en lugares especializados con moldes destinados a dar forma a los elementos que se necesita a pie de obra, teniendo en cuenta la resistencia que se necesita. Otro aspecto que se debe tener muy en cuenta es el recubrimiento del acero por el hormigón, el cual no es más que el espacio existente entre la parte exterior del acero y la superficie interior del encofrado. Este espacio mínimo libre entre las barras y el encofrado debe ser para que los aceros de refuerzos no queden nunca al descubierto, asegurándose así su conservación, así como preservados de la acción del calor en caso de incendio.

El principal inconveniente de su utilización aparte del mencionado anteriormente, es que el hormigón armado presenta dificultades y casi la imposibilidad de hacer una modificación en el edificio después de construido, lo que no sucede siendo el esqueleto puramente metálico.

❖ Procesos Patológicos

Como todos los demás materiales sufren de lesiones, las cuales se van haciendo notar en las edificaciones confeccionadas con este compuesto, los cuales son debidos a procesos patológicos.

En un proceso patológico hay tres partes bien distinguidas, las cuales son: el origen, la evolución y el resultado final, de tal modo que para un buen estudio patológico se debe recorrer dicha secuencia en orden inverso.

Los procesos patológicos del hormigón armado como un todo, vienen entendiéndose en problemas de resistencia, durabilidad, calidad, compacidad y los procesos de corrosión en el mismo.

❖ Causas y síntomas de las lesiones

Las causas de las lesiones son agentes que actúan como origen del proceso patológico y que resulta en una o varias lesiones, derivándose lesiones primarias y secundarias, al igual que varias causas se pueden reunir en una misma lesión, como son las causadas por el ambiente, las reacciones químicas de los materiales y el medio, dando como ejemplo la corrosión de

los aceros y la falla de los mismos. También causas físicas y biológicas como la aparición de microorganismos como agentes destructivos.

Los síntomas que puede presentar una estructura de hormigón armado pueden ser indicativos de un fallo, tanto en la seguridad como la durabilidad de la misma.

Estas pueden presentar numerosos tipos de problemas, que muchas veces rebasan los simples límites de los fallos resistentes. Así fenómenos como la corrosión química pueden ser incluso más peligrosos y difíciles de reparar que un fallo en la armadura, que normalmente es el que nos parece más grave.

Algunos de los fenómenos más comunes que debemos considerar son las fisuraciones, los abofamientos, desconchados, disgregaciones, corrosión de los aceros de refuerzo, cambios de color y eflorescencias, ya que son los que hacen actos de presencia en cualquier edificación sin discriminar sus condiciones, es decir, pueden estar presentes lo mismo en edificaciones antiguas, como en modernas sin un correcto tratamiento.

- Fisuración

Rotura en la masa de hormigón que se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal. (Valcárcel, 2016). Estas se pueden clasificar en Microfisuras, con un espesor menor de los 0.05 mm y que en general carecen de importancia. También están las Fisuras, las cuales son de un espesor entre 0.1 mm y 0.2 mm. Estas son poco peligrosas, salvo en casos que pueda favorecer la corrosión, y las Macrofisuras, con espesor mayor de 0.2 mm las cuales pueden tener repercusiones estructurales de importancia.

Debido a su comportamiento podemos hablar de fisuras vivas; si continúan en movimiento, abriéndose o cerrándose, o de fisuras muertas; si están ya estabilizadas en su estado final.

Las principales causas de la manifestación de las fisuras son debidas a los problemas del hormigón como son el curado deficiente, la retracción, entumecimiento, variaciones térmicas y ataques químicos. También son debidas a problemas de proyecto o de ejecución del hormigón como son las sollicitaciones excesivas, errores de proyecto, de ejecución y asientos diferenciales.

- Abofamientos

En construcciones el abofamiento, es un concepto que se usa para definir el abultamiento que se origina al desprenderse un revestimiento de que posee la base o el soporte en una pared o un techo. (Valcárcel, 2016) Se manifiesta visualmente como ampollas sobre la superficie lisa del elemento, la cual es la más frágil. Es considerado una de las primeras manifestaciones de los desconchados y de las pérdidas de secciones.

Sus principales causas son los daños por humedades y aguas, la cual se filtra por fisuras y grietas, la cual provoca la corrosión de los aceros de refuerzos. También hay que tener en cuenta aspectos externos como son la ejecución del elemento y las relaciones de materiales como las de agua-cemento.

- Desconchados

Parte de la superficie de un objeto en la que ha saltado algún trozo de la capa de yeso, mortero o pintura que la cubre. (Valcárcel, 2016), (Helene, 1997). Viene siendo un caso más grave de los abofamientos presentándose en las capas lisas y rocosas del hormigón, afectando al mismo en ocasiones desde el interior.

Este fenómeno es llamado también exfoliación y hay tres causas principales que la provocan. Daños por agua de igual modo que al abofamiento, el calor, el cual junto al agua y las humedades provocan el astillamiento del hormigón y la unión de ambos, la cual provoca los fenómenos de presión como la expansión y retracción del hormigón manifestándose en grietas y fisuras cada vez más grandes.

- Disgregaciones

Las disgregaciones son roturas que se producen desde el interior del hormigón por esfuerzos internos que produzcan fuertes tracciones, que el hormigón no puede resistir. (Valcárcel, 2016)

Las disgregaciones pueden producirse por causas muy diversas como son la corrosión de armaduras o las deformaciones muy fuertes. También puede producirse fenómenos de disgregación al helarse el agua que haya podido penetrar en cavidades internas. Un caso que puede ser grave es la congelación de agua que se haya podido depositar en las vainas de pretensado en la fase de construcción.

- Corrosión de los aceros

Reacción química producto la unión de un metal con el oxígeno, es decir el deterioro observado a causa de un alto impacto electroquímico de carácter oxidante.(Helene, 1997). La velocidad degenerativa del material dependerá de la exposición al agente oxidante, la temperatura, si se encuentra expuestos a soluciones salinizadas y de las propiedades químicas de los agentes. Vale destacar que es un proceso espontáneo y natural donde pueden intervenir también materiales no metálicos.(Valcárcel, 2016).

Este fenómeno es responsable del mal funcionamiento de los elementos ya que pierden sus propiedades portantes, y su diseño no cumple el objetivo haciéndose así en algunos casos, un problema grave de carácter estructural. Se han clasificado diferentes formas de corrosión para diferenciarlas según su forma de afectación, las cuales son la corrosión localizada, dentro de la cual se encuentra la corrosión por picaduras, en espacios confinados, bajo

tensión y por corrientes de interferencia. Otras clasificaciones son corrosión generalizadas y galvánicas (Helene, 1997)

Todas estas son causadas generalmente por los mismos aspectos, pero los más importantes a tener en cuenta y los más comunes son los gases atmosféricos con su contenido de iones cloruros y sales marinas, las aguas y humedades, con todas las patologías referentes a las mismas. También hay compuestos orgánicos que atacan al hormigón y en algunos casos a la armadura como son los aceites y grasas de cocina, leche, mantequilla vinos y cervezas. Todos estos han de tenerse en cuenta a la hora de diseñar estructuras de hormigón que sirvan de contenedores de estos productos.

- Cambios de color y eflorescencias

Se denominan eflorescencias a los cristales de sales, generalmente de color blanco, que se depositan en la superficie de ladrillos, tejas y pisos cerámicos o de hormigón. (Valcárcel, 2016) Algunas sales solubles en agua pueden ser transportadas por capilaridad a través de los materiales porosos y ser depositadas en su superficie cuando se evapora el agua por efecto de los rayos solares o del aire. Estos comúnmente se clasifican en dos tipos eflorescencia primaria, es debido a la humedad de la obra recién terminada, la cual es inevitable, pero desaparece a los meses. La otra es la eflorescencia secundaria, las cuales aparecen en obras de más de un año de antigüedad debido a condiciones desfavorables propias de la estructura o del medio, causadas por alta porosidad, elevada humedad permanente, defectos constructivos como roturas de las redes hidráulicas entre otros.

La aparición de estos problemas trae consigo también los cambios de coloración de las superficies de los elementos, ya que también son los causantes de la aparición de microorganismos, hongos y vegetación que se hospedan de manera parasitaria en la misma superficie, manteniendo las humedades y las condiciones que en un principio hicieron que aparecieran. (Helene, 1997).

❖ Ensayos que se realizan al hormigón armado

Los ensayos como su nombre lo indica no son más que pruebas a que se le realizan a un objeto de prueba para saber algunas de sus características específicas, con la finalidad de optimizar su fabricación o profundizar en su estudio. En este caso tratamos de los ensayos que se le realizan al hormigón. Estos también son con la finalidad de obtener valores aproximados de algunas de sus resistencias y características.

Los Estados Unidos fue el principal estudiante del hormigón armado, iniciando sus ensayos al mismo alrededor de 1875, pero no es hasta 1890 cuando se generaliza y se adopta este sistema de construcción en las obras en general. Estos ensayos quedan plasmados en normas, las cuales siempre están sujetas a cambio. En Cuba también se tratan estos ensayos y en algunos casos se han adaptado normas extranjeras para aplicarlas en nuestro país.

Estos ensayos se agrupan como ensayos no destructivos, destructivos, ensayos al hormigón en estado fresco y endurecido.

En la investigación se organiza de esta última forma y se profundiza en los ensayos al hormigón endurecido que son los relacionados con el tema abordado.

Ensayos al hormigón fresco:

- Ensayos de consistencia es la NC ISO 1920-2: 2010, “Ensayos al hormigón-Parte 2: Propiedades del hormigón fresco”
- Ensayo para la determinación de la densidad del hormigón fresco. (NC ISO 1920-2: 2010, “Ensayos al hormigón-Parte 2: Propiedades del hormigón fresco”)
- Ensayo para la determinación del contenido de aire en el hormigón fresco. (NC ISO 1920-2: 2010, “Ensayos al hormigón-Parte 2: Propiedades del hormigón fresco”)
- Ensayo para la determinación de la pérdida de agua por exudación en el hormigón fresco. (NC 243: 2003, “Hormigón. Pérdida de agua por exudación”)
- Ensayo para la determinación de la temperatura del hormigón fresco. (NC 354: 2004, “Hormigón fresco. Determinación de la temperatura”)

Ensayos al hormigón endurecido:

- Ensayo para la determinación de densidad en el hormigón endurecido. (NC ISO 6275: 2005, “Hormigón endurecido. Determinación de la densidad”). La densidad del hormigón endurecido es una propiedad que brinda criterios de la masa del hormigón en este estado por unidad de volumen. Es empleada al definir la carga por peso propio que baja desde las estructuras y, por tanto, constituye un dato en el diseño estructural. La densidad del hormigón endurecido depende fundamentalmente de los materiales empleados en su fabricación, del grado de compactación alcanzado en estado fresco, de la proporción de aire atrapado o introducido en la masa de hormigón y de la presencia de humedad. Debido a esto último, el procedimiento establecido para la determinación de la densidad del hormigón endurecido prevé variantes de análisis de muestras en estados seco, saturado o cómo fueron recibidas
- Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión en probetas endurecidas. (NC 244: 2005, “Hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas”). El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión del hormigón de la estructura a través de la extracción de testigos con taladros adecuados. La resistencia a la compresión del hormigón puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer

una evaluación general de la estructura, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica

- Ensayo para la determinación de la resistencia a tracción indirecta en probetas endurecidas. (NC 329: 2004, “Resistencia del hormigón a tracción indirecta (Método brasileño)”). Consiste en obtener la tracción indirecta mediante la aplicación de una fuerza de compresión en un plano diametral a lo largo de una probeta cilíndrica de hormigón. Estadísticamente se identifican dos tipos de resistencia a tracción indirecta, la resistencia media a tracción indirecta y la resistencia característica a tracción indirecta

- Ensayo para la determinación de la resistencia a flexión en probetas endurecidas. (NC 245: 2003, “Hormigón. Ensayo a flexión”). La resistencia a flexión, junto con la compresión, la tracción indirecta, el módulo de elasticidad y la fluencia constituyen propiedades mecánicas fundamentales del diseño y el cálculo de los hormigones estructurales. La resistencia a flexión del hormigón es baja si se compara con su resistencia a compresión, aunque los factores influyentes son similares

- Ensayo para la determinación de la profundidad de carbonatación en el hormigón endurecido. (NC 355: 2004, “Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio”). Este ensayo se utiliza para investigar la durabilidad y la alcalinidad del hormigón mediante el avance de la carbonatación en el mismo. La carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal del hormigón por efecto del CO₂ que se difunde desde el ambiente que lo rodea, disminuyendo el pH por debajo de 10. La profundidad de la capa superficial carbonatada se llama profundidad de carbonatación

- Ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón endurecido. (NC 231: 2002, “Determinación, interpretación y aplicación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón”). La velocidad del pulso ultrasónico es la relación que existe entre la distancia de viaje a través del hormigón de una onda ultrasónica y el tiempo que tarda en recorrerla. El emisor emite un pulso ultrasónico que viaja a través del hormigón hasta que es detectado por el receptor. La longitud de la trayectoria entre los transductores, dividida entre el tiempo de viaje, da la velocidad promedio de la propagación de la onda. Este ensayo permite evaluar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del hormigón

- Ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión mediante esclerómetro. (NC 246: 2003, “Determinación de la resistencia a compresión del hormigón por medio de esclerómetros tipos N y NR”). El objetivo de este ensayo es evaluar la dureza superficial del hormigón mediante el uso del esclerómetro de reflexión. El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del hormigón, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su

estado endurecido. Es importante destacar que este es un ensayo complementario, por lo que no podemos asegurar que el hormigón posee una resistencia a compresión igual a la determinada en el ensayo ya que ésta es superficial

- Grado de oxidación (porcientos de pérdida del acero por corrosión). Se realiza mediante la comparación entre los valores reales y nominales de las armaduras en lugares donde esté expuesta parcial o totalmente. La toma de muestra no necesita de ningún equipo, ni de gran tecnología, solamente herramientas básicas para el trabajo
- Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría). (Norma ASTM C085) Este ensayo se realiza para localizar las armaduras embebida en el hormigón, el espesor de recubrimiento y la distribución de los aceros. Es un ensayo preliminar, que además de dar información garantiza las condiciones previas indispensables determinando las áreas idóneas donde efectuar otros ensayos

En las normas NC 182: 2002 y NC 251: 2018 y otras como la Red DURAR se recogen ensayos a los materiales componentes, y se exponen los requisitos que deben cumplir los hormigones para diferentes casos. Además, existen muchas técnicas novedosas usadas en el mundo para ensayar estructuras de hormigón armado patrimoniales, con incidencia mínima sobre la estructura. Estos son análisis de muestra de material, ultrasonidos, cámara infrarroja y otras muchas las cuales son la avanzada de estos tiempos ya que permiten diagnosticar eficazmente sin la necesidad de realizar ensayos destructivos.

Con la realización de estos ensayos se puede caracterizar de manera general el hormigón armado teniendo aspectos a evaluar como la calidad del mismo, la durabilidad, resistencia y el estado de las armaduras de refuerzo. Vale destacar que se pudieran incluir más de estos ensayos para que la investigación tenga un mayor alcance, por lo que quedara plasmado en las recomendaciones del trabajo.

❖ Propuesta de ensayos prescindibles al hormigón armado

El hormigón armado como material de construcción se comenzó a emplear en Matanzas a finales del siglo XIX, pero su uso se hizo más difundido con el desarrollo del mismo en la primera mitad del siglo XX, siendo este el principal material usado hasta la actualidad. Al ser una ciudad costera, todas las edificaciones del centro histórico están incluidas en zonas de alta agresividad ambiental, por lo que han sido víctimas constantes y continuas de agentes como iones de cloruro y otras similares, dando como resultados en la mayoría de los casos, la aceleración de los deterioros tanto estructurales como no estructurales de las edificaciones, manifestándose de diversas maneras en las mismas como aceros corroídos y en mal estado, grietas, fisuras, abofamientos, desconchados, cambio de color en la superficie de los elementos, pérdidas de recubrimientos entre otras más.

La dosificación volumétrica que era usada en el momento de construcción de estas edificaciones es factor fundamental de la mala calidad, durabilidad y resistencia que

presenta dicho material con respecto a la actualidad y la dosificación gravimétrica empleada en nuestros días. Los sistemas volumétricos dosifican el material en función del volumen y los sistemas gravimétricos pesan el material y lo dosifican en función de la masa. En ambos casos se realizan para conseguir la máxima precisión y repetitividad de la mezcla, aunque lo importante no es el volumen, sino la masa del producto a dosificar, por eso es mejor el gravimétrico. Sin embargo, el resultado de una buena dosificación siempre depende de las características del producto a granel, de las condiciones del entorno y del sistema de dosificación en sí.

También era característico de la época en que se erigieron las construcciones patrimoniales de la Atenas de Cuba el empleo de áridos los cuales no presentaban una continuidad granulométrica y con altos índices de contaminación como era la arena extraída del mar, que, aunque era sometida a un proceso de limpieza y descontaminación, se hace común ver las estructuras realizadas con este tipo de árido en mal estado constructivo y con un grado de corrosión de los aceros de refuerzos mayor que el resto de las otras estructuras que no lo usaban. Como si fuera poco, las armaduras de refuerzo estaban constituidas por perfiles metálicos comúnmente perfiles I o barras lisas redondas o cuadradas primeramente de hierro fundido y luego de acero. Por el uso de estas primeras y las demás características presentes en este tipo de hormigón armado, la corrosión de los refuerzos es una patología común y siempre existente en este tipo de edificaciones. Vale destacar que con el desarrollo de este material se fue eliminando el uso de este tipo de refuerzo y se fueron empleando barras de acero corrugados, se redujeron las áreas de acero en los elementos, se alargaron las barras con el fin de resistir todas las solicitaciones entre otros tipos de avances científicos-tecnológicos.

Todas estas características coinciden con las del hormigón armado de la época, por lo que los autores del trabajo valoran de inadecuado el hormigón armado utilizado en ese entonces, aunque algunas de estas edificaciones se mantienen en pie y cumpliendo con alguna función. No obstante, teniendo en cuenta el estado en que se encuentran todos los tipos de elementos estructurales como losas, vigas y columnas en las edificaciones del centro histórico y otras que se pudieran analizar en un futuro, con semejantes características técnicas-constructivas, período de construcción y materiales empleados.

❖ Propuestas de ensayos para familia de elementos según su estado técnico-constructivo

El objetivo que se persigue con la realización de estas propuestas de ensayos no es más que agilizar el proceso de diagnóstico a las edificaciones, ahorrando a su vez en recursos económicos, evitando excesivos gastos en la realización de los mismos y en la rehabilitación de las edificaciones, como en recursos humanos. También con el uso de estas propuestas se evitaría el uso sin concesos de tecnologías que muchas veces no son disponibles, y de pruebas de laboratorio, dando como consecuencia el ahorro de los reactivos usados en las mismas, muchos de los cuales a veces no están disponibles.

Estas propuestas eliminan mediante un proceso de decantación los ensayos que no son necesarios realizar, teniendo en cuenta la investigación realizada por los autores y el conocimiento de resultados de ensayos realizados a los elementos estructurales de características técnicas y estados técnicos-constructivos semejante a la mayoría de las edificaciones del centro histórico de Matanzas.

- Losas de cubierta y entrepisos

Las losas de manera general son afectadas por diversas patologías estructurales como el agrietamiento y la aparición de fisuras, las pérdidas de sección tanto del acero, como del hormigón de recubrimiento, dando a lugar a la corrosión de las armaduras de refuerzos, muchas veces de manera generalizada y en otras más graves con la pérdida de su funcionalidad. También algunas de las causas de estas patologías son relacionadas a la fase de ejecución y diseño, debido a las indisciplinas de los obreros y a la falta de un control de calidad. Tampoco debemos olvidar que estos elementos también son víctima de las patologías no estructurales como son la aparición de vegetación, la cual favorece a la destrucción del sistema impermeabilizante de las cubiertas, la carbonatación del hormigón, acelerado por las condiciones de agentes externos, las humedades en todas sus formas y las relacionadas a las mismas como las manchas, cambios de color, eflorescencia y aparición de microorganismos, causadas principalmente por el ambiente agresivo de la zona de estudio, pero también por la falta de mantenimiento y el abandono a las edificaciones.

A continuación, se mostrará una tabla donde se abarcará las principales manifestaciones de estas patologías en este tipo de elemento y los ensayos que se le pudieran realizar de los anteriormente mencionados. Los ensayos que no se incluyan en cada estado serán innecesarios, por lo que su realización no es propuesta por los autores del trabajo.

Estado constructivo	Ensayos a realizar
Cambio de coloración de la superficie Pérdida de la capa de pintura Manchas y representaciones de humedades	Profundidad de carbonatación Esclerometría Pacometría Resistividad eléctrica Potenciales de corrosión Grado de oxidación

<p>Fisuras y grietas poco profundas en la superficie</p> <p>Pérdida del repello fino</p>	<p>Profundidad de carbonatación</p> <p>Esclerometría</p> <p>Pacometría</p> <p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Abofamiento del hormigón</p> <p>Manchas y representaciones de humedades</p>	<p>Profundidad de carbonatación</p> <p>Pacometría</p> <p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Fisuras y grietas profundas</p> <p>Exposición parcial de los aceros de refuerzo</p>	<p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Desconchado y pérdida de sección del hormigón</p> <p>Exposición parcial de los aceros de refuerzo</p>	<p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento</p> <p>Gran parte de la armadura expuesta</p>	<p>Resistividad eléctrica</p> <p>Grado de oxidación</p>

<p>Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión</p> <p>Pérdida de sección del acero de refuerzo</p>	
--	--

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, mediante el estado constructivo en que se encuentre el elemento se puede o no, realizar diversos ensayos. Se va evidenciando que mientras más grave sea el estado constructivo del elemento, menor será la cantidad de ensayos a realizar, dando por sentado los resultados de estos ensayos que no se realizan. Mientras los ensayos de resistencia superficial y de localización de las armaduras son los más comunes para elementos en buen estado, se repiten con mayor frecuencia los relacionados a la corrosión de los aceros y las armaduras, ya que, aunque estos elementos presenten un aparente buen estado en algunos casos, están bajo la continua influencia de agentes ambientales y humedades características de la zona de estudio. Además, la corrosión es un fenómeno generalizado en este tipo de edificaciones por lo que es necesario controlarlo efectivamente.

- Vigas

De igual manera que las losas, las vigas son elementos constituidos de hormigón armado cuya función es la de transmitir las cargas que provienen de encima hacia las columnas. Estas son afectadas generalmente por patologías estructurales similares en muchos casos a las de la losa, como son el agrietamiento y la aparición de fisuras, desconchados, las pérdidas de sección tanto del acero, como del hormigón de recubrimiento, los cuales favorecen y aceleran el proceso de corrosión de las armaduras de refuerzo, siendo este el fenómeno general y que más afecta a este material de características específicas. Estas afectaciones se pueden apreciar en las edificaciones estudiadas, de manera localizada, a veces de manera generalizada y en otras, más graves, llegando a perder su función y razón de ser. También algunas de las causas de estas patologías son igualmente relacionadas a la fase de ejecución y diseño, como en las losas, debido a las indisciplinas de los obreros y a la falta de un control de calidad. Aclarar que estos elementos también son afectados de igual manera que el resto, por patologías no estructurales como la carbonatación del hormigón, las humedades en casi todas formas, así sea por filtraciones u absorción del agua, como también las relacionadas a las mismas como las manchas, cambios de color, eflorescencia y aparición de microorganismos, causadas principalmente por roturas de redes hidráulicas y el ambiente agresivo de la zona de estudio, así como por la falta de mantenimiento y el abandono a las edificaciones.

De igual manera, se mostrará a continuación una tabla donde se abarcará las principales manifestaciones de estas patologías en este tipo de elemento y los ensayos que se le pudieran realizar

Estado constructivo	Ensayos a realizar
Cambio de coloración de la superficie Pérdida de la capa de pintura Fisuras y grietas poco profundas en la superficie Pérdida del repello fino Manchas de humedades	Profundidad de carbonatación Esclerometría Pacometría Resistividad eléctrica Potenciales de corrosión Grado de oxidación
Abofamiento del hormigón Pérdidas de sección del hormigón Manchas de humedades	Profundidad de carbonatación Pacometría Resistividad eléctrica Potenciales de corrosión Grado de oxidación
Fisuras y grietas profundas exponiéndose parcialmente las barras de refuerzo	Resistividad eléctrica Potenciales de corrosión Grado de oxidación
Desconchado y pérdida de sección del hormigón	Resistividad eléctrica Potenciales de corrosión

	Grado de oxidación
Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento dejando la armadura expuesta	Resistividad eléctrica Grado de oxidación
Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión Pérdida de sección del acero de refuerzo	

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar, al igual que las losas, que a medida que el elemento presente un mayor grado de deterioro el número de ensayos específicos a realizar disminuye. De igual manera que en las losas, en las vigas de hormigón armado con las características predominantes de la época, se hace común la realización de los ensayos referentes a los aceros de refuerzos, como la localización de los mismos y grado de corrosión para casi todos los estados constructivos que presenten las mismas. Vale destacar que debido a las diferentes formas de trabajo de las vigas sería recomendable la realización de otros ensayos no tenidos en cuenta en esta propuesta como la determinación de la resistencia a tracción indirecta en probetas endurecidas. (NC 329: 2004, “Resistencia del hormigón a tracción indirecta (Método brasileño)”) y el ensayo para la determinación de la resistencia a flexión en probetas endurecidas. (NC 245: 2003, “Hormigón. Ensayo a flexión”).

- Columnas

Las columnas son elementos estructurales semejantes a las vigas por lo que las patologías que afectan a esta son las mismas que afectan a las vigas como son los agrietamientos, las fisuras, los desconchados, las pérdidas de sección tanto del acero, como del hormigón de recubrimiento y los procesos de corrosión de las armaduras de refuerzo. También se ven afectadas por la carbonatación del hormigón, las humedades en todas sus representaciones y por todas las descendientes de las mismas. Las causas de estas patologías son comunes con las de los demás elementos, pero se deben tener más en cuenta, los errores en la fase de diseño de las mismas, así como en la de ejecución, las faltas de mantenimientos sistemáticos y el abandono a que son sometidas las edificaciones investigadas.

Todas estas afectaciones han sido evidenciadas en la investigación realizada a las edificaciones, encontrándose en estas, los elementos estructurales en cuestión, en todo tipo de estados técnicos-constructivos. A continuación, se mostrará de igual manera que las

anteriores, los ensayos que se le pueden realizar a las columnas dependiendo de su estado constructivo.

Estado constructivo	Ensayos a realizar
<p>Cambio de coloración de la superficie</p> <p>Pérdida de la capa de pintura</p> <p>Fisuras y grietas poco profundas en la superficie</p> <p>Pérdida del repello fino</p> <p>Manchas de humedades</p>	<p>Profundidad de carbonatación</p> <p>Esclerometría</p> <p>Pacometría</p> <p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Abofamiento del hormigón</p> <p>Pérdidas de sección del hormigón</p> <p>Manchas de humedades</p>	<p>Profundidad de carbonatación</p> <p>Pacometría</p> <p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Fisuras y grietas profundas exponiéndose parcialmente las barras de refuerzo</p>	<p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>
<p>Desconchado y pérdida de sección del hormigón</p>	<p>Resistividad eléctrica</p> <p>Potenciales de corrosión</p> <p>Grado de oxidación</p>

Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento dejando la armadura expuesta	Resistividad eléctrica Grado de oxidación
Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión Pérdida de sección del acero de refuerzo	

Fuente: Elaboración propia.

Se concluyen los resultados de esta tabla de igual manera que la de las vigas, aunque para columnas altas o que estén sometidas a grandes cargas que puedan producir efectos de pandeo se recomienda la realización de ensayos complementarios como la determinación de la resistencia a tracción indirecta en probetas endurecidas. (NC 329: 2004, “Resistencia del hormigón a tracción indirecta (Método brasileño)”) y el ensayo para la determinación de la resistencia a flexión en probetas endurecidas. (NC 245: 2003, “Hormigón. Ensayo a flexión”).

De manera general, los ensayos propuestos para estos elementos estructurales, sin tener en cuenta aquellos que los autores consideran innecesarios, coinciden en su gran mayoría con el estado constructivo de cada uno respectivamente. Para elementos con un estado constructivo aparentemente bueno y con solo afectaciones superficiales se le pueden realizar casi todo tipo de ensayos, ya que no se tiene conocimiento del comportamiento de los materiales, ni de sus características específicas. A medida que aumenta el deterioro de estos elementos se va reduciendo el número de ensayos que se le deben realizar, ya que con la manifestación de otras patologías y el análisis de los resultados obtenidos en la investigación se pueden decantar ensayos que, de presentar el elemento un mejor estado constructivo, se le pudiesen haber realizado. Se plantea también el caso de elementos en un pésimo estado constructivo del cual se pudiera saber por experiencia y resultados anteriores, el comportamiento y las características de los mismos sin la realización de ningún ensayo, por lo que no se propone ninguno.

❖ Ensayos y técnicas novedosas a tener en cuenta

Con el paso del tiempo se han hecho avances tecnológicos en el campo de la conservación y las investigaciones patológicas. Estas han sido enfocadas principalmente en detectar las patologías de manera preventiva y en hacer una intervención en las obras lo menos invasiva posible, ocurriendo así, una carrera en el desarrollo de técnicas y tecnologías para ensayos no destructivos.

A continuación, se presentarán algunas de estas técnicas novedosas, explicándose brevemente sus usos y funciones, con el fin de propagar la cultura de su utilización y de ampliar el conocimiento general de los interesados en el tema.

- Sistema de Monitorización del Patrimonio MHS

El sistema de Monitorización del Patrimonio MHS de sus siglas del inglés Monitoring Heritage System, propone la conservación y mantenimiento preventivos para reducir riesgos, mejorando así la preservación del patrimonio cultural. La restauración de edificios del Patrimonio Histórico-Cultural es cada vez más necesaria ya que, muchos de ellos fueron construidos en siglos anteriores, por lo que el transcurso del paso tiempo tiene como consecuencia una serie de deterioros como aparición de humedades y grietas.

El sistema MHS, flexible y totalmente adaptable a las necesidades de cada edificio, está compuesto por una serie de sensores (higrómetros, xilógrafos, luxómetros, etc.) inalámbricos de gran precisión que funcionan por radiofrecuencia basados en el estándar internacional IEEE 802.15.4/ZigBee a una frecuencia de 900 MHz o 2.4 GHz. Estos dispositivos de pequeño tamaño y escaso impacto visual se colocan en puntos estratégicos en los edificios en los que se quiere realizar una conservación preventiva y detectan diversos parámetros ambientales (temperatura, humedad, presión, intensidad lumínica) y estructurales (vibraciones, fisuras).(Casadomo, 2017)

Estos sensores, tras registrar los datos, los envían a un servidor central (la frecuencia de envío de datos puede ser programable por el usuario) donde son analizados por un equipo multidisciplinar que determina el diagnóstico preventivo y el protocolo de actuación a seguir en cada edificio, corrigiendo posibles alteraciones o patologías. El sistema MHS puede activar un protocolo automático, remoto y en tiempo real. Por ejemplo, en caso de detectar una humedad, pueden ordenar la apertura de ventanas o la puesta en marcha de calefactores para corregir los excesos detectados.

Junto a la conservación preventiva, el MHS dispone también de aplicaciones que facilitan la gestión integral de los bienes patrimoniales. Así, por ejemplo, puede contralar aspectos como la seguridad y la protección frente al expolio, incendios o inundaciones, especialmente en monumentos o sitios más apartados o vulnerables.

- Infrarrojos para aplicaciones de construcción

Una cámara infrarroja no ve las temperaturas, registra la intensidad de la radiación en el área de infrarrojos. Es una radiación que no es visible a simple vista.

La cámara convierte la radiación infrarroja en una imagen visible. Las imágenes se presentan en una escala de grises o con diferentes paletas para facilitar su visualización. Aunque el ojo humano puede ver la radiación en el espectro electromagnético entre 0,4 -

0,7 μm , el área infrarroja va de 0,9 - 14 μm . Las cámaras que se utilizan en la inspección de construcciones trabajan en el área 8 - 14 μm .(APLITER, 2011)

Para que las imágenes infrarrojas tomadas de las superficies sean más fáciles de comprender, es posible presentar una fotografía digital junto con la imagen infrarroja. Esto muestra al usuario exactamente dónde se ha tomado la imagen IR y qué se puede ver. Los infrarrojos son la herramienta perfecta para el diagnóstico de edificios.

La inspección con infrarrojos (IR) es un medio potente y no invasivo de supervisión y diagnóstico del estado de los edificios. Una cámara de infrarrojos puede identificar problemas en una fase inicial, de forma que se pueden documentar y corregir antes de que se agraven y su reparación resulte más costosa.

Una inspección con infrarrojos en el diagnóstico del edificio ayuda a:

- Visualizar las pérdidas de energía
- Detectar una falta de aislamiento o un aislamiento defectuoso
- Localizar las fugas de aire
- Encontrar humedades en el aislamiento, en los tejados y muros, tanto en el interior como el exterior
- Detectar moho y áreas mal aisladas
- Localizar puentes térmicos
- Detectar roturas en las tuberías de agua caliente
- Detectar fallos de construcción
- Supervisar el secado de los edificios
- Detectar fallos eléctricos y en la calefacción central

Existen otras tecnologías como las cámaras termográficas y los levantamientos con dron los cuales responden al objetivo de agilizar las investigaciones, siendo estas lo menos invasivas posibles.

Conclusiones

El hormigón y los aceros de refuerzos brindan por separados características de resistencias a sollicitaciones como la compresión y la tracción respectivamente, que hacen al hormigón

armado como un todo un material de construcción muy versátil, de grandes características y resistencias a todo tipo de solicitaciones, concluyéndose en su gran amplitud de usos y alcance. Las principales patologías que lo afectan son las fisuras, abofamientos, corrosión de las armaduras, así como los agentes externos. Teniendo en cuenta los aspectos a evaluar como la calidad, la durabilidad, resistencia, el estado de las armaduras de refuerzo y los diferentes estados constructivos en que se puede encontrar cada elemento estructural, se propuso la realización de ensayos específicos a cada uno de estos respectivamente y se eliminaron algunos de estos, debido entre otros factores, a las características inherentes del material de la época en que se construyeron las obras patrimoniales del centro histórico de Matanzas.

Bibliografía

ADAMES-MONTERO, Y., RIZO-ALVAREZ, I., DAVIS-HARRIET, J. & OTROS 2013.

Acero al carbono. Contaminación por iones cloruros y compuestos de azufre. Revista CENIC. La Habana.

APLITER 2011. Manual of IR devices for construction applications. FLIR Magazine.

ARKYPLUS. 2016. Historia del hormigón armado [Online]. web: Arkyplus. Available: www.arkyplus.com [Accessed 24 de marzo 2019].

ARQHYSARQUITECTURA. 2018. Historia del Hormigón Armado [Online]. web: Arqhy Architecture. Available: www.arqhy.com [Accessed 24 de marzo 2019].

BONILLA, J. A. T. 2001. Aspects about the reuse of the Mexican Industrial Architecture, Mexico.

CASADOMO. 2017. MHS, una herramienta tecnológica para la conservación preventiva.

COLECTIVO 1997. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. (Red DURAR).

COLECTIVO 2016. Gran Diccionario de la Lengua Española. In: EDITORIAL, L. (ed.) Gran Diccionario de la Lengua Española.

COLLINS & OTROS 2001. Diccionario Español. In: GRIJALBO, E. (ed.) 3 ed. Barcelona.

ENCICLOPÉDICO, D. 2009. Diccionario Enciclopédico. In: EDITORIAL, L. (ed.) Diccionario Enciclopédico.

ENIA 2008. Evaluación y Diagnóstico Patológico: Hotel Velazco. ENIA.

- ENIA 2017. Investigación Patológica: Hotel Kawama. ENIA.
- FIGUEROA, L. A. 2015. Almendares: Primero con Hormigón Armado en Cuba. Islalsur, 1.
- FIGUEROA, M. R. 2017. Programa de intervención para una edificación de la zona priorizada para la conservación de la ciudad de matanzas. Caso de estudio hotel Yara. Universidad de Matanzas.
- HELENE, P. R. D. L. 1997. Repair, reinforcement and protection of armed concrete structures manual, Mexico.
- LAZO, C.A., 2016. Plan de acción para mitigar el deterioro estructural de las tiendas de ARTEX.SA, del territorio sureste de la provincia de Matanzas. Pregrado. Matanzas, Cuba.: Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos. Lazo, M.I.Y.J.C.M.I.C.Á., 2018. Informe Técnico Espigón La Machina. Mingo, F.L.R.v.R.R.J.S.C.A.I.T.G.P.U.d., 2004. Manual de patología de la edificación. Santos, J.P.J.P.I.E., Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: Vigas y columnas
- MESA, J. A. M. 2003. Mantenimiento y recuperacion e edificaciones UM, Matanzas, Cuba.
- PÉREZ, R. F. R. 2012. Presencia de Matanzas en los Premios Nacionales de Conservacion y Restauración. Revista de Arquitectura e Ingeniería.
- RODRÍGUEZ, Á., GARÓFALO, O. Y. T. & J, P. 2013. Conservación de Edificaciones, La Habana, Cuba.
- RUANO, M. B. 2006. Mantenimiento y Reconstrucción de Edificios, La Habana, Cuba.
- SANTANA, G. A. & JOA, L. J. 2009. Matanzas, La Atenas de Cuba.
- SANTANA, J. J. H. & CANEIRO, J. A. H. 2013a. Hormigón Estructural: Diseño por Estados Límites, La Habana, Editorial Félix Varela.
- SANTANA, J. J. H. & CANEIRO, J. A. H. 2013b. Hormigón Estructural: Diseño por Estados Límites, La Habana, Editorial Félix Varela.
- SUÁREZ, D. L. 2016. Propuesta de una estrategia de intervención para erradicar las afectaciones del Palacio de Justicia de Matanzas. Universidad de Matanzas.
- VALCÁRCEL, J. P. 2016. Patología de Estructuras de Hormigón Armado.
- WEN- GANG, HUA. 2015. Procedures for Diagnosis and Assessment of Concrete Buildings.