

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de construcciones*



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

**Propuesta de inclusión de ensayos novedosos
al hormigón armado para estructuras
patrimoniales ubicadas en el litoral norte de
Matanzas.**

Autor: Laura Pérez León

Tutor: Ingeniero Dariel Soto Portillo

Matanzas, 2020

PENSAMIENTO

**..., EL ASPECTO TOSCO DEL HORMIGÓN NO REVOCADO, NO TRATADO, PUDO
EXPRESAR**

MEJOR QUE CUALQUIER OTRO MATERIAL LA ANGUSTIA DEL HOMBRE

MODERNO... (...)

LUDOVICO QUARONI

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declare que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres que son mi fuerza, mi confianza y mi mayor apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi familia, en especial a mi mamá, a mi papá, a mis abuelitas y a mi hermana y mi hermano, son lo más preciado para mí.

A mi madrastra y mi padrastro por ser tan buenas y bellas personas y apoyarme como a una hija.

A mis amigos, son muchos y son lo mejor de este mundo; gracias por la linda experiencia que fue la universidad.

A Gisel por ayudarme tanto con esta tesis, aun siendo la suya otra carrera.

A Adi por todas las dudas, los repasos, y el infinito tiempo que me dedico en estos cinco años.

A mis profesores, gracias.

RESUMEN

El hormigón armado es el material más extensamente empleado debido a sus excepcionales virtudes como material de construcción y su principal problema es el deterioro. Cuba sufre con mayor intensidad de patologías que afectan la durabilidad de estas estructura, debido a la humedad ambiental, la temperatura, la agresividad del mar unido a procesos y tecnologías de hormigonado deficientes por la escasez de recursos que impone el subdesarrollo. La ciudad de Matanzas, situada en el litoral norte de la isla, está expuesta a esta problemática por la prevalencia de edificaciones que datan de los años 30 y 60 del siglo pasado. Por lo que se propone una inclusión de nuevos ensayos y técnicas novedosas para diagnosticar las estructuras patrimoniales de Matanzas. Se analizan y comparan las normativas cubanas y extranjeras en cuanto a los ensayos de durabilidad del hormigón. Se aluden a los nuevos ensayos y métodos actuales, con sus disímiles características y cualidades que los hacen ser recomendables para los diagnósticos de estructuras patrimoniales al no dañarlas o afectarlas en el momento de la realización de los exámenes y pruebas. Además de aportar la información necesaria para las pertinentes reparaciones en dependencia de los daños y patologías identificadas y los resultados obtenidos por los mismos.

Palabras claves: durabilidad; ensayos; inclusión; normativa; patrimoniales.

ABSTRACT

Reinforced concrete is the most widely used material due to its exceptional strengths as a building material and its main problem is deterioration. Cuba suffers with greater intensity from pathologies that affect the durability of these structures, due to the environmental humidity, the temperature, the aggressiveness of the sea, together with deficient concreting processes and technologies due to the scarcity of resources imposed by underdevelopment. The city of Matanzas, located on the north coast of the island, is exposed to this problem due to the prevalence of buildings dating from the 1930s and 1960s. Therefore, an inclusion of new tests and novel techniques to diagnose the heritage structures of Matanzas is proposed. Cuban and foreign regulations regarding concrete durability tests are analyzed and compared. They allude to new tests and current methods, with their dissimilar characteristics and qualities that make them advisable for diagnosing heritage structures by not damaging or affecting them at the time of conducting exams and tests. In addition to providing the necessary information for the pertinent repairs depending on the damages and pathologies identified and the results obtained by them.

Keywords: durability; tests; inclusion; normative; patrimonial.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción:	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	6
1.1 Antecedentes sobre el empleo del hormigón armado como material de construcción.	6
1.2 La durabilidad de las estructuras de hormigón armado	8
1.3 Factores que afectan la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.....	9
1.3.1 Ataques por sulfatos	9
1.3.2 Ataques por cloruros	10
1.3.3 Carbonatación	11
1.3.4 Humedades	11
1.3.5 Temperatura.....	15
1.3.6 Lixiviación.....	15
1.3.7 Ataque biológico	16
1.4 Ensayos al hormigón armado en estado endurecido.....	16
1.4.1 Ensayo para la determinación de densidad en el hormigón endurecido.	16
1.4.2 Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión en probetas endurecidas.....	17
1.4.3 Ensayo para la determinación de la profundidad de carbonatación en el hormigón endurecido.	17
1.4.4 Ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón endurecido.	18
1.4.5 Ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión mediante esclerómetro.	19
1.4.6 Grado de oxidación (porcientos de pérdida del acero por corrosión).	19
1.4.7 Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría)...	19
1.4.8 Extracción de testigos.....	19
1.4.9 Penetración de iones cloruro.....	20
1.4.10 Velocidad de absorción de agua (sorptividad).....	21
1.5 Términos y definiciones.....	21
1.5.1 Vida útil	21
1.5.2 Proceso Patológico	22
1.5.3 Ensayos destructivos	22
1.5.4 Ensayos no destructivos.....	22
1.5.5 Normativa	23
1.6 Conclusiones Parciales.	23
Capítulo 2. Análisis comparativo de las normativas vigentes e inclusión de nuevos ensayos.....	24
2.1 Análisis de las normativas cubanas.	24

2.2	Análisis de las normativas extranjeras.....	25
2.2.1	RED DURAR (DURAR, 1997).....	25
2.2.2	ACI (American Concrete Institute) (ACI 318, 2014)	27
2.2.3	ASTM (American Society for Testing and Materials) (ASTM, 2005).....	28
2.2.4	Norma EHE-08 (EHE-08)	29
2.2.5	Norma UNE (UNE, 2003)	30
2.3	Análisis comparativo.	32
2.4	Identificación de los ensayos y técnicas convenientes para diagnosticar estructuras patrimoniales de hormigón armado en el litoral norte de la provincia de Matanzas.	34
2.4.1	Propuesta de ensayos y técnicas novedosas.....	35
2.5	Conclusiones parciales.....	37
	CONCLUSIONES	38
	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFÍA	40
	ANEXOS	42
	Anexo 1 Afectaciones a estructuras de hormigón armado	42
	Anexo 2 Ensayos. Equipos y materiales utilizados	44

INTRODUCCIÓN:

El hormigón armado es el material más extensamente empleado debido a sus excepcionales virtudes como material de construcción. Ningún otro material en el mundo reúne sus dos cualidades básicas y que lo hacen preferido: su versatilidad y su economía si se le compara con otros materiales suficientemente resistentes y versátiles como por ejemplo los polímeros.

Además de tener una elevada capacidad para ser moldeado en cualquier forma cuando está en estado fresco, es muy resistente una vez que ha endurecido, por lo que ha podido aplicarse a toda la infraestructura de cada país en los sectores de la construcción, industria, transporte, defensa, servicios de todo tipo y la vivienda.

Uno de los factores importantes del hormigón, además de sus propiedades mecánicas, es su durabilidad, la cual se puede asociar con la vida útil en servicio de una estructura una vez expuesta a determinadas condiciones o ambientes.

Durante muchos años se pensó que las construcciones hechas con concreto tendrían una vida ilimitada, y los diseñadores y constructores estuvieron principalmente interesados en las características asociadas con la resistencia mecánica del material.

La genialidad de Joseph Monier y de Francois Coignet al introducir barras de acero en esa piedra artificial creada por Lambot que era el incipiente hormigón, radicaba no solo en mejorar las propiedades mecánicas del producto obtenido, sino también en el hecho de que en un ambiente altamente alcalino como es el caso del hormigón, el acero de refuerzo podía mantenerse en un estado inerte, sin oxidarse. Todo parecía indicar que se había logrado un material eterno. Pero muy pronto los investigadores descubrieron que esa piedra artificial no era completamente compacta y densa, en su estructura se hicieron evidentes “mecanismos de transporte” de los agentes agresivos hacia el interior de su masa: “Los poros capilares”. A través de esos mecanismos de transporte, de esos pequeños poros capilares podían pasar los agentes agresivos presentes en la atmósfera, modificando sus propiedades e incluso, aún sin modificar sus propiedades esenciales, llegar hasta el acero de refuerzo, despasivándolo y creando las condiciones para su oxidación. (Carcaño, Moreno, & Borges, 2005)

El problema más importante que se observa en las construcciones de hormigón armado es, actualmente, el deterioro por cargas ambientales. En las zonas costeras los principales agentes agresores son cloruros, sulfatos y humedad los cuales penetran a través de la red de poros del concreto. Algunos de estos agentes provocan daños directamente al concreto pero principalmente producen la corrosión del acero de refuerzo; esto provoca disminución de la resistencia de los elementos por pérdida de área de acero y posteriormente, el agrietamiento y desprendimiento del concreto.

Actualmente se puede considerar que el problema de las construcciones de concreto que más preocupa es la falta de durabilidad de las estructuras por cargas ambientales. (Carcaño, Moreno, & Borges, 2005)

Aunque el hormigón es muy utilizado, su tecnología aún se encuentra en permanente desarrollo, es por ello que los ensayos al hormigón armado tienen un papel relevante para conocer mejor la estructura interna del material. A partir de estos ensayos se puede crear hormigones de mayor calidad para cada situación en la que se desee utilizar.

Con el empleo de ensayos se puede realizar el diagnóstico, con un grado de precisión que varía de una técnica a otra, del estado de servicio, tal que una medición sistemática puede dar una idea de la vida residual de la estructura, con el fin de programar tareas de reparación o directamente, el retiro de servicio sin la necesidad de correr riesgos importantes. También se aprecia la importancia, para la durabilidad, del espesor del recubrimiento y de las fisuras del hormigón de la estructura.

Los ensayos se pueden agrupar, según los efectos que acarrearán para la integridad de la estructura, en destructivos o no destructivos.

Generalmente no se lleva a cabo un único tipo de ensayo porque puede dar una visión parcial o poco completa del problema que se investiga, y se recurre a ensayos combinados, es decir, a la realización de varios ensayos diferentes de manera que se complementen mutuamente en la información que se obtiene. Es muy corriente, por ejemplo, la combinación de una esclerometría con un ensayo de ultrasonidos y la extracción y rotura de testigos.

No obstante, la importancia de los ensayos no destructivos reside en que podemos realizar inspecciones de piezas en servicio y controles de calidad de estas sin destruir o influir en las propiedades del hormigón ensayado.

Factores como la humedad ambiental, temperatura, agresividad del mar ligados a procesos y tecnologías de hormigonado deficientes por la escasez de recursos que impone el subdesarrollo, hacen que la región del Caribe, específicamente Cuba, sufra con mayor intensidad de patologías que afectan la durabilidad de sus estructuras de hormigón armado.

La no disponibilidad de recursos para realizar ensayos durante el diagnóstico impide en muchas ocasiones, la validación correcta de las causas y por ende, incorrectas o deficientes reparaciones que solo agreden la estructura y generan daños económicos. Lo que contrasta con los casos privilegiados, en donde, por la importancia de la inversión, se destinan recursos para dicho fin, recursos casi siempre mal empleados por inexperiencias o sencillamente por no tener en cuenta el estado de deterioro del elemento a ensayar y su medio circundante.

La ciudad de Matanzas, situada en el litoral norte de la Isla, está expuesta a esta problemática, agudizada por la prevalencia de edificaciones que datan de los años 30 al 60 del siglo pasado, en su mayoría concebidas como viviendas, en donde se utilizan elementos con secciones relativamente pequeñas, por lo que el recubrimiento del acero suele ser insuficiente para garantizar la vida útil de diseño.

A partir de todo lo anterior se define la **situación problemática**: A pesar de la existencia de una amplia normativa sobre los ensayos al hormigón armado tanto nacional como internacionalmente, no existe consenso sobre su empleo en estructuras patrimoniales, causando, en ocasiones, inadecuadas reparaciones y gastos económicos en la rehabilitación. Por lo que resulta necesario contar con propuestas para la inclusión de ensayos novedosos que no dañen la estructura y sean igual de competentes que los usados actualmente.

Derivándose como **problema científico**:

¿Cómo elaborar una propuesta de inclusión de ensayos novedosos al hormigón armado para estructuras patrimoniales de Matanzas según su estado técnico-constructivo?

Hipótesis:

Si se analizan las normativas vigentes y los procesos patológicos que se desarrollan en las estructuras patrimoniales del litoral norte de Matanzas de hormigón armado, se logrará una propuesta de inclusión de ensayos al material para dichas estructuras.

Objetivo general:

Proponer la inclusión de ensayos novedosos al hormigón armado para estructuras patrimoniales de Matanzas.

Objetivos específicos:

1. Argumentar el marco teórico sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón armado así como los términos y definiciones usados en la investigación.
2. Analizar las normativas vigentes en Cuba y en el mundo sobre ensayos de durabilidad para las estructuras de hormigón armado, comparándolas entre sí.
3. Proponer la inclusión de ensayos novedosos al hormigón armado para estructuras patrimoniales de Matanzas.

Objeto de estudio: los ensayos al hormigón armado en estado endurecido.

El campo de acción: los ensayos aplicables a las estructuras patrimoniales de Hormigón Armado de Matanzas.

Alcance:

Una propuesta de inclusión de ensayos novedosos al hormigón armado endurecido para estructuras patrimoniales de la ciudad de Matanzas según los procesos patológicos, vulnerabilidades más comunes identificadas y disponibilidad técnico económica.

Aportes de la investigación.

En lo económico, reducirá la cantidad de ensayos, principalmente destructivos, al tenerse en cuenta el grado de deterioro del elemento, lo que reduce considerablemente los costos y posibilitando el empleo de otras técnicas más avanzadas con el mismo presupuesto asignado.

En lo docente, sirve de guía para el estudio de los procesos patológicos en estructuras de hormigón armado, específicamente las ubicadas en la ciudad de Matanzas, en donde también se valora la influencia medioambiental.

En lo teórico, al profundizarse en las normativas vigentes en Cuba y en el extranjero sobre el tema, valorándose a partir del análisis comparativo la importancia de los ensayos y técnicas para el diagnóstico.

En lo científico, permite estrechar el nexo entre patología, agente causal y ensayo para validar la causa, pues la propuesta ilustra claramente que ensayos serían más necesarios

dado las vulnerabilidades ambientales y demás, y cuales estarían de más de acuerdo al grado de deterioro presente.

Métodos

Los métodos de investigación que se utilizarán en el trabajo estarán determinados por el objetivo general. Se utilizarán métodos teóricos como el Histórico - Lógico, Inductivo – Deductivo y Analítico – Sintético; como métodos empíricos los de observación directa y consulta a expertos.

La tesis estará estructurada, en resumen, introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo 1: Revisión bibliográfica.

Capítulo 2: Análisis comparativo de las normativas vigentes e inclusión de nuevos ensayos.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se realiza un análisis de los términos y definiciones que facilitarán la comprensión del trabajo, además se abordará sobre el hormigón armado, los antecedentes del mismo, los factores que afectan su durabilidad y algunos de los ensayos que se le realizan.

1.1 Antecedentes sobre el empleo del hormigón armado como material de construcción.

La historia del hormigón o concreto constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando se optó por levantar edificaciones con la utilización de materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclar agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente. Así, en el Antiguo Egipto se utilizaron diversas pastas obtenidas con mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para poder unir sólidamente los sillares de piedra; como las que aún perduran entre los bloques calizos del revestimiento de la Gran Pirámide de Guiza. (Colina, 2019)

Las civilizaciones antiguas tuvieron la idea de juntar piedras con el uso de un amalgamador. Así, hacia el 2500 a.c., los egipcios emplearon un mortero de cal y yeso en la construcción de las pirámides de Guiza. Sin embargo, fueron los romanos los que emplearon el hormigón a gran escala en obras como el Coliseo (en su cimiento y paredes internas) y el Panteón, construido en los años 80 y 120 d.c. en Roma, o bien en el puente de Alcántara, en Hispania, del 104 al 106 d.c. (Yepes, 2017)

A finales del siglo XIX se comienza a utilizar el hormigón en países como Alemania y Estados Unidos. Aunque las primeras aplicaciones del hormigón en Estados Unidos datan de 1875, fue a partir de 1890 cuando su empleo alcanzó un impulso extraordinario. Eran unos años donde las bases científicas del comportamiento del hormigón armado no estaban asentadas y, por tanto, las aplicaciones estaban sujetas a patentes y sistemas de firmas comerciales. (Yepes, 2017)

La invención del hormigón armado se suele atribuir al constructor William Wilkinson, quien solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego. El francés Joseph Monier patentó varios métodos en la década de 1860, pero fue François Hennebique quien ideó un sistema convincente de hormigón armado, patentado en 1892, que utilizó en la construcción de una fábrica de hilados en Tourcoing, Lille, en 1895. Hennebique y sus contemporáneos basaban el diseño de sus patentes en resultados experimentales, mediante pruebas de carga; los primeros aportes teóricos los realizan prestigiosos investigadores alemanes tales como Wilhelm Ritter. Muchos han sido los usos que se le ha dado a este material, pero su empleo principalmente será en el siglo XX, ya con los estudios teóricos fundamentales que se gestaron. (ARQHYSARQUITECTURA, 2018) (Arkyplus, 2016).

En la actualidad, el hormigón armado ha sido objeto de transformaciones para bien. El surgimiento de los hormigones pretensados ha hecho que se considere su uso con aún más campo del que presentaba, se emplea principalmente con el uso de sistemas constructivos prefabricados, como fueron en sus tiempos, el IMS, creado en la antigua Yugoslavia en 1956, con edificios de esqueleto resistente de hasta 26 pisos en Hungría y el SAE, difundido principalmente en la década de 1980. Existen otros como el SMAC implementado en Cuba a finales de la década de 1970 y principio de 1980, el cual es un sistema múltiple o mixto que puede ser variado en función de las necesidades de la obra. Estos sistemas constructivos mixtos son los más empleados en la actualidad ya que toman cada elemento positivo de cada uno y lo aplican de manera armoniosa. Investigaciones recientes han logrado mejorar algunas de sus propiedades, como ejemplo de estos la utilización de refuerzos de fibra de polietileno de alto rendimiento torsionada, disminuyendo el peso y el costo de los elementos de este material. También el reciclaje de los áridos, para su futuro uso en edificaciones similares ha hecho aporte para la reducción del costo de fabricación de los elementos como también para la protección del medio ambiente y el ahorro de recursos. (Colina, 2019)

El hormigón armado ha sido uno de los materiales de construcción más empleados a lo largo de la historia. Puentes, presas, túneles, edificios y otras muchas infraestructuras de todo el mundo han empleado esta técnica por, entre otras muchas ventajas, su alta resistencia a las vibraciones y a las altas temperaturas.

1.2 La durabilidad de las estructuras de hormigón armado

Se entiende por durabilidad según (Tejera Garófalo & Alvarez Rodríguez, 2010): La capacidad resistente del material a la acción del clima a los ataques químicos, a la erosión o cualquier otro proceso destructivo, que mantiene su forma original, su calidad y sus propiedades de servicio al estar expuesto a su medio ambiente. Todo este conjunto de propiedades debe permitir que el sistema conserve durante su vida de servicio y hasta el final de la misma, un coeficiente de seguridad de un valor aceptable.

De acuerdo a (Traversa, 2000) el envejecimiento del hormigón armado, se entiende como el deterioro de una o todas las propiedades del material es un proceso natural e inevitable, en particular cuando se encuentran expuestos en ambientes agresivos, ya que siempre evolucionan hacia formas más estables. En muchos casos, tratan de volver a su condición original, en la cual se encontraban en la naturaleza y que el hombre, por procesos tecnológicos, modifica al dar energía. Desde el punto de vista de su empleo, el principal problema no es el deterioro que sufren sino la velocidad del mismo. Esta velocidad, para que el material resulte económicamente viable, debe implicar tiempos menores de alteración que la vida útil de la estructura de la cual forma parte.

Según la autora se puede apreciar que la durabilidad de las estructuras de hormigón armado parece menos eficiente en comparación con las estructuras de hormigón no armado de la antigüedad, algunas de las cuales todavía están en servicio, por lo cual en estos tiempos es necesario alargar la vida útil de las estructuras hechas de hormigón ya que este es el material más empleado en la actualidad.

Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura. Por lo que una estrategia correcta para la

durabilidad debe tener en cuenta que en la estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambiente. La durabilidad no incumbe solo a los elementos estructurales. A veces, son los elementos no estructurales los que conllevan problemas importantes de cara a la durabilidad. (EHE, 2011)

1.3 Factores que afectan la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.

1.3.1 Ataques por sulfatos

Los sulfatos provocan la desagregación del hormigón, convirtiéndose en una de las agresiones más graves y de más difícil solución, tanto desde el punto de vista económico como técnico.

Los sulfatos en solución acuosa (nunca en forma sólida), atacan al hormigón de cemento Pórtland al provocar reacciones expansivas que pueden conducir al deterioro del elemento estructural. Los iones sulfato pueden estar presentes tanto en soluciones ácidas (caso del ácido sulfúrico), en soluciones alcalinas como el sulfato de amonio o en sales, entre las cuales están los sulfatos de calcio, de magnesio y de sodio. (Howland, 2012)

La expansión de los iones sulfato, dependerá en gran medida de la intensidad de la reacción y a los diferentes factores:

- Cantidad de aluminato en el cemento
- Solubilidad del sulfato
- Tipo de catión unido al sulfato (sodio, magnesio, calcio, etcétera)
- Permeabilidad del hormigón
- Temperatura

Tensiones provocadas por la expansión del hormigón. La expansión dependerá de:

- Condiciones de exposición
- Cantidad de sustancias agresivas
- Susceptibilidad del hormigón
- Tipo de cemento empleado y sus componentes internos
- Permeabilidad del hormigón
- Cantidad de agua

- Temperatura

La extensión e intensidad del ataque de sulfatos depende de su concentración y de la permeabilidad del hormigón. O sea de la facilidad con la cual el sulfato puede transportarse a través del sistema de poros. (Howland, 2012)

1.3.2 Ataques por cloruros

- Acciones de los iones cloro, bromo y sulfato. Se despasiva el acero
- Varían según la concentración de cloruros en las barras
- La velocidad de corrosión dependerá de las condiciones climatológicas
- Formación de herrumbre
- Presencia de iones cloro en el proceso de construcción en la obra, por estar cerca de un ambiente adecuado para ello
- Creación de cristales que provocan tensiones internas

Cuando los iones cloruro están presentes en cantidades importantes, pueden causar la despasivación del acero aún en un medio de alto pH como es el hormigón sin carbonatar. Estos iones son capaces de romper la capa pasiva que cubre al acero y provocar una corrosión de tipo localizada llamada “Corrosión por picadura”

Si bien es difícil de fijar la relación cuantitativa entre el contenido de cloruro y la alcalinidad del medio (Cl-/OH) que indique cuándo una velocidad de corrosión es riesgosa para el acero, puede afirmarse que un aumento del contenido de cloruros provoca un incremento de la velocidad de corrosión.

La introducción de cloruros en el hormigón puede ocurrir durante su manufactura como contaminante del cemento, con el agua de amasado, si se utilizan aguas salobres como aditivo de fragüe, con los áridos, o pueden penetrar desde el exterior cuando la estructura está en servicio, a través de la red de poros.

En este último caso, las fuentes de iones cloruro más habituales son el agua de mar o la atmósfera marina, algunos procesos industriales, terrenos muy salinos y las sales de deshielo utilizadas en caminos y puentes en zonas de climas fríos. (Tejera & Alvarez, 2010)

1.3.3 Carbonatación

Proceso lento de reducción de la alcalinidad del hormigón, de pH aproximadamente 12,5 a valores inferiores a 9, debido en la mayoría de los casos a la reacción del CO₂ presente en la atmósfera con los componentes alcalinos de la fase acuosa del hormigón, se crea un “frente carbonatado” que al llegar a la armadura la despasa y ocasiona la corrosión generalizada de dicha armadura. (Oficina Nacional de Normalización, 2005)

Se trata de un caso especial de ataque ácido, es un tipo de reacción ácida, de excepcional importancia en la durabilidad del hormigón. Se produce cuando avanza desde el exterior. Las posibilidades de difusión de la carbonatación están en relación al tiempo y a la profundidad. El espesor del recubrimiento incide en la acción de estas variables. Por lo tanto, un hormigón puede presentar varios niveles de penetración de la carbonatación que estaría relacionado con la calidad del hormigón en cuestión. El frente de carbonatación avanza desde el exterior y cuando alcanza al acero, la película de pasivación que lo protege pierde su estabilidad y el metal se corroe en forma generalizada. Los productos de corrosión del acero, hidróxidos y óxidos hidratados de hierro, tienen un volumen varias veces mayor al del acero que reemplaza, por lo cual ejercen presión sobre el recubrimiento del hormigón hasta provocar fisuras y desprendimientos. (Tejera & Alvarez, 2010)

La carbonatación superficial del hormigón es variable de acuerdo con la naturaleza de sus componentes, con el medio ambiente (sea rural, industrial, urbano, etc.) y también con las tecnologías empleadas para el transporte, vertido, compactación y curado del hormigón. Por lo tanto la carbonatación es muy difícil de predecir y es muy variable dentro de amplios límites. (Howland, 2012)

1.3.4 Humedades

Las humedades son la existencia no deseada en los materiales o en los elementos constructivos de un contenido de agua superior al correspondiente al de equilibrio hídrico con su entorno. No solo inciden en las condiciones de salubridad y confort, sino que pueden llegar a afectar a las condiciones de servicio de la edificación. (Martínez, Jiménez, & Mojín)

Se conoce que las edificaciones pueden verse afectadas por varias familias de humedades, que se relacionan a continuación:

- Humedades de obra y de los materiales.
- Humedades por condensación.
- Humedades por filtración.
- Humedades por absorción.

1. Humedad de obra y de los materiales

Por tanto, pudiera decirse que las humedades de construcción son las recibidas por los componentes del edificio durante el proceso constructivo.

Tienen su origen en el agua introducida con algunos materiales (por ejemplo, la retenida en la arena), la aportada para la confección de los semiproductos (por ejemplo, el amasado de los morteros), o realización de procesos (por ejemplo, el curado del hormigón), así como la recibida por la estructura a través de precipitaciones atmosféricas con anterioridad a la colocación de la cubierta y los cerramientos.

Sus manifestaciones son tan diversas como los componentes del inmueble a los que afecta: manchas, eflorescencias, desprendimientos de los aplacados, etc. (Tejera & Alvarez, 2010)

2. Humedad por condensación

La humedad por condensación se produce al alcanzar el aire la temperatura de rocío (temperatura a la que una muestra de aire húmedo se satura y deposita rocío), generalmente sobre las superficies más frías, depositándose pequeñas gotas de agua en éstas, las cuales se agrupan y forman "núcleos húmedos".

Este fenómeno no sólo se produce en la superficie del elemento, sino también en los intersticios del material. Posee una estrecha relación con la temperatura y la ventilación, presentándose con gran frecuencia.

Se manifiestan de forma más o menos intermitente, en forma de gotas, veladuras o manchas debidas a la fructificación de colonias de hongos sobre las partes frías y poco ventiladas de la edificación.

Este tipo de humedad es poco frecuente por saltos térmicos, en países con clima cálido como Cuba, pero no deben ser descartadas en locales climatizados, en donde el fenómeno se puede dar, pero con un comportamiento inverso a lo que sucede en las construcciones de países con climas fríos.

Aquí la condensación, de producirse, será en la superficie exterior del muro. Hay otros parámetros que se deben tener presentes: la humedad relativa y temperatura, las cuales poseen registros promedios muy altos, en largos períodos de tiempo.

Los puntos donde suele presentarse son: en los encuentros entre techo y pared, carpintería y pared, columna y pared, esquinas, salientes con baja resistencia térmica, vidrio de la carpintería, residuos de morteros que ponen en contacto las diferentes capas del aislante, etc. (Tejera & Alvarez, 2010)

3. Humedad por filtración

Es la humedad producida por la penetración, la infiltración o la absorción del agua exterior a través de la envolvente exterior del edificio.

Tienen su origen en la entrada de agua a la edificación a través de los diferentes sistemas de cubierta que pueden existir, a los huecos, fisuras y poros.

Se manifiestan a través de goteras, manchas de humedad, entradas francas de agua, y agresiones diversas. (Tejera & Alvarez, 2010)

4. Humedad por absorción

En este tipo de humedad el agua pasa a través de los intersticios microscópicos, ayudada por la tensión superficial, tiene su origen en un foco húmedo, su extensión y trayectoria guarda una relación estrecha con el fenómeno físico de la capilaridad, las características de la estructura porosa del material y de la facilidad del secado desde el interior.

Se puede dividir en humedad por absorción lateral (conocida también como humedad de sótano), descendente y ascendente (conocida también como humedades de capilaridad), al tomar como criterio de clasificación la dirección predominante que sigue el agua y la ubicación del foco húmedo.

En todos los casos es necesario que exista una red capilar y un foco húmedo, que permite ayudar en la penetración de otros agentes como pueden ser el viento, grietas o fisuras previas en el material, entre otros.

Se manifiestan a través de infiltraciones, manchas de humedad, eflorescencias, hinchamientos y despegues de los revestimientos.

- Humedad por absorción lateral

Todas las partes de la edificación que se encuentren en contacto con la atmósfera, están expuestas a la acción directa de este tipo de humedad.

El foco húmedo más frecuente en este tipo de humedad es la lluvia, aunque no se debe descartar el vapor contenido en el aire que rodea al elemento, el agua retenida en el terreno, rotura de instalaciones, etc.

Los muros de fachada son los más afectados por esta humedad, en ellos el agua se introduce en su estructura ayudada por la acción del viento. Una gran parte de esta agua absorbida, es evacuada por evaporación, queda atrapada en el elemento la que toma un camino expedito o creado por fisuras y grietas en los morteros de juntas.

- Humedad por absorción ascendente

Este tipo de humedad, es conocido comúnmente como "humedad por capilaridad", pero es bueno aclarar que la capilaridad es el fenómeno físico y a la vez la vía a través de la cual el agua penetra en el elemento, por lo que no sólo le pertenece a este caso sino que también es el móvil de las absorciones laterales y descendentes que se dan en los muros de cualquier construcción.

Se puede entonces definir como aquella que tiene su origen en el agua que está contenida en el subsuelo, la que al estar en contacto con las caras de la cimentación u otros elementos del edificio en contacto con el suelo, asciende por los muros hasta alcanzar una altura superior a la rasante, en donde se manifiestan. En estas áreas, establece su acción e impone un estado de equilibrio que ocasionan un conjunto de deterioros a las edificaciones.

La humedad por absorción ascendente debe verse como un fenómeno activo y dinámico, el cual no se interrumpe hasta tanto no dejen de estar en contacto el material poroso y el foco húmedo.

Esta altura es inversamente proporcional al grado de aireación del elemento. (Tejera & Alvarez, 2010)

1.3.5 Temperatura

La temperatura juega un doble rol en los procesos de deterioro. Por un lado, su incremento promueve la movilidad de las moléculas y facilita el transporte de sustancias; por otro, su disminución puede dar lugar a condensaciones que, a su vez, pueden producir incrementos locales importantes del contenido de humedad del material. Además, la cantidad absoluta de vapor de agua de la atmósfera varía con la temperatura. (Perepérez, Barberá, & Andrade)

1.3.6 Lixiviación

La degradación del hormigón no solo puede ser causada por agua que contenga sustancias agresivas, sino también por aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial, aguas de fusión de glaciares, aguas de nieve, aguas de lluvia, aguas pantanosas blandas y algunas aguas procedentes de grandes profundidades. El hormigón es rápido atacado por las aguas blandas agresivas, las cuales tienden a disolver el calcio de la estructura. (DURAR, 1997)

En el proceso de lixiviación influye la capacidad de las aguas de solubilizar los compuestos existentes y por supuesto su solubilidad relativa.

La temperatura del agua es un factor que incide ya que la solubilidad del hidróxido de calcio se incrementa con la disminución de la temperatura.

La lixiviación es mayor cuando el agua pasa a través del hormigón bajo presión.

Cuando el agua circula sobre la superficie del hormigón, se puede presentar lixiviación en la cara opuesta de la estructura y en el caso de las tuberías en las zonas próximas al nivel superior de la lámina de agua. Los fenómenos de lixiviación de los hidróxidos alcalinos conducen también a una reducción del pH del hormigón y eventualmente, a una redistribución interna del contenido de álcalis. Estos cambios pueden inducir la ocurrencia de otros fenómenos, en dependencia de las condiciones de exposición de las

estructuras y de las características de los materiales componentes del hormigón. Entre estos fenómenos los más severos son la corrosión de las armaduras de refuerzo y las expansiones en la masa del hormigón por la reactividad alcalina de sus áridos. (Howland, 2012)

1.3.7 Ataque biológico

El tipo más importante de ataque biológico es el que se produce en los tubos de alcantarillado de hormigón, pues las aguas negras o residuales domésticas, aunque son de naturaleza alcalina causan un grave deterioro en estas alcantarillas, especialmente a altas temperaturas, cuando los componentes del azufre son degradados por bacterias anaeróbicas a ácido sulfhídrico (H_2S). Esto no es por sí mismo un ataque destructivo, pues el H_2S se disuelve en películas de humedad en la superficie expuesta de hormigón y sufre una oxidación por bacterias anaeróbicas hasta producir ácido sulfúrico. El ataque por lo tanto se produce por encima del nivel del flujo de las aguas negras. En esta zona el cemento se disuelve gradualmente y se produce el deterioro progresivo del hormigón. Este es un caso típico también de ataque de ácidos. (Howland, 2012)

1.4 Ensayos al hormigón armado en estado endurecido.

Se denominan ensayos al hormigón armado en estado endurecido a aquellos ensayos que se le realizan a las mezclas endurecidas, es decir, que corresponden a la tercera etapa en la vida del hormigón, la que comienza en el momento en que este ha alcanzado un grado de hidratación tal de la pasta de cemento que contiene, como para que la misma sea capaz de mantener unidos entre sí los granos de los agregados en forma permanente. Estos ensayos sirven para determinar su resistencia y propiedades.

1.4.1 Ensayo para la determinación de densidad en el hormigón endurecido.

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. (ISO 6275, 2005)

1.4.2 Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión en probetas endurecidas.

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. (NC 244, 2005)

1.4.3 Ensayo para la determinación de la profundidad de carbonatación en el hormigón endurecido.

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. (NC 355, 2004)

La medida de la profundidad de la capa carbonatada en los hormigones se basa en la determinación de la reducción de la alcalinidad que provocan las transformaciones químicas derivadas del proceso de carbonatación, la cual puede comprobarse visualmente mediante los cambios de coloración que sufre un indicador. (NC 355, 2004)

1.4.4 Ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón endurecido.

Este ensayo tiene como objetivo principal verificar la uniformidad, o sea la calidad relativa del hormigón en la estructura, así como la presencia de defectos internos tales como fisuras, grietas y oquedades. También es posible determinar la profundidad de fisuras o grietas apreciables en la superficie del hormigón y si se utilizan técnicas especiales de procesamiento de señales se pueden definir e identificar con elevada certeza los defectos internos antes mencionados y sus características específicas y es posible también monitorear las variaciones en las propiedades del hormigón a lo largo del tiempo debido a la acción de un medio agresivo. (NC 231, 2002)

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. (NC 231, 2002)

Entre los factores que afectan la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en la masa de hormigón se encuentran: (NC 231, 2002)

- El contenido de humedad
- La temperatura del hormigón
- La longitud del recorrido de la onda
- La forma y tamaño del objeto de ensayo
- El efecto de la armadura de acero de refuerzo

1.4.5 Ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión mediante esclerómetro.

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 y proporciona 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. (NC 246, 2003)

1.4.6 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

1.4.7 Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría).

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 y determina las áreas idóneas donde efectuar otros ensayos. (ASTM C085)

1.4.8 Extracción de testigos.

Antes de la extracción deben estar definidas las zonas de los elementos estructurales, de forma tal que sean representativas del hormigón que se investiga. Además deberá estar identificada la posición de las armaduras de acero, para evitar el corte de éstas, no se afecte la estructura objeto de estudio y no sea dañada la broca de la máquina extractora. (NC 318, 2003)

Se debe verificar que la superficie del elemento este sana y que el hormigón haya endurecido lo suficiente para que permita su extracción sin perjudicar la adherencia entre el mortero y el árido grueso. (NC 318, 2003)

Se recomienda una edad mayor de 14 días para hormigones normales que se hayan elaborado sin el empleo de aditivos. El testigo que se va a obtener para determinar la resistencia a compresión del hormigón deberá tener un diámetro de por lo menos 3 veces el tamaño máximo del árido grueso utilizado en la confección del hormigón, y en ningún caso deberá ser menor que el doble de la dimensión del tamaño nominal del árido grueso. Siempre que sea posible los testigos cilíndricos deben tener una longitud tal que garanticen después de su preparación para el ensayo, una relación altura diámetro (h/d) igual a dos. Si el testigo presenta fisuras, vacíos o fallas de hormigonado, así como acero embebido no debe ensayarse. (NC 318, 2003)

La realización del ensayo consiste en que se limpian las placas de la máquina y las superficies del testigo que estará en contacto con ella. Se centra el testigo sobre la placa original o sobre la placa auxiliar. El error del centrado no será superior a 1/100 del diámetro del testigo. Se aplica la carga de forma continua y uniforme, sin choques bruscos, de forma que se obtenga un incremento uniforme en la tensión de $0.6 \pm 0.4\text{N} / (\text{mm}^2.\text{s})$. (NC 318, 2003)

1.4.9 Penetración de iones cloruro.

La muestra del hormigón tiene que obtenerse en seco ya que si se moja puede afectar en la determinación de cloruros, los cuales son solubles en agua. La muestra tiene que obtenerse de afuera hacia dentro del hormigón para poder determinar con exactitud el perfil de cloruro. En el caso de ser probetas de hormigones de investigaciones de laboratorio no es necesario sacar los testigos en seco, directamente se le sacan las capas en el torno. (NC 344, 2005)

Se toma la probeta de hormigón endurecido y seco. Se coloca en el torno de tal forma que la cuchilla del mismo corte la probeta de afuera hacia dentro en espesores de 2 mm. Estas muestras pulverizadas son clasificadas, pasadas por el tamiz 160 μm y lo pasado es la muestra que se toma, la cual es almacenada independiente. Se obtienen tantas capas en profundidad como sea necesario, hasta que dicha muestra de hormigón no posea iones cloruros. Cada muestra, por triplicado es sometida a análisis químico para determinar el contenido de cloruros. Una vez determinado el por ciento de iones cloruros en cada

muestra se tabula o grafica el porcentaje de iones cloruros contra el espesor en cm en que fueron obtenidos dichas muestras, obteniéndose así el perfil de penetración de éstos en el hormigón. (NC 344, 2005)

1.4.10 Velocidad de absorción de agua (sorptividad).

Este método de ensayo pretende determinar la susceptibilidad de un hormigón no saturado a la penetración del agua. En general la velocidad de absorción de agua del hormigón en la superficie, difiere de la velocidad de absorción de agua de una muestra tomada en su interior. La superficie exterior está frecuentemente sujeta a un curado deficiente y está expuesta a las condiciones más potencialmente adversas. Este método de ensayo permite medir la velocidad de absorción tanto de la superficie como del interior del hormigón a través de un testigo perforado, por lo tanto se puede evaluar la velocidad de absorción a diferentes distancias de la superficie expuesta. El testigo se puede perforar vertical u horizontalmente. (NC 967, 2013)

La velocidad de absorción de agua (sorptividad) del hormigón hidráulico se determina al medir el incremento de la masa de una probeta como resultado de la absorción de agua en función del tiempo, cuando sólo se expone al agua una superficie de la probeta. La superficie de la probeta que está expuesta al agua se sumerge y el agua ingresa al hormigón no saturado debido a la succión capilar a partir del contacto con el agua. (NC 967, 2013)

1.5 Términos y definiciones.

1.5.1 Vida útil

La vida útil es el período en el que la estructura conserva los requisitos del proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética, sin costos inesperados de mantenimiento. (DURAR, 1997)

La Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) define la vida útil de una estructura como "el período de tiempo, a partir de la fecha en la que finaliza su ejecución, durante el que debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias. Durante ese periodo requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación. La vida útil

nominal depende del tipo de estructura y debe ser fijada por la Propiedad previamente al inicio del proyecto". En esta instrucción, se emplea el termino "vida" útil de forma equivalente a como lo hace el Código Técnico de la Edificación cuando hace referencia al periodo de servicio. (EHE-08)

En la norma ISO 15686-1 se define la vida útil de un edificio como el período de tiempo después de la instalación o construcción durante el cual un edificio o sus partes cumplen o exceden los requerimientos mínimos de rendimiento para lo cual fueron diseñados y construidos.

Según la autora la vida útil se define como el período mínimo durante el cual se espera que la estructura desarrolle su función para la cual fue diseñada, sin pérdida de utilidad y sin requerir demasiado mantenimiento.

1.5.2 Proceso Patológico

En la ingeniería civil, para atacar un problema constructivo, es necesario "diagnosticarlo", es decir, conocer su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y sus deterioros o afectaciones. Este conjunto de aspectos del problema, que pueden agruparse de un modo secuencial, es lo que llamaremos "proceso patológico" en cuestión. (Colina, 2019)

1.5.3 Ensayos destructivos

Un ensayo destructivo es aquel que deteriora la pieza que inspecciona, pero depende del tipo de ensayo, la pieza experimenta desde una leve marca, a una deformación permanente o incluso su rotura parcial o total. (Ensayos destructivos metalurgicos, 2011)

1.5.4 Ensayos no destructivos

Se denomina ensayo no destructivo (END) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los diferentes métodos de ensayos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de

partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada. (Interempresas, s.f.)

1.5.5 Normativa

El término normativa es usado como sinónimo de regla, método, procedimiento, su presencia y cumplimiento es de suma importancia dentro de una organización, institución y/o sociedad, ya que estipula y limita el comportamiento y funciones de cada uno de sus miembros que permite lograr una sana convivencia y el alcance de sus objetivos planteados. (Normativa)

1.6 Conclusiones Parciales.

- El hormigón armado es uno de los materiales más usados en la construcción desde la época antigua gracias a sus grandes propiedades
- La durabilidad de las estructuras de hormigón armado es de vital importancia por lo que las mismas deben ser construidas con la intención de protegerlas lo más posible de los factores que la afecten
- La realización de ensayos al hormigón armado permiten conocer como reaccionaria el material una vez puesto en servicio

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS NORMATIVAS VIGENTES E INCLUSIÓN DE NUEVOS ENSAYOS.

En este capítulo se realiza un análisis y comparación de las normativas tanto nacionales como extranjeras, referentes a los ensayos al hormigón armado. Además de una pequeña caracterización del litoral norte de la ciudad de Matanzas y la propuesta de nuevos ensayos para las edificaciones patrimoniales de este lugar.

2.1 Análisis de las normativas cubanas.

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Las NC abarcan una información amplia acerca de los ensayos de durabilidad al hormigón armado tanto en estado fresco como en estado endurecido, desde la elaboración de las probetas, la toma de muestras, la extracción de testigos hasta el curado, el mezclado, transporte, compactación y bombeo del hormigón. La explicación de los distintos ensayos, el objetivo que persiguen los mismos, la maquinaria necesaria para realizarlos, los reactivos y materiales que deben emplear, el procedimiento a seguir, los distintos cálculos que se puedan hacer y las principales observaciones están recogidas en esta normativa. Algunos de los ensayos más importantes presentes en la misma son el de compresión, densidad, flexión, absorción de agua, tracción, temperatura, adherencia, velocidad del pulso ultrasónico, carbonatación, entre otros.

A continuación se muestra una lista de los ensayos normados en Cuba para evaluar la durabilidad de los hormigones:

- NC 345 del año 2005: Determinación de la absorción de agua por capilaridad
- NC 967 del año 2013: Determinación de la velocidad de absorción de agua (sorptividad)
- NC 248 del año 2005: Determinación de la velocidad de penetración del agua bajo presión
- NC 344 del año 2005: Determinación del perfil de penetración de iones cloruros
- NC 272 del año 2003: Determinación de cloruro total por valoración potenciométrica
- NC 355 del año 2004: Determinación de la corrosión del acero de refuerzo
- NC 695 del año 2009: Determinación de la corrosión del acero de refuerzo

Normas aprobadas para los ensayos principales a la mezcla de hormigón endurecida:

- Resistencia a la compresión: Sobre probetas cilíndricas, regulada por la NC 244 del año 2005
- Resistencia a flexión: Sobre probetas prismáticas se regula por la NC 245 del año 2003
- Resistencia a la tracción indirecta: Sobre probetas cilíndricas se determinan según la NC 329 del año 2004
- Densidad del hormigón endurecido: Obtenido por la NC ISO 6275 del año 2005
- Absorción capilar y sorptividad: Reguladas por las NC 345 del año 2005 y NC 967 del año 2013, respectivamente
- Penetración de agua a presión: Obtenida por la NC 248 del año 2005
- Carbonatación: Regulada por la NC 355 del año 2005

2.2 Análisis de las normativas extranjeras.

2.2.1 RED DURAR (DURAR, 1997)

Esta normativa iberoamericana se realizó ante la necesidad de adopción de métodos y procedimientos bien definidos e intervenciones que sean provechosas y eficaces para contribuir a la durabilidad del hormigón armado.

En la misma se encuentran algunos de los ensayos de durabilidad al hormigón armado como:

- Ultrasonido

Este ensayo no destructivo tiene como principales objetivos:

- a. Verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del hormigón.
- b. Detectar las fallas internas (presencia de vacíos) introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones.
- c. Monitorear las variaciones de las propiedades del hormigón a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio.

- Esclerometría

El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del hormigón y proporciona elementos para la evaluación del mismo en su estado endurecido, el cual tiene como objetivo evaluar la dureza superficial del hormigón mediante el uso del esclerómetro de reflexión.

- Resistividad eléctrica

La Resistividad Eléctrica es una propiedad de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m. Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del hormigón y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa. En función de variable tales como: cemento, las adiciones inorgánicas, la relación agua/cemento, la porosidad de la estructura, entre otras.

La medida de la resistividad eléctrica puede efectuarse bien sea: en laboratorio sobre testigos de hormigón extraídos de la estructura o, directamente sobre la estructura en campo, esta última es la metodología no destructiva.

- Concentración de cloruros

El objetivo de este ensayo es la determinación de la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa de hormigón a diferentes niveles de profundidad, resultados que permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo. Esta información,

interrelacionada con otras variables, permite analizar el estado actual de la estructura y también permite estimar el tiempo que tardara este ion en alcanzar el refuerzo.

Los procedimientos pueden realizarse a partir de extracción de testigos o a partir de la extracción de muestras en polvo, esta última es considerada no destructiva, por lo cual es la más indicada para realizar.

Además de estos ensayos se hace referencia a ensayos destructivos al hormigón endurecido como la profundidad de carbonatación, la resistencia a la compresión y la porosidad, pero los mismos no son objetivo de este trabajo de diploma ya que nos enfocaremos en los ensayos no destructivos.

2.2.2 ACI (*American Concrete Institute*) (ACI 318, 2014)

Esta norma estadounidense contiene requisitos mínimos para los materiales, diseño y detallado de edificaciones de concreto estructural y, donde sea aplicable, en estructuras diferentes de edificaciones. El Reglamento también cubre sistemas estructurales, miembros y conexiones, incluyendo concreto construido en obra, construcción prefabricada, concreto simple, construcción no preesforzada, construcción preesforzada y construcción compuesta. Dentro de los temas tratados se encuentran: diseño y construcción para resistencia, funcionamiento y durabilidad, combinaciones de carga, factores de carga y de reducción de resistencia; métodos de análisis estructural; límites de las deflexiones; anclaje mecánico y adherido al concreto; desarrollo y empalme del refuerzo; información sobre los documentos de construcción; inspección en obra y ensayo de los materiales; y métodos para evaluar la resistencia de estructuras existentes.

La calidad y los ensayos sobre los materiales utilizados en obra se incluyen por referencia a las normas ASTM apropiadas. El ACI 311.4R da pautas para la inspección de construcciones en concreto y el ACI 311.6 constituye una especificación de referencia para los ensayos del concreto premezclado. En general no son tratados ampliamente los temas referentes a los ensayos de durabilidad al hormigón endurecido, sino más bien son referenciados en otras normas. La verdadera esencia de esta normativa radica en el comportamiento estructural de las estructuras.

2.2.3 ASTM (*American Society for Testing and Materials*) (ASTM, 2005)

Las normas norteamericanas ASTM, son la referencia que se ha utilizado, en la industria de la construcción y particularmente en el sector de cemento y concreto, desde siempre. De hecho, se utiliza la referencia a la norma ASTM, tanto en documentos oficiales como el Código de Construcción, como en especificaciones técnicas privadas o planos de construcción en general.

Dentro de esta norma se encuentran bien definidos los conceptos de:

Las normas de producto que establecen las condiciones que deben ser cumplidas para la manufactura del cemento, concreto, o productos de concreto, establece criterios de conformidad, en búsqueda de lograr una calidad óptima del producto elaborado.

Normas de ensayo que establecen diferentes tipos de pruebas, mediante la conformación de diversos criterios de aceptación. Dichas normas son necesarias para que el cliente identifique si el producto suministrado, cumple o no con los requerimientos especificados y para que el productor establezca la calidad del concreto.

Normas para los materiales: “... Aquellos materiales para los cuales las instituciones mencionadas no hayan fijado una norma propia o la aplicación de una norma o normas extranjeras se ceñirán, en cuanto a calidad y condiciones de uso a las normas de la Asociación Estadounidense para Ensayos y Materiales (*American Society for Testing and Materials*), designadas abreviadamente como normas ASTM, según su última revisión” (cap. 23, Reglamento de Construcción)

Normas referentes a ensayos al hormigón:

- Resistencia a la compresión uniaxial de especímenes cilíndricos de concreto. Método de ensayo. INTE C39; corresponde a la ASTM C39
- Ensayo de revenimiento, Norma ASTM C143, INTE C41
- Requisitos para los laboratorios que ejecutan los ensayos, Norma ASTM C 1077
- La Norma ASTM C 94 permite tomar una muestra preliminar para medir el asentamiento y el contenido de aire.
- El asentamiento del concreto se mide de acuerdo a la Norma ASTM C 143
- El contenido de aire se mide de acuerdo al Método de Ensayo Estándar según la Norma ASTM C 143

- La densidad del concreto se mide de acuerdo a la Norma ASTM C 138
- La temperatura del concreto es medida de acuerdo a la Norma ASTM C 1064
- La ASTM C 31 describe los procedimientos para preparar los cilindros y las vigas para fallar a compresión y flexión
- La toma de núcleos y vigas en hormigones endurecidos según la norma ASTM C 42 se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o a la tracción indirecta, y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión

2.2.4 Norma EHE-08 (EHE-08)

La reglamentación técnica relativa al proyecto y ejecución de las estructuras de hormigón ha estado constituida durante los últimos años por la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE), que ha permitido un tratamiento coherente de todas las estructuras de hormigón además de constituir, probablemente, el marco regulador más avanzado en el momento de su entrada en vigor, dentro del ámbito de las reglamentaciones técnicas relativas a las estructuras de hormigón.

La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, en su artículo 86.7.3.1, señala las decisiones derivadas del control de la resistencia del hormigón durante el suministro y puesta en obra del hormigón:

La realización de los ensayos de información, su planificación, así como los estudios de seguridad y los proyectos de refuerzo, en su caso, requieren la intervención de técnicos especializados.

Según el artículo 86.8 de la EHE-08 los ensayos de información del hormigón pueden consistir en:

1. La fabricación y rotura de probetas, conservándolas en condiciones lo más parecidas posible a aquellas en las que se encuentra el hormigón cuya resistencia se pretende estimar.
2. La rotura de probetas testigo extraída del hormigón endurecido, conforme a UNE-EN 12390-3. Este ensayo no deberá realizarse cuando la extracción pueda afectar de un

modo sensible a la capacidad resistente del elemento en estudio, hasta el punto de resultar un riesgo inaceptable. En estos casos puede estudiarse la posibilidad de realizar el apeo del elemento, previamente a la extracción.

3. El empleo de método no destructivo fiable, como complemento de los anteriormente descritos y debidamente correlacionados con los mismos.

- Ensayo de docilidad del hormigón: Se comprobaba mediante la determinación de la consistencia del hormigón fresco por el método del asentamiento
- Ensayo de resistencia del hormigón: Se comprobaba mediante ensayos de resistencia al hormigón efectuado sobre probetas fabricadas y curadas. Todos los métodos de cálculo y las especificaciones de esta Instrucción se refieren a características del hormigón endurecido obtenidas mediante ensayos sobre probetas cilíndricas de 15x30 cm
- Permeabilidad del hormigón: Para obtener un hormigón con una baja permeabilidad se debe tomar una relación agua/cemento suficientemente baja, una idónea compactación, un contenido adecuado de cemento y una hidratación suficiente con un buen curado, según la norma EHE-08

2.2.5 Norma UNE (UNE, 2003)

De los documentos normativos UNE (Acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informales (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

Entre los ensayos no destructivos pueden considerarse los ensayos normalizados en UNE-EN 12504-2 relativos a la determinación del índice de rebote y la UNE-EN 12504-4, a la velocidad de propagación de ultrasonidos. La fiabilidad de sus resultados está condicionada a combinar estos ensayos con la extracción de probetas testigos.

- Extracción de testigo de hormigón armado: Como norma de referencia en España se dispone de la norma UNE-EN 12504:2009 “Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 1: Testigos. Extracción, examen y ensayo a compresión“. Dentro del objeto de dicha norma, se especifica que en la misma no se establecen

métodos para interpretar los resultados de resistencia de testigos, por lo que dicha evaluación debería ser realizada por personal especializado en la materia

- **Determinación de la fuerza de arrancamiento (Destructivo).** Este tipo de ensayos permite determinar la resistencia de un hormigón que establece relaciones empíricas con la fuerza de arrancamiento medida. Algunos de estos ensayos requieren actuaciones previas durante el hormigonado, por lo que no son eficaces directamente para el estudio de un elemento en concreto
- **Ultrasonidos (No destructivo).** Este ensayo se puede realizar de forma semidirecta o indirecta según se ubiquen los palpadores en los paramentos adyacentes o en el mismo paramento. En este ensayo influye enormemente la posición de las armaduras, por lo que es preciso determinar claramente su ubicación. El resultado del ensayo se determina a partir de la medición de la velocidad de propagación de las ondas a través del elemento con la utilización de un circuito electrónico. La medición de esta velocidad permite determinar las propiedades elásticas del material y con ello la determinación de su módulo elástico dinámico. Este método también es muy útil para determinar la existencia de fisuras y vacíos en el hormigón
- **Permeabilidad del Hormigón:** El método para hacer una comprobación experimental lo tenemos desarrollado en la norma UNE-EN 12390
- **Determinación de la profundidad de penetración de agua bajo presión:** El agua es aplicada bajo presión a la superficie del hormigón endurecido. A continuación se divide la probeta en dos mitades (ensayo brasileño) y se mide la profundidad máxima de penetración del frente de agua y se redondea al mm más próximo. El ensayo se aplica a los 28 días de la probeta y no sobre la carga de acabado. Durante 72h se mantendrá el agua a una presión de 500 Kpa. (5 bares)
Un hormigón se considera suficientemente impermeable al agua si los resultados del ensayo de penetración a agua cumplen simultáneamente que:
La impermeabilidad al agua del hormigón es una condición necesaria, aunque no suficiente, para lograr un comportamiento adecuado frente a los ataques agresivos. Por otro lado, la permeabilidad no es el único mecanismo que interviene en los

procesos de degradación del hormigón, ya que existen otros ligados a fenómenos de absorción de agua y difusión de gases e iones.

- Determinación de la resistencia a compresión en probetas (UNE-EN 12390-3)
Tiene como objetivo determinar el valor de la resistencia a compresión en probetas cilíndricas (15 cm de ϕ y 30 cm de altura), correspondientes a las realizadas en la práctica nº11.

Las probetas pueden ser cúbicas, cilíndricas o testigos. En el caso de emplear cúbicas se debe de aplicar un coeficiente de conversión

- Resistencia a tracción indirecta (UNE-EN 12390-6)

Una probeta cilíndrica (15x30 cm) se somete a una fuerza de compresión aplicada en una banda estrecha y en toda su longitud, el resultado de la fuerza de tracción ortogonal resultante origina que la probeta rompa a tracción

- Resistencia a flexión (UNE-EN 12390-6)

Las probetas serán prismáticas de dimensiones normalizadas. El dispositivo de carga se observa en la figura

2.3 Análisis comparativo.

Luego de haber realizado un amplio análisis de las normativas referentes al objeto de estudio, los ensayos del hormigón, tanto internacionales como nacionales se puede llegar a una comparativa entre ellas, se delimita cuáles son las características que las posicionan, cuales abarcan mayor cantidad de contenido respecto al tema, cuales son las que más se adaptan a los objetivos propuestos, los elementos más significativos, y cuáles son las normas más representativas que constituyen la base para la creación de las restantes.

Con respecto a las normas internacionales, la ASTM se ubica como referencia para todas las normativas en cuanto a ensayos de durabilidad del hormigón y de otros materiales se refiere. Esta norma norteamericana abarca una serie de elementos de la industria de la construcción y particularmente en el sector del cemento y del concreto, utiliza una amplia metodología para la realización de los distintos ensayos. Constituye una guía para

cualquier normativa que trate esta temática, hace un análisis desde los requisitos de laboratorio, la toma de las muestras hasta los propios ensayos, lo cual la posiciona como la más amplia y específica.

La ACI, también norteamericana, es una de las más utilizadas para el cálculo estructural a nivel mundial, pero no explica los ensayos de durabilidad del hormigón, más bien los incluye por referencia a las normas ASTM apropiadas.

La AASHTO es una normativa global, con amplias y diversas utilidades, pero que se enfoca en el diseño y construcción de puentes y carreteras, limita sus teorías respecto al tema objeto de estudio.

De las normativas europeas, se destacan la EHE-08 española y las UNE-EN. La primera aborda los ensayos de información, su planificación, así como los estudios de seguridad y los proyectos de refuerzo, enmarca los ensayos en menor medida, mientras que la segunda realiza un amplio análisis y síntesis de los ensayos más importantes para determinar la durabilidad del material.

Por otra parte, la RED DURAR, de carácter iberoamericano, a pesar de su antigüedad hace referencia a un elevado número de ensayos, a partir de métodos y procedimientos bien definidos e intervenciones provechosas y eficaces para contribuir a la durabilidad del hormigón armado.

Las normas cubanas, en su mayoría, se remiten a normativas internacionales, tales como la ASTM o la UNE, pero existen algunas que son cien por ciento representativas de nuestro país y que desarrollan ensayos propios de las características de nuestras estructuras y edificaciones, así como de nuestro medio ambiente y economía.

Luego de haber realizado un bosquejo de todo el sistema que rige este tema respecto a ensayos realizados al hormigón para determinar su durabilidad, se puede decir que las más aplicables al objetivo que se persigue de acuerdo a nuestro entorno como país y a nuestra provincia son nuestras propias normas, las cuales además de tomar la información de normativas extranjeras, las adecuan y moldean a nuestras necesidades y desafíos, que aporta material necesario para realizar dicho estudio, pero no contienen demasiada información actualizada, pues hay muchísimos nuevos ensayos y técnicas novedosas que podrían ser incluidas. Sin embargo, al hacer un análisis resumido de las normas restantes,

es oportuno puntualizar que las más completas y abarcadoras internacionalmente, son la ASTM, la UNE y la RED DURAR.

2.4 Identificación de los ensayos y técnicas convenientes para diagnosticar estructuras patrimoniales de hormigón armado en el litoral norte de la provincia de Matanzas.

Situada en el seno de la bahía homónima, atravesada por los ríos Yumurí, San Juan y Canímar, la ciudad de Matanzas fue la primera ciudad moderna de Cuba según los criterios urbanísticos y únicos utilizados en el diseño y fundación. Se encuentra al norte de la provincia de mismo nombre, ubicada en la región occidental de Cuba. Su clima se caracteriza por la influencia de condiciones tropicales durante casi todo el año, aunque con influencias subtropicales durante el corto período invernal. (Colina, 2019)

La situación de los suelos es compleja y tiende a agravarse con el impacto del cambio climático, el incremento de los periodos de sequía y los otros procesos que contribuyen a su degradación. Las playas están afectadas por diversos factores, entre los que se destacan la erosión que genera la acción del hombre y el oleaje intenso de los ciclones tropicales y frentes fríos. En la actualidad existen problemas de contaminación que han determinado el deterioro de la calidad ambiental del aire, los suelos y el agua. (Estrategia Ambiental Nacional, 2017-2020)

En el litoral Norte de Cuba a menos de 1 km de la costa se ha comprobado que la agresividad corrosiva ambiental es extrema, además de una atmósfera marina, por lo que nos enfocaremos específicamente en el litoral norte de la provincia de Matanzas para realizar nuestro estudio.

Esta ciudad se ve cada vez más deteriorada debido a la falta de recursos, mantenimiento, a la continua acción de los agentes ambientales y humedades a la que constantemente está sometida. Las estructuras de hormigón no son la excepción, si no a veces son las más afectadas.

Debido a las antiguas características del hormigón armado como su dosificación volumétrica y las arenas de mar usadas en su confección, se pueden apreciar en nuestras edificaciones patrimoniales de hormigón armado resultados generalmente negativos.

Debido al gran valor histórico-cultural que poseen las estructuras patrimoniales de Matanzas es necesario la realización de ensayos no destructivos (que no suponen debilitamiento del elemento al que se realicen) para diagnosticar así la calidad y durabilidad del hormigón de estas estructuras. Los más indicados son el ultrasonido, la esclerometría, la profundidad de carbonatación (todos explicados con anterioridad en el capítulo uno), las ondas magnéticas, la medida de corrosión del grado de la armadura y el examen con microscopio.

- Ondas magnéticas (Carrio & Maldonado)

Este ensayo se realiza al medir, en diferentes puntos de la superficie del hormigón, la alteración del campo magnético generado por una sonda electromagnética o pachómetro y permite conocer la posición de las armaduras y, con menor precisión, sus diámetros y el espesor de los recubrimientos.

- Medida del grado de corrosión de la armadura. (Carrio & Maldonado)

Cuando no se sabe si el acero de las armaduras ha comenzado un proceso de corrosión, o se desconoce el riesgo de que ocurra, esto se puede determinar mediante equipos que miden el potencial eléctrico de aquellas. Para ello se practica en el hormigón una cala que permita conectar a la armadura un electrodo y se desplaza el otro electrodo por la superficie del elemento estructural.

- Examen con microscopio. (Carrio & Maldonado)

El microscopio permite medir el ancho de microfisuras o fisuras que no se pueden medir a simple vista, así como la composición mineralógica y su cristalografía.

2.4.1 Propuesta de ensayos y técnicas novedosas.

En la actualidad hay una amplia gama de nuevos ensayos no destructivos y de técnicas novedosas para optar por la durabilidad del hormigón armado. Los mismos no están contemplados en las Normas Cubanas pues en los últimos años no han sido actualizadas

sobre estos temas en específico. A pesar de esto, muchos de ellos se han usado en Cuba en las empresas de investigación militares y en ensayos llevados a cabo por la empresa Restaura, de la Oficina del Historiador de La Habana.

- Georradar (LLopis)

La técnica del Georradar o *Ground Penetrating Radar* (GPR) es una técnica no destructiva, relativamente reciente, pues pese a que los primeros ensayos datan de las primeras décadas del siglo XX, solo hasta la década de los 70 se logró un desarrollo de un método práctico. Los primeros estudios fueron realizados en el área de la geología y glaciología, pero rápidamente se pasó a otros muchos campos incluidos el que nos interesa verdaderamente “La construcción”.

La utilización de una metodología de investigación no destructiva, como el Georradar, con elevada resolución permite un mejor conocimiento para la planificación de la restauración, la conservación y del mantenimiento de edificaciones. En la Ingeniería civil el Georradar es utilizado para la localización de canalizaciones y tuberías, cavidades y estructuras metálicas. Además de la definición de estructura de hormigón armado y espesores en firme. (Anexo 7)

- Ferroskan o radiografía del hormigón (SPA)

El Ferroskan o pacómetro, es un escáner electromagnético que detecta la profundidad, espaciado y diámetro de las barras de acero que se encuentran en el hormigón. Con Hilti Ferroskan PS200 y Hilti Ferroskan PS1000 el análisis es en tiempo real, in situ. (Anexo 9)

- Escáner 3D (4dmetric)

El Escáner 3D se utiliza para crear una nube de puntos de diferentes formas geométricas realizadas en la superficie de un objeto para extrapolar la forma del objeto a información digital. Si la información de color se incluye en la nube de puntos, los colores también se podrán determinar. El escaneado 3D mediante láser se puede utilizar perfectamente en edificios arquitectónicos de interés cultural. Este método es poco agresivo y se obtiene al detalle modelos tridimensionales, tanto en largo alcance como en precisión.

- Análisis térmico diferencial (Servicio General de Apoyo a la Investigación)

Este servicio permite determinar los cambios de masa y las variaciones asociadas al material en estudio en función de la temperatura, así como identificar los gases de

descomposición o reacción por espectrometría de masas. También, se pueden estudiar los cambios dimensionales del material con la temperatura (densificación, coeficientes de expansión térmica, etc.). El Análisis Térmico Diferencial (DTA) mide la diferencia de temperatura entre la muestra en ensayo y una referencia inerte, ambas calentadas bajo las mismas condiciones, y nos permite observar cambios energéticos en la muestra, tales como cambios de estado, transiciones vítreas, de fase, etc.

En general los ensayos novedosos antes mencionados utilizan tecnología no destructiva o poco agresiva. Realizan análisis en tiempo real. Son eficientes y bastante precisos. Es por esto que son tan beneficiosos para diagnosticar edificaciones patrimoniales pues las mismas no se ven afectadas al realizárseles las distintas pruebas. Además de aportar la información necesaria para las pertinentes reparaciones en dependencia de los daños y patologías identificadas y los resultados obtenidos por los ensayos. Ponen de manifiesto como el desarrollo de la tecnología llega también a la rama de la construcción y específicamente a las técnicas, métodos y ensayos que se les realiza a los distintos materiales utilizados hoy, en especial al hormigón.

2.5 Conclusiones parciales.

- El sistema de normas referentes a los ensayos del hormigón armado es amplio y rico en métodos y procedimientos; tanto nacional como internacionalmente
- Las normas más completas son la RED DURAR, la UNE y la ASTM; y las normativas cubanas las toma como referente y las ajusta a sus necesidades y características.
- La realización de ensayos novedosos serian de gran ayuda para el diagnóstico de las estructuras patrimoniales no solo de Matanzas sino de todo el país, pues son no destructivos y muy eficientes

CONCLUSIONES

- El hormigón armado es el material más extensamente empleado en la construcción por sus excepcionales cualidades, por lo que es de vital importancia abogar por la durabilidad de las estructuras construidas con él.
- Las normas cubanas, en su mayoría se remiten a normativas internacionales con respecto a los ensayos de durabilidad del hormigón y las utiliza como referencia, pues adecúa la información a nuestras necesidades y posibilidades.
- Los ensayos novedosos al hormigón armado son muy eficientes y precisos, con tecnología no destructiva por lo que es recomendable su inclusión en los diagnósticos de estructuras patrimoniales al no dañar o afectar la estructura en el momento de la realización de las pruebas.

RECOMENDACIONES

Incluir la realización de otros ensayos que se le realizan al hormigón armado para profundizar aún más en el estudio del tema.

Actualizar las normativas cubanas con respecto a los ensayos al hormigón.

Fomentar la implementación de técnicas menos invasivas y tecnologías más modernas con el fin de mantener las apariencias originales de las edificaciones en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

1. 4dmetric, s.f. *Escáner 3D en arquitectura*, s.l.: s.n.
2. AASHTO, 2002. *Standard Specifications for Highway Bidges*, s.l.: s.n.
3. ACI 318, A. C. I., 2014. *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*, s.l.: s.n.
4. Anon., 2011. Ensayos destructivos metalurgicos. *Revista dijital para profesionales de la enseñanza*.
5. Anon., 2017-2020. *Estrategia Ambiental Nacional*, s.l.: s.n.
6. Anon., s.f. *Interempresas*. [En línea]
Available at: <http://www.interempresas.net>
7. Anon., s.f. *Normativa*. [En línea]
Available at: <http://www.significados.com>
8. Anon., s.f. *Servicio General de Apoyo a la Investigacion*. [En línea]
Available at: <http://www.ull.es>
9. Arkyplus, 2016. *Historia del hormigón armado*. [En línea]
Available at: www.arkyplus.com
10. ARQHYSARQUITECTURA, 2018. *Historia del Hormigón Armado*. [En línea]
Available at: www.arqhys.com
11. ASTM C085, N., s.f. *Norma ASTM C085*, s.l.: s.n.
12. ASTM, 2005. *American Society for Testing and Materials*, s.l.: s.n.
13. Carcaño, R. G. S., Moreno, É. I. & Borges, P. C., 2005. *Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera*. s.l.:s.n.
14. Carrio, J. M. & Maldonado, L., s.f. *Patologías y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. s.l.:s.n.
15. Colina, J., 2019. *PROPUESTAS DE ENSAYOS AL HORMIGÓN ARMADO EN ESTRUCTURAS PATRIMONIALES SEGÚN SU ESTADO TÉCNICO-CONSTRUCTIVO*, Matanzas: UMCC.
16. DURAR, R., 1997. *Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado*. Rio de Janeiro: s.n.
17. EHE-08, N., s.f. *Instruccion de Hormigon Estructural*. s.l.:s.n.
18. EHE, 2011. *Instrucción de Hormigón Estructural*. Quinta ed. s.l.:Centro de Publicaciones Secretaria General Tecnica Ministerio de Fomento.
19. Howland, D. I. J. J., 2012. *Desempeño por durabilidad de las estructuras de hormigón*, s.l.: s.n.
20. ISO 6275, N., 2005. *Hormigón endurecido. Determinación de la densidad*, s.l.: s.n.
21. Llopis, V. P., s.f. *Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos*, s.l.: s.n.
22. Martínez, P., Jiménez, G. & Mojín, A., s.f. *Procesos patológicos frecuentes en edificación. Casos de estudio*, Madrid: s.n.
23. NC 231, N. C., 2002. *Determinación, interpretación y aplicación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón*, s.l.: s.n.
24. NC 244, N. C., 2005. *Hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas*, s.l.: s.n.

25. NC 246, N. C., 2003. *Determinación de la resistencia a compresión del hormigón por medio de esclerómetros tipos N y NR*, s.l.: s.n.
26. NC 318, N. C., 2003. *Hormigon endurecido. Extraccion y preparacion de testigos.*, s.l.: s.n.
27. NC 329, N. C., 2004. *Resistencia del hormigón a tracción indirecta.*, s.l.: s.n.
28. NC 344, N. C., 2005. *Hormigon endurecido. Determinacion del perfil de penetracion de iones cloruro*, s.l.: s.n.
29. NC 355, N. C., 2004. *Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puestos en servicio*, s.l.: s.n.
30. NC 967, N. C., 2013. *Velocidad de absorcion de agua(sorptividad)*, s.l.: s.n.
31. Oficina Nacional de Normalizacion , 2005. *Requisitos de durabilidad para el diseño y contruccion de edificaciones y obras civiles de hormigon estructural*, La Habana: s.n.
32. Perepérez , B., Barberá, E. & Andrade, C., s.f. *La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón.*, Valencia: s.n.
33. SPA, B. C. d. I. C., s.f. *Ensayos no destructivos a estructuras de hormigon*, nueva York: s.n.
34. Tejera, P. & Alvarez, O., 2010. *Conservación de Edificaciones*. s.l.:s.n.
35. Traversa, L. P., 2000. *DURABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Buenos Aires: LEMIT.
36. UNE, 2003. *Acrónimo de Una Norma Española*, s.l.: s.n.
37. Yepes, D. V., 2017. *Breve introduccion a los origenes del hormigon armado*. [En línea]
Available at: <http://www.cehopu.cedex.es/hormigon/>

ANEXOS

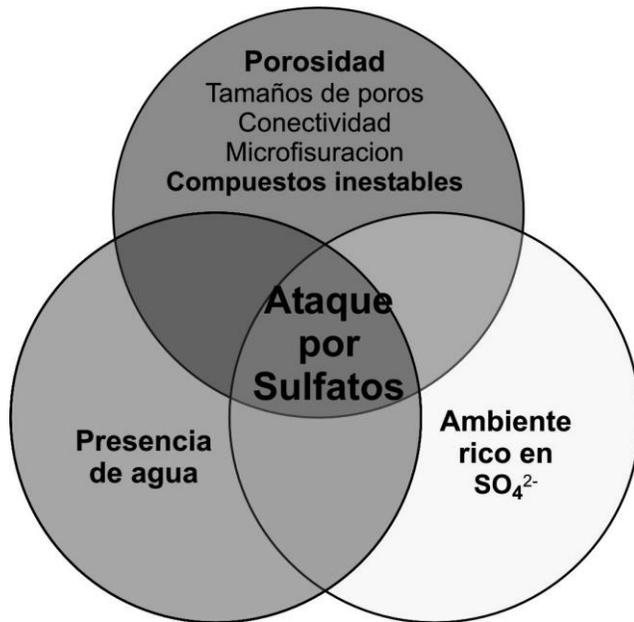
Anexo 1 Afectaciones a estructuras de hormigón armado.

1. Ejemplos de Corrosión (Cloruros/Carbonatación)



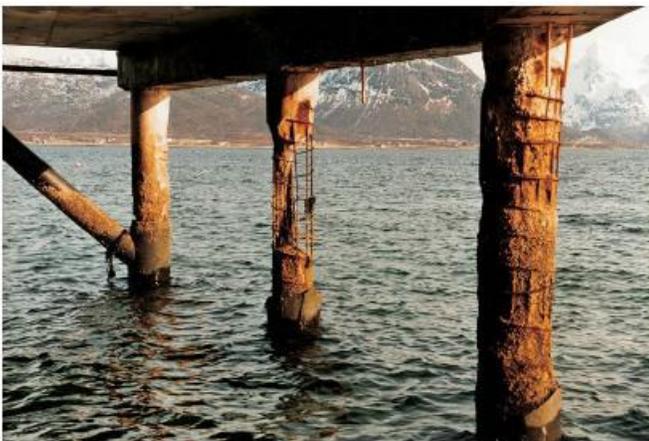
Esquema de las condiciones elementales conjuntas para que ocurra el daño por sales.

2. Ejemplos de Ataque de Sulfatos



Condiciones elementales conjuntas para que ocurra el ataque por sulfatos.

3. Deterioro de una Estructura Marítima.



4. Formación de eflorescencia por lixiviación en la parte interior de una cubierta de hormigón.



Anexo 2 Ensayos. Equipos y materiales utilizados.

1. Ultrasonido (velocidad del pulso ultrasónico)

- Pacómetro
- Equipo comercial de ultrasonidos
- Acoplante (silicona, vaselina)



2. Profundidad de carbonatación

- Instrumentos de medición: escala milimétrica, jeringuilla
- Herramientas para extracción de muestras: piquetas, taladros, etc.
- Material para limpieza superficial: brocha, trapos, etc.
- Solución indicadora ácido-base: fenolftaleína



3. Grado de oxidación (% de pérdida del acero por corrosión)

- Instrumentos de medición: Pie de rey, escala milimétrica
- Herramientas y utensilios para la limpieza superficial: Picoleta, maceta, cepillo de alambre, brocha, trapos, etc.



4. Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría)

- Pacómetro
- Escala milimétrica
- Barras de marcador indeleble



5. Determinación de la resistencia a la compresión

- Pacómetro
- Máquina extractora de testigos
- Prensa para ensayo a compresión axial



6. Dureza superficial (esclerometría)

- Esclerómetro de reflexión: Schmidt Tipo N
- Disco o piedra abrasiva de carburo para remover la capa superficial de muy poco espesor (2 mm), que es la más dura, y por lo tanto no sería representativa del resto del hormigón
- Utensilios para la limpieza superficial: Brocha



7. Georradar de hormigón.



8. Microscopio electrónico.



9. Sistema Ferroskan.



