

*Universidad de Matanzas  
Facultad de Ciencias Técnicas*



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

**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Autor: Javier Colina Hernández**

**Tutor: Ing. Dariel Soto Portillo**

*Matanzas, 2019*

## **PENSAMIENTO**

*UNOS DE DELOS GRANDES DESCUBRIMIENTOS QUE UN HOMBRE PUEDE  
HACER, UNA DE SUS GRANDES SORPRESAS, ES ENCONTRAR QUE PUEDE  
HACER LO QUE TEMÍA QUE NO PODÍA HACER.*

Henry Ford

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declaro 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.



## **DEDICATORIA**

*ESTE TRABAJO NO SERÁ EL MEJOR NI EL QUE SE MERECE, PERO QUISIERA DEDICÁRSELO A MI PADRE JOSÉ A. COLINA CARDOSO, CON EL CUAL SIEMPRE TUVE ESTA DEUDA, ESPERANDO QUE SE SIENTA ORGULLOSO DE MI DONDE QUIERA QUE SE ENCUENTRE.*

## **AGRADECIMIENTOS**

- Agradecer en primer lugar a toda mi familia, en especial a mi madre por todo el apoyo incondicional que me ha brindado
- A mi padre, por darme las fuerzas para seguir, aun en mis días más oscuros
- A mi tutor, por sus conocimientos brindados y por tener tanta paciencia conmigo
- A mis amigos, tantos los graduados como los que se gradúan, por darme toda la ayuda que le he pedido y por hacer todos estos años placenteros
- A todos los que no quisieron verme ingeniero de alguna manera u otra, por darme fuerzas para verlos por encima del hombro

## RESUMEN

El hormigón armado como material más extensamente empleado en la construcción debido a sus características, ha determinado la rápida expansión de su utilización desde fines del siglo XIX hasta la actualidad, siendo los costos de mantenimiento de las estructuras de este material, como los de corrección o contención de las patologías, económicamente tan significativos, que ha estimulado la investigación científica y tecnológica, así como los procesos de aplicación rápida de los resultados obtenidos. A pesar del interés y de las investigaciones 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. El autor del trabajo da solución al problema mediante un proceso de decantación de ensayos teniendo en cuenta la investigación realizada, finalizando el mismo con la elaboración de 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, ahorrando tanto en recursos económicos como en recursos humanos y evitando el uso sin conceso y la realización innecesaria de los mismos.

**Palabras claves:** estructuras; patologías; investigación; patrimoniales; ensayos; propuestas.

## **ABSTRACT**

The reinforced concrete as material more extensively employed in the construction due to its characteristics, has determined the rapid expansion of its use since the end of the 19th century to the present, with the costs of maintaining the structures of this material, such as those of correction or containment of pathologies, economically so significant, which has stimulated scientific and technological research, as well as the proper application processes of the results obtained. Despite the interest and research on rehearsal, there is no consensus on its employment, causing inadequate repairs and excessive economic expenses in rehabilitation, especially in patrimonial structures, this being the general problem treated in the present investigation. The author of the work gives solution to the problem through a process of decanting of assays taking into account the investigation carried out, ending the same with the preparation of proposals for tests to structural elements of armed concrete taking into account the technical-constructive state of them, which in turn would romance the diagnostic process to buildings, saving both in economic resources and in human resources and avoiding the uncomcesered use and unnecessary realization thereof.

**Keywords:** structures; diseases; research; property; tests; proposals.

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	1
Capítulo I. Marco teórico conceptual.....	5
1.1. Evolución histórica del uso del Hormigón Armado como material de construcción. ....	5
1.1.2. Hormigón armado en Cuba.....	7
1.2. Caracterización del Hormigón Armado. ....	8
1.2.1. El hormigón .....	8
1.2.2. El acero. ....	9
1.2.3. Hormigón Armado .....	10
1.3. Procesos Patológicos .....	11
1.3.1. Causas y síntomas de las lesiones.....	12
1.3.2. Fisuración.....	12
1.3.3. Abofamientos.....	13
1.3.4. Desconchados. ....	13
1.3.5. Disgregaciones.....	14
1.3.6. Corrosión de los aceros.....	14
1.3.7. Cambios de color y eflorescencias.....	15
1.4. Ensayos que se realizan al hormigón armado. ....	15
1.4.1. Ensayos al hormigón fresco.....	16
1.4.2. Ensayos al hormigón endurecido.....	16
1.5. Términos y definiciones.....	19
1.5.1. Diagnóstico.....	19
1.5.2. Ensayo.....	20
1.5.3. Estructura.....	20
1.5.4. Conservación.....	20
1.5.5. Patología.....	20
1.5.6. Patrimonio.....	20
1.5.7. Proceso Patológico.....	21
1.5.8. Propuesta.....	21

1.5.9. Síntoma .....	21
Conclusiones del capítulo. ....	21
Capítulo II. Análisis patológico de las estructuras patrimoniales de hormigón armado en Matanzas. ....	23
2.1. Caracterización del territorio y de las estructuras de hormigón armado en Matanzas. ....	23
2.2. Caracterización del hormigón armado de la época. ....	26
2.2.1. Caracterización de los materiales.....	27
2.3. Análisis patológico.....	39
2.3.1. Levantamiento Patológico. ....	40
2.3.2. Patologías Estructurales. ....	41
2.3.3. Patologías no Estructurales. ....	45
2.4. Estado técnico-constructivo general de las estructuras.....	48
Conclusiones del capítulo .....	49
Capítulo III. Propuestas de ensayos al hormigón armado.....	51
3.1. Ensayos al hormigón endurecido a tener en cuenta en las propuestas. ....	51
3.2. Propuesta de ensayos prescindibles al hormigón armado. ....	54
3.3. Propuestas de ensayos para familia de elementos según su estado técnico-constructivo.....	56
3.4. Ensayos y técnicas novedosas a tener en cuenta. ....	63
Conclusiones del capítulo .....	65
Conclusiones generales.....	67
Recomendaciones .....	68

## INTRODUCCIÓN

El hormigón armado es el material más extensamente empleado en la construcción debido a sus excepcionales virtudes (resistencia, durabilidad) como material de construcción. Esto determinó la rápida expansión de su utilización a fines del siglo XIX y principios del XX, siendo el material de construcción más difundido.

Como material de construcción, se pensó que el hormigón podría tener una duración ilimitada. Sin embargo, en la actualidad se reporta un número cada día creciente 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.

Los costos de mantenimiento de la estructura, como los de corrección o contención de las patologías generadas por el fenómeno, cuando éstos son técnicamente posibles, son económicamente tan significativos como para que se estimule la investigación científica y tecnológica, así como los procesos de aplicación rápida de los resultados obtenidos. A nivel mundial se han venido produciendo pérdidas cuantiosas debido a este problema.

Es importante resaltar que la calidad y la duración de las reparaciones de estructuras de hormigón armado dependen de la correcta evaluación y de un acertado diagnóstico del problema, basados en adecuados procedimientos de inspección. Numerosos organismos a

nivel mundial han venido trabajando consistentemente para documentar el tema. Sin embargo, al no existir un consenso sobre el particular, las inspecciones se han venido realizando de forma diferente, causando en algunas oportunidades inadecuadas reparaciones y excesivos gastos económicos en la rehabilitación.

A partir de todo lo anterior se define la **situación problemática**: A pesar del interés y de las investigaciones realizadas a nivel mundial sobre la utilización de ensayos al hormigón armado, factor de vital importancia en la validación de las causas que dan origen a las patologías de estas estructuras, no existe consenso sobre su empleo causando en algunas oportunidades inadecuadas reparaciones y excesivos gastos económicos en la rehabilitación. Por lo que resulta necesario contar con algún tipo de propuesta que contribuya al uso eficiente y racional de dichos ensayos, especialmente en estructuras patrimoniales, teniendo en cuenta que requieren de recursos materiales y humanos como equipos, tecnologías, muestras de materiales, personal calificado, etc. que no siempre se cuentan con ellos.

Derivándose como **problema científico**: ¿Cómo elaborar una propuesta de ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales, según su estado técnico- constructivo?

En correspondencia con el problema planteado y los análisis previos desarrollados se define como **hipótesis** la siguiente: Si se diagnostican las estructuras patrimoniales de Matanzas de Hormigón Armado, se podrá obtener una propuesta de ensayos al material según su estado técnico-constructivo.

Por lo que el **objetivo general** de la investigación es: Proponer ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales según su estado técnico-constructivo.

Siendo el **objeto de estudio de la investigación**: los ensayos al hormigón armado.

El **campo de acción**: las estructuras patrimoniales de Hormigón Armado en Matanzas

### **Los objetivos específicos a implementar serán entonces:**

1. Analizar el estado del arte referente a la caracterización, uso, evolución y control del hormigón armado como material de construcción, así como términos y definiciones usados en la investigación.

2. Realizar un diagnóstico general de las estructuras de hormigón armado en Matanzas, teniendo en cuenta las propiedades del material de la época, tipologías y patologías existentes.
3. Proponer ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales según su estado técnico-constructivo.

A continuación, se muestran las **tareas principales** que tributarán al cumplimiento de los objetivos.

1. Análisis del estado del arte referente a la caracterización, uso, evolución y control del hormigón armado como material de construcción, así como términos y definiciones usados en la investigación
2. Diagnóstico general de las estructuras de hormigón armado en matanzas, teniendo en cuenta las propiedades del material de la época, tipologías y patologías existentes
3. Propuesta de ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales según su estado técnico-constructivo

El cumplimiento de los objetivos lleva a que se espere como **resultado:** una propuesta de ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales según su estado técnico-constructivo.

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

### **El trabajo encierra valores:**

**Económico:** Facilitará la realización de un dictamen sobre bases científicas repercutiendo notablemente en la valoración e implementación de futuras acciones de intervención. Se realizará un uso racional de los recursos a emplear en los ensayos.

**Teórico-práctico:** Al profundizar en el estudio de ensayos a los materiales constitutivos se pondrán en práctica todos los conocimientos adquiridos. Servirá como guía para la realización de diagnósticos e intervenciones arquitectónicas en importantes edificaciones de la ciudad.

**Docente:** Los resultados de la investigación se convertirán en referencia obligada para los estudiosos del patrimonio arquitectónico en lo general, y de estructuras de hormigón armado en lo particular, así como para la Oficina del Conservador de Matanzas, principal entidad interesada en este trabajo.

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

En el **Capítulo 1:** Generalidades, definiciones, conceptos sobre el hormigón armado, se caracterizan los materiales (hormigón, acero). Se realiza un estudio del tema patologías en la construcción.

En el **Capítulo 2:** Análisis patológicos de las estructuras de hormigón armado en Matanzas, caracterización del territorio y de las estructuras según la época de construcción y su tipología constructiva.

En el **Capítulo 3:** Se analizan los resultados del capítulo II y se realiza una propuesta de ensayos para el hormigón armado dependiendo de sus características y estado técnico – constructivo.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.**

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.

En este capítulo además de los términos y definiciones que facilitarán la comprensión del trabajo, se abordará sobre el hormigón armado, una breve historia del mismo, sus características y algunos de los ensayos que se le realizan, además de los procesos patológicos que le afectan, sus causas y síntomas.

### **1.1. Evolución histórica del uso 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 utilizando 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, mezclando 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.

En la Antigua Grecia, hacia el 500 a. C., se mezclaban compuestos de caliza calcinada con agua y arena, añadiendo piedras trituradas, tejas rotas o ladrillos, dando origen al primer hormigón o concreto de la historia, usando tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini. Los antiguos romanos emplearon tierras o cenizas volcánicas, conocidas también

como puzolana, que contienen sílice y alúmina, que, al combinarse químicamente con la cal, daban como resultado el denominado cemento puzolánico. Añadiendo a su masa trozos de cerámicas u otros materiales de baja densidad obtuvieron el primer hormigón aligerado. Con este material se construyeron desde tuberías a instalaciones portuarias, cuyos restos aún perduran. Destacan construcciones como los diversos arcos del Coliseo romano, los nervios de la bóveda de la Basílica de Majencio, con luces de más de 25 metros, las bóvedas de las Termas de Caracalla, y la cúpula del Panteón de Agripa, de unos 43 metros de diámetro, la de mayor luz durante siglos. (ArqhysArquitectura, 2018)

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 fueron gestando. (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, siendo su empleo 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, siendo 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.

### **1.1.2. Hormigón armado en Cuba.**

En Cuba fue usado por primera vez en la construcción del puente Almendares, proyectado en 1908 y abriendo su paso a la población el 23 de enero de 1911, siendo en ese entonces un triunfo para los ingenieros cubanos debido a que era un avance en la ciencia y la técnica de la construcción en el país. Vale destacar que a pesar de la efectividad que tuvo esa obra no fue muy aplicada frecuentemente para estos tipos de proyectos, por lo que fue considerado mucho más en la construcción de edificaciones. (Figuerola, 2015)

Algunas de las obras más significativas de hormigón armado en Cuba son el Edificio Focsa, considerado una de las siete maravillas de la ingeniería en Cuba, inaugurado en 1956, el Pabellón Cuba inaugurado el 24 de abril de 1963, también el Parque Lenin en 1972, el Palacio de las Convenciones en 1979 y la Tribuna Antimperialista José Martí en el 2000. También vale destacar que con el avance del tiempo se fue perfeccionando el uso y las técnicas constructivas del hormigón armado, por lo que algunas de estas construcciones presentan un sistema constructivo prefabricado y no la realización in situ como fue el caso del Focsa.

Estos sistemas prefabricados fueron el impulso y el desarrollo de la construcción en Cuba ya que mediante estos se solucionaron grandes problemas que existían con respecto a la vivienda y los servicios a la población, mejorando las productividades constructivas y reduciendo los costos, lográndose un mayor beneficio económico-social y un menor impacto ambiental negativo. Ejemplo de esto es el empleo del sistema Gran Panel para la construcción de edificios de viviendas por todo el país, solucionando así uno de los principales problemas que afectaban la nación desde incluso antes de la Revolución.

También algunos de estos sistemas como el SMAC y el SAE fueron protagonistas de la construcción de las obras de los programas educacionales y de la salud, con sus laboratorios incluidos, así como para obras industriales, como naves industriales y naves agropecuarias. También se encuentran ejemplos aislados de la utilización de los mismos para algún edificio administrativo.

Debido a las dificultades económicas producto al período especial, se dejaron de producir sus elementos componentes y con ellos la construcción de edificaciones de este formato, retomándose su uso en los años 2000-2001 haciendo variaciones dimensionales y de formas y produciendo los elementos contra pedidos, principalmente, cimientos, columnas y vigas. Mientras tanto, debido a estas mismas dificultades se desarrollaron sistemas prefabricados de menor formato y semiprefabricado como fue el Sandino para mitigar los problemas de las viviendas familiares.

En la actualidad la utilización de estos sistemas en Cuba ha mejorado debido a los mismos avances en el sector de la construcción, tomando en cuenta los sistemas tradicionales y mejorándolos. Ejemplo de estos son la utilización de moldes deslizantes, las técnicas de “Tilp up” y “Lift slab”, los moldes desplazables y sistemas de moldes modulares, aplicados principalmente en el sector del turismo, el cual siempre está creciendo y en desarrollo.

## **1.2. Caracterización del Hormigón Armado.**

### **1.2.1. El hormigón**

El concreto u hormigón es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade áridos, agua, alquitrán y aditivos específicos. (Santana and Caneiro, 2013a)

El aglomerante es, en la mayoría de las ocasiones, cemento Portland, mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos, que se clasifican en grava, gravilla y arena. La sola mezcla de cemento con arena y

agua se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que utiliza betún para realizar la mezcla.

El hormigón o concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. En el diseño del concreto u hormigón armado, el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m<sup>3</sup>. Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existen varios tipos de hormigones. Se considera hormigón pesado aquel que posee una densidad de más de 3200 kg/m<sup>3</sup>, debido al empleo de agregados densos (empleado protección contra las radiaciones), el hormigón normal, empleado en estructuras, que posee una densidad de 2200 kg/m<sup>3</sup>, y el hormigón ligero, con densidades de 1800 kg/m<sup>3</sup>. (Santana and Caneiro, 2013a)

### **1.2.2. El acero.**

El acero es un material artificial que se consigue, básicamente, a partir de la combinación de hierro (Fe) y carbono (C), con otras sustancias alternativamente añadidas, como el fósforo, azufre, nitrógeno, cromo, molibdeno, vanadio, etc. Además, para conseguirlo, se sigue un proceso industrial que puede ser por una de las dos vías siguientes: laminado en caliente o estriado (trefilado) en frío. En la composición química del proceso de fabricación los aceros con fines a los refuerzos del hormigón se clasifican en aceros ordinarios y de alto límite elástico. (Santana and Caneiro, 2013a)

El acero de construcción constituye una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas. De esta forma se los separa respecto a los aceros inoxidables, a los aceros para herramientas, a los aceros para usos eléctricos o a los aceros para electrodomésticos o partes no estructurales de vehículos de transporte. Cabe aclarar que en este concepto de acero de construcción se pueden englobar tanto los aceros para construcción civil como para construcción mecánica. Históricamente la mayoría de la

producción total corresponde a aceros al carbono (de construcción) y el resto son aceros aleados. Sin embargo, la tendencia es hacia un crecimiento de la proporción de los aceros aleados, en contrario de los aceros al carbono. En esta tendencia tiene importancia la necesidad de aligerar pesos tanto para el caso de las estructuras (con el consiguiente ahorro en las cimentaciones). (Adames-Montero et al., 2013)

Como se plantea anteriormente, una parte importante del acero producido se dirige a la construcción de estructuras, estando dentro de este marco dos utilidades principales: hormigón armado y construcción en acero. La primera usa el acero redondo como refuerzo del hormigón, trabajando el primero en general a tracción y el segundo a compresión. Este conjunto se comporta muy favorablemente ante las diversas solicitaciones o esfuerzos mencionados anteriormente. Cuando se proyecta una estructura de concreto armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de concreto, los aditivos y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales a que estará expuesto. Los refuerzos de acero en el hormigón armado otorgan ductilidad al hormigón, ya que es un material que puede quebrarse por su fragilidad. En zonas de actividad sísmica regular, las normas de construcción obligan la utilización de cuantías mínimas de acero a fin de conseguir ductilidad en la estructura. Una utilización que está teniendo crecimiento importante es la construcción mixta que combina las estructuras de acero embebidas en hormigón armado o el hormigón armado dentro de un tubo estructural.

### **1.2.3. Hormigón Armado**

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. (Santana and Caneiro, 2013b)

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 and Caneiro, 2013b)

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.

### **1.3. Procesos Patológicos**

El hormigón armado, como todos los demás materiales sufren de lesiones, las cuales se van haciendo notar en las edificaciones confeccionadas con este material, 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.

### **1.3.1. 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.

### **1.3.2. 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.

### **1.3.3. 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.

### **1.3.4. 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.

### **1.3.5. 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.

### **1.3.6. 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.

### **1.3.7. 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).

### **1.4. 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.

#### **1.4.1. 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”)

#### **1.4.2. 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 CO<sub>2</sub> 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 posea 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.

## **1.5. Términos y definiciones**

A continuación, se brindan algunas definiciones que pueden ser de ayuda para la total comprensión del tema tratado en la investigación. Se darán conceptos únicamente relacionado a los campos de la construcción y conservación ya que algunas de las terminologías son comunes en otros campos.

### **1.5.1. Diagnóstico**

“Del griego diagnostikós, a su vez del prefijo día-, "a través", y gnosis, "conocimiento" o "apto para conocer", el diagnóstico alude, en general, al análisis que se realiza para determinar cualquier situación y cuáles son las tendencias. Esta determinación se realiza sobre la base de datos y hechos recogidos y ordenados sistemáticamente, que permiten juzgar mejor qué es lo que está pasando.” (Collins and Otros, 2001)

El diagnóstico es el que “define el tipo de daño, sus causas y futuro comportamiento”. (Ruano, 2006)

Según la opinión del autor el diagnóstico no es más que la primera etapa de la acción conservadora, aportando conocimiento exacto y actualizado sobre características y desperfectos. Indica de manera preliminar causas y posibles vías de solución.

### **1.5.2. Ensayo**

Según el autor, 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.

### **1.5.3. Estructura**

Combinación organizada de partes conectadas; diseñadas para proporcionar alguna medida de rigidez. (NC-ISO 6707-1:2008)

Conjunto de todos los elementos que transmiten, o ayudan a transmitir, sobre los cimientos, todos los esfuerzos, cargas y sobrecargas resultantes de la existencia misma del edificio y de su utilización. (Enciclopédico, 2009)

### **1.5.4. Conservación**

La conservación consiste en la “aplicación de los procedimientos técnicos, cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico. (Bonilla, 2001)

Es la “acción que encierra todo el conjunto de acciones posibles a realizar dentro del patrimonio construido.” (Mesa, 2003)

“Conjunto de trabajos que se ejecutan para obtener la durabilidad, seguridad, eficiencia máxima y mantener las características estéticas de la construcción”. (Ruano, 2006)

### **1.5.5. Patología**

Parte de la ciencia de la construcción que estudia los defectos que sufren todos los materiales y elementos constructivos de los edificios: sus causas, evolución y síntomas. Todo ello en el proceso constructivo y durante su vida útil. (NC 959: 2013)

Según el autor son lesiones originadas por un comportamiento inadecuado de la estructura y que de forma general son provocadas por deficiencias de proyecto, de la ejecución o de la explotación o a la acción del medio ambiente y en no pocos casos a la irresponsabilidad de los hombres.

### **1.5.6. Patrimonio**

Conjunto de bienes espirituales, culturales y materiales vinculados a un grupo social o clase de personas en un momento dado. Obras monumentales y espacios naturales que por

su interés histórico, artístico o biológico son considerados un bien para todos los habitantes del lugar. (Colectivo, 2016)

#### **1.5.7. 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". (Mesa, 2003)

#### **1.5.8. Propuesta**

Idea que se propone a otros para que sea puesta en práctica si se considera acertada. Proyecto presentado a una autoridad, consejo, o junta para que lo examine y vea si procede a su aprobación. (Colectivo, 2016)

#### **1.5.9. Síntoma**

Cada una de las manifestaciones subjetivas de una enfermedad. Fenómeno revelador de una enfermedad o afectación. (Colectivo, 2016)

### **Conclusiones del capítulo**

- Se pudo conocer del hormigón armado, que tuvo sus antecedentes en las antiguas civilizaciones como Grecia y Roma usándose en obras reconocidas, pero no es hasta mitad del siglo XIX que se desarrolla como lo conocemos hoy en día siendo el material de construcción más ampliamente usado y difundido
- 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 sollicitaciones, concluyéndose en su gran amplitud de usos y alcance
- Se analizaron las fisuras, abofamientos, corrosión de las armaduras como principales patologías que afectan al hormigón armado, así también como los agentes externos y otros como principales causas de estas

- Se aprecian en el trabajo los objetivos y el alcance de ensayos que se le realizan al hormigón en sus estados frescos y endurecidos, al mismo que se dan conceptos y definiciones útiles para el entendimiento del trabajo

## **CAPÍTULO II. ANÁLISIS PATOLÓGICO DE LAS ESTRUCTURAS PATRIMONIALES DE HORMIGÓN ARMADO EN MATANZAS.**

En este capítulo, teniendo en cuenta todos los elementos tratados en el capítulo anterior, además de caracterizar el territorio matancero y sus estructuras de hormigón armado teniendo en cuenta la época en la que fueron construidas y sus tipologías de construcción, se le realizará el análisis patológico a algunas estructuras ubicadas en la localidad de Matanzas a modo de muestra representativa, con el fin de establecer parámetros que indiquen sus semejanzas y diferencias y determinar el estado técnico-constructivo de las mismas.

### **2.1. Caracterización del territorio y de las estructuras de hormigón armado en 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 periodo invernal.

El tiempo, la falta de recursos, el desconocimiento de la verdadera dimensión y significación de los valores del urbanismo, la arquitectura y el paisaje de esta ciudad excepcional y única, unido a la singularidad de no aplicar el modelo de gestión correcto aclimatado a nuestras particularidades y experimentar con políticas alejadas de los probados mecanismos y engranajes que deben sustentar la recuperación integral y sostenible del patrimonio cultural, han contribuido al acelerado deterioro de esta urbe. Vemos como la ciudad, en cada nuevo amanecer, despierta con una nueva edificación mutilada, ultrajada, herida de muerte y en caso extremo sólo recordable en imágenes; en la mayoría de los casos no solo por la acción del tiempo, el envejecimiento, el sobreuso y la falta de mentalidad económica que no acaba de reconocer lo necesario del mantenimiento preventivo, sino, en gran porción, por la indisciplina institucional y ciudadana, la acción humana, el mal hacer, intencional o no, de muchas personas indisciplinadas, que no acaban

de entender los esfuerzos que se vienen realizando en materia de preservación del patrimonio urbano y edilicio de una nación con mucha valía, y se empeñan en escamotear los escenarios de nuestra historia, de nuestra formación, de nuestra identidad. (Pérez, 2012)

Como se plantea anteriormente la ciudad de Matanzas empieza a mostrar sus canas debido a la falta de recursos, mantenimiento, a la continua acción de los agentes ambientales y humedades a la que está constantemente sometida. Las estructuras de hormigón no son la excepción, si no a veces son las más afectadas. Las viviendas otorgan a las ciudades su sello de identidad. Hay urbes viejas cuya impronta visual se escalona sobre una arquitectura doméstica construida en distintas etapas históricas. Hay otras nuevas que ofrecen la expresión dominante en un momento dado, caso de Matanzas, consolidada arquitectónicamente según los presupuestos estéticos del neoclasicismo. (Santana and Joa, 2009). En su mayoría, estas estructuras de hormigón armado pertenecen a viviendas domésticas, las cuales casi siempre no presentan una fuente de ingresos sustanciosa, ni un plan de inversión, para eliminar las deficiencias patológicas-constructivas que presenten. Después vienen los edificios civiles pertenecientes al Estado, los cuales presentan también sus deficiencias, aunque la mayoría de estas cuentan con un presupuesto anual para la corrección de estos problemas, y luego se tendrían que ver las edificaciones religiosas, las cuales son la menor cantidad, pero se pudieran decir las más afectadas debido a todo lo anterior, pero específicamente al abandono al que son sometidas.

En la ciudad de Matanzas el neoclasicismo se imponía desde su fundación, aunque hubo otros estilos constructivos que fueron haciendo acto de presencia según el desarrollo de la misma, ejemplos de estos fueron:

- Tradicional: cronológicamente enmarcada desde la fundación de la ciudad a la segunda década del siglo XIX
- Proto-neoclásica: entre 1818 y 1839 y que en términos de la arquitectura doméstica viene a considerar sus rasgos distintivos a partir de 1827
- Neoclásica, considerada como la segunda fase del esplendor entre 1840 y 1867
- Neoclásica tardía u académica: distinguida por un clasicismo más ortodoxo cercano al eclecticismo que se impondrá en las primeras décadas del siglo XX

El trabajo está enfocado sobre el hormigón armado, por lo que se estudiarán los estilos constructivos donde el empleo del mismo sea significativo como son el caso del Neoclásico tardío y el Eclecticismo. Según (Santana and Joa, 2009), estos estilos pueden identificarse por las siguientes características:

- Neoclásica tardía o académica: cornisas y pretilas, guardapolvos sobre ménsulas de diseño neorrenacentista, óculos en las fachadas, frontones, entablamentos y pilastras con capiteles según la secuencia académica: dórico para pisos bajos, jónicos en segunda planta y corintios en la tercera; a veces divididos por entresijos de un hormigón reforzado con varillas o alambres de hierro o con perfiles metálicos, ocultos por un tabloncillo de madera, el cual servía como encofrado. Preferencia por arcos de medipuntos o rebajados en lugar de vanos adintelados; generalización de medipuntos y lucetas de cristales; rejas de hierro con diseños en losange. Puerta principal a un costado y centro de la fachada. Puerta principal de tableros a la capuchina o neorrenacentistas. Hojas de ventanas con lucetas de cristales. Hoja de ventana a la francesa. Uniformidad de escala de los vanos de las fachadas. También en la segunda mitad del siglo XIX aparecen los portales sostenidos por columnas y los patios porticados
- Ecléctica: Similar a las anteriores pero con ventanas muy a la ras o embutidas en los muros, antepechos de balaustra, preferencia por la pilastra estriada con capiteles corintios, con ménsulas, guardapolvos y entablamentos de muy poco vuelo, confeccionados en yeso aplanado, motivos decorativos en guirnaldas u otros temas también elaborados en yeso, frecuente uso de azulejos, granito, loseta de cemento u otras soluciones similares para la protección de las partes bajas de los muros, puertas con diseños neorrenacentistas, tendencias a la luceta rectangular, rejas de volutas retorcidas, con postigos y también con diseños vegetales con barras cuadradas de grueso calibre

El uso más común del acero en este último estilo, da como resultado que se haga un uso más amplio del hormigón armado en estas construcciones, teniéndose en este, elementos estructurales como columnas, vigas, losas de entresijo y losas de cubiertas netamente de este material.

Para las losas de hormigón armado de la época se utilizaban refuerzos como perfiles de hierro fundido en algunos casos, en otros eran de aceros y también las comunes barras de aceros. Estas losas estaban soportadas por vigas y viguetas de hormigón armado igualmente y en su gran mayoría, estas losas estaban impermeabilizadas por un sistema de enrajonado y soldadura

Las columnas, igual de hormigón armado, presentaban en casos comunes perfiles I de hierro fundido como principal y único refuerzo del elemento, aunque también se ven algunos de estos con barras de acero como refuerzo

Las vigas presentan las mismas características y tipología constructiva que las columnas, perfiles I embebidos como refuerzo en algunos casos de hierro fundido y en otros, barras de aceros

## **2.2. Caracterización del hormigón armado de la época.**

Del hormigón armado de la época podemos decir que sus características están alejadas a las de la actualidad, ya que presentaban deficiencias en casi todos sus aspectos.

La dosificación que se usaba para la confección del hormigón era volumétrica, y no gravimétrica como en la actualidad, dándose como resultado una mala compactación del hormigón debido a las malas relaciones de materiales, especialmente la relación agua cemento. Otros fenómenos que ocurren en el hormigón de la época debido a lo anterior, son los bajos valores de resistencia a compresión, su alto grado de porosidad, dando como resultado un hormigón de baja densidad y durabilidad.

Las materias primas empleadas eran diferentes a las actuales, por ejemplo, algunos de los áridos empleados eran arenas de mar, que, aunque se les hacía un proceso de lavado y limpieza contaminaban el hormigón con sales marinas y agentes nocivos que aceleraban la corrosión de los aceros usados como refuerzo. De estos últimos dar a conocer que se empleaban muchas veces sin concesos, usándose lo mismo varillas que alambres de hierro fundido, también perfiles de hierro fundido o acero como refuerzos de las armaduras que incumplen con la cantidad de área de aceros necesaria, favoreciendo el deterioro acelerado del hormigón y el diseño excesivo de los elementos.

### **2.2.1. Caracterización de los materiales.**

Debemos puntualizar que tanto la realización de levantamientos patológicos como los estudios patológicos en las edificaciones patrimoniales no son muy comunes. Estos estudios se realizan a petición de la empresa encargada de la restauración y conservación de la obra, por lo que es la encargada también de financiar todo lo referente a esos estudios como ensayos, pruebas in situ y en laboratorios, siendo estas en algunos casos obviadas o realizadas de manera superficial.

Para la caracterización de estos materiales, analizaremos algunas edificaciones de hormigón armado patrimoniales o con presencia de elementos estructurales de hormigón armado en las mismas. Vale destacar que algunas de estas fueron sometidas recientemente a un proceso de restauración, por lo que estaremos hablando de resultados de ensayos que alguna vez fueron presentes en las mismas, no obstante, el objetivo de la investigación es conocer las características de estos materiales, teniendo en cuenta el estado técnico-constructivo en que se encontraba el edificio, por lo que son valores aceptables y a tener en cuenta. Estas edificaciones son tomadas como muestra representativa de una población de características técnicas-constructivas semejantes, lo cual hace aplicable los resultados de la mayoría de estos ensayos a los demás edificios de la población, hablando estadísticamente.

Para la confección de este epígrafe se tuvieron en cuenta los resultados de los ensayos realizados comúnmente a los materiales de las obras analizadas, como son el Hotel Velasco, el Hotel Yara, el Hotel Kawama y el Palacio de Justicia, siendo estos relacionados fundamentalmente con la degradación del comportamiento de los materiales con el tiempo.

- Velocidad del pulso ultrasónico

Este ensayo no destructivo tiene como principales objetivos verificar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del hormigón, detectar las fallas internas (presencia de vacíos) introducidas durante la fabricación, la profundidad de las fisuras y otras imperfecciones y monitorear las variaciones de las propiedades del hormigón a lo largo del tiempo, debido a la agresividad del medio. Según la Red DURAR (Colectivo, 1997), la cual coincide con la NC 231: 2002, los resultados de la calidad del hormigón vienen dados por los siguientes criterios:

Velocidad de propagación	Calidad del hormigón
< 2000 m/s	Deficiente
2001 a 3000 m/s	Normal
3001 a 4000 m/s	Alta
> 4000 m/s	Durable

A continuación, los resultados de los ensayos de Pulso Ultrasónico:

Elementos	Velocidad (m/s)	Calidad del hormigón
Losa de baño delantero	1400	Deficiente
Losa de baño trasero	1424	Deficiente
Losa de entrepiso	1856	Deficiente
Viga de escalera	2153	Normal
Viga de entrepiso	1936	Deficiente
Columnas	1824	Deficiente

*Tabla resumen 1. Resumen de ensayos de pulso ultrasónico del Hotel Yara. (Valores promedios).*

*Fuente: Trabajo de diploma de Meibys Roque Figueroa, 2017.(Figueroa, 2017)*

Elementos	Velocidad (m/s)	Calidad del hormigón
Columna	1535	Deficiente
Columna	1538	Deficiente
Viga	2035	Normal
Viga	1885	Deficiente
Viga	1920	Deficiente
Viga	1990	Deficiente
Viga	2030	Normal
Losa	1985	Deficiente
Losa	1879	Deficiente

Tabla resumen 2. Resumen de ensayos de pulso ultrasónico del Hotel Kawama. (Valores promedios).

Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Kawama, ENIA 2017.(ENIA, 2017)

Elementos	Velocidad (m/s)	Calidad del hormigón
Columna 1	2937	Normal
Columna 2	2749	Normal
Columna 3	4420	Durable
Columna 4	2740	Normal
Columna 5	4667	Durable
Columna 6	4427	Durable

Tabla resumen 3. Resumen de ensayos de pulso ultrasónico del Hotel Velazco. (Valores promedios).

Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Velazco, ENIA 2008.(ENIA, 2008)

Elementos	Velocidad (m/s)	Calidad del hormigón
Columna 1	2800	Normal
Columna 2	2600	Normal
Columna 3	2900	Normal
Columna 4	2650	Normal
Columna 5	2850	Normal
Columna 6	2800	Normal
Columna 7	2700	Normal
Columna 8	2800	Normal
Columna 9	2750	Normal
Columna 10	2850	Normal
Columna 11	2750	Normal
Columna 12	2800	Normal
Columna 13	2700	Normal
Columna 14	2800	Normal

Tabla resumen 4. Resumen de ensayos de pulso ultrasónico del Palacio de Justicia. (Valores promedios).

Fuente: Trabajo de diploma de Darien Leyva Suárez, 2016.(Suárez, 2016)

Se determina entonces que las edificaciones de manera general presentan una calidad del hormigón en el rango de deficiente a normal, según los resultados arrojados por el ensayo, pero debemos tener en cuenta que los elementos que presentan una calidad normal, e incluso durable, son las columnas de edificaciones como el Hotel Velazco y el Palacio de Justicia con buen estado estructural de estos elementos, de las cuales no hay información relacionada a este ensayo de los demás elementos estructurales. Otros casos cumplen con las condiciones planteadas en la Red DURAR, pero solo con un valor cercano al límite menor.

- Determinación del porcentaje de porosidad

La realización de este ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje de espacios vacíos en el elemento mediante la absorción capilar del mismo. De igual manera que el anterior los resultados están determinados por criterios planteados en la Red DURAR y la NC: 345: 2011, las cuales son:

Porosidad (%)	Calidad del Hormigón
$\leq 10 \%$	Buena calidad y compacidad
10% - 15%	Moderada calidad
$\geq 15\%$	Durabilidad inadecuada

De igual manera que el anterior ensayo, mostraremos los resultados de este ensayo de las edificaciones analizadas:

Zona	Elemento	Porosidad (%)
1	Losas	17.50
	Columnas	14.48
	Vigas	17.50
2	Losas	12.76
	Columnas	15.41
	Vigas	16.82

Tabla resumen 5. Resumen de ensayos de porosidad del Hotel Kawama. (Valores promedios).

Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Kawama, ENIA 2017.(ENIA, 2017)

Zona	Elemento	Porosidad (%)
1	Losa	16
2	Losa	31
3	Losa	29
4	Losas	16
1	Columna	21
2	Columna	21

Tabla resumen 6. Resumen de ensayos de porosidad del Hotel Velazco. (Valores promedios).

Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Velazco, ENIA, 2008.(ENIA, 2008)

Ubicación	Porosidad (%)	Porosidad promedio (%)
Losa de baño delantero	14.65	15.46
	18.49	
	13.24	
Losa de baño Trasero	17.02	14.34
	13.33	
	12.67	
Viga de escalera de servicio	12.15	12.95
	13.74	

Tabla resumen 7. Resumen de ensayos de porosidad del Hotel Yara. (Valores promedios).

Fuente: Trabajo de diploma de Meibys Roque Figueroa, 2017.(Figueroa, 2017)

Según los resultados de este ensayo y los criterios planteados en la Red DURAR y la NC: 345 del 2011, se clasifica de manera general el hormigón en el rango de calidad moderada a una inadecuada durabilidad debido a los altos porcentos de porosidad presentes en este

tipo de edificaciones. Para los elementos de hormigón armado del Palacio de Justicia no se conocen los resultados debido a que no han sido ensayados.

- Resistencia a compresión del hormigón

La resistencia a la compresión del hormigón puede ser considerada como una de las propiedades más importantes y necesarias para establecer una evaluación general, tanto desde el punto de vista de durabilidad, como de la capacidad de resistencia mecánica. El ensayo consiste en realizar la rotura de las muestras de hormigón extraídas con el objetivo de conocer la resistencia a la compresión axial determinada de acuerdo a la carga de rotura.

Para determinar los resultados y los criterios de durabilidad de este ensayo se tuvieron en cuenta lo establecido en la Red DURAR (1997) que dictamina que para valores de resistencia menores de 20 Mpa se considera que es un hormigón de baja durabilidad y también, la NC 120: 2014 Hormigón Hidráulico. Especificaciones, la cual plantea resistencias mínimas dependiendo de la zona de agresividad en que se encuentre la obra, por ejemplo, 35 Mpa para zona de agresividad muy alta.

A continuación, se presentan los valores de algunas de las edificaciones investigadas.

No. Testigos	Ubicación	Resistencia a Compresión (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
1	Losa de baño delantero	73.2	2091
1A	Losa de baño delantero	105.9	2327
2	Losa de baño delantero	97.6	2176

*Tabla resumen 8. Resumen de ensayos de Resistencia a compresión del Hotel Yara*

*Fuente: Trabajo de diploma de Meibys Roque Figueroa, 2017.(Figueroa, 2017)*

No. Testigos	Ubicación	Resistencia a Compresión (Kg/m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Durabilidad
T1	Losa	115.4	1962	Baja
T2	Losa	250.1	2132	Media

T3	Columna	171.0	2108	Baja
T4	Columna	183.6	2169	Baja

*Tabla resumen 9. Resumen de ensayos de Resistencia a compresión del Hotel Kawama.*

*Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Kawama, ENIA 2017.(ENIA, 2017)*

No. Testigos	Ubicación	Resistencia a Compresión (Mpa)	Densidad (kg/cm <sup>2</sup> )	Durabilidad
T1	Losa entrepiso	11.7	2091.8	Baja
T2	Losa entrepiso	10.1	2154.2	Baja
T3	Losa entrepiso	13.5	2078.9	Baja
T4	Losa entrepiso	13.1	2134.2	Baja
T8	Columna	13.8	2131.4	Baja
T9	Columna	13.2	2149.6	Baja
T10	Columna	9.3	2149.6	Baja

*Tabla resumen 10. Resumen de ensayos de Resistencia a compresión del Hotel Velazco.*

*Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Velazco, ENIA, 2008.(ENIA, 2008)*

Del Palacio de Justicia no se conocen los valores de los ensayos de resistencia a compresión debido a que no se le han realizado los mismos, aunque se cuenta con una tabla resumen que muestra la dureza superficial del hormigón debido al ensayo de esclerometría. Se presentará la tabla para tener una idea aproximada de la resistencia del hormigón armado en la edificación y así poder tener un mejor rango de evaluación con respecto a la misma.

No	Ubicación	Resistencia del Hormigón (Mpa)
1	Columna	18
2	Columna	16
3	Columna	19
4	Columna	16.5
5	Columna	18.5

6	Columna	18
7	Columna	17
8	Columna	18
9	Columna	17.5
10	Columna	18.5
11	Columna	17.5
12	Columna	18
13	Columna	17
14	Columna	18

*Tabla resumen 11. Resumen de ensayos de esclerometría del Palacio de Justicia.*

*Fuente: Trabajo de diploma de Darien Leyva Suárez, 2016.(Suárez, 2016)*

Como pueden apreciarse en los ensayos a compresión realizados en las edificaciones, la resistencia del mismo es predominantemente baja según los criterios actuales y las zonas de agresividad, pero como no hay conocimiento de los valores de resistencia solicitados para estas estructuras, parecen estar cercanos a los hormigones realizados in situ y sin aditivos en sus tiempos, ocupando su volumen y la función a desempeñar en el momento de su construcción. De igual manera que el ensayo anterior, no se tienen conocimientos de la resistencia del hormigón endurecido del Palacio de Justicia, aunque se suponen de una mejor calidad y resistencia del resto, debido a los valores arrojados en el ensayo de esclerometría y a que son elementos construidos y anexados posterior a su construcción.

- Profundidad de carbonatación

El hormigón es por su naturaleza un medio alcalino pues su pH oscila normalmente entre 12 y 14. Cuando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) contenido en la atmósfera comienza a penetrar al hormigón a través de sus poros, llegando en casos críticos a las armaduras de refuerzos, produciéndose un fenómeno denominado carbonatación. Este fenómeno, en presencia de la humedad reduce la alcalinidad del hormigón, pues el CO<sub>2</sub> al reaccionar con los álcalis (hidróxidos) los neutraliza; dando como resultado la formación de carbonatos y la alta posibilidad de ocurrencia de la corrosión. La consecuencia de este proceso es la disminución del pH a valores inferiores a 10.

A continuación, valores de los ensayos de profundidad de carbonatación.

No. Testigo	Ubicación	Profundidad (cm)	Sobrepasa el acero
T1	Losa	4	Si
T2	Losa	1.5	No
T3	Columna	1.5	No
T4	Columna	5	Si

*Tabla resumen 12. Resumen de ensayos de Carbonatación del Hotel Kawama.*

*Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Kawama, ENIA 2017.(ENIA, 2017)*

En este caso por los valores obtenidos se determinó que el frente de carbonatación alcanza los aceros de refuerzo.

No.	Zona	Ubicación	Profundidad (mm)	Sobrepasa el acero
1	Zona 1	Losa % piso	55	Si
2	Zona 2	Losa % piso	55	Si
3	Zona 3	Losa % piso	55	Si
4	Zona 4	Losa % Piso	55	Si
5	Zona 5	Losa % piso	50	Hasta
6	Zona 6	Losa % piso	50	Hasta
7	Zona 7	Losa % Piso	50	Hasta
8	C 6	Columna	80	Si
9	C 7	Columna	80	Si
10	V-1	Viga de fondo	70	Si
11	V-2	Viga de fondo	70	Si
12	V-3	Viga de fondo	70	Si

*Tabla resumen 13. Resumen de ensayos de Carbonatación del Hotel Velazco.*

*Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Velazco, ENIA, 2008.(ENIA, 2008)*

En el caso del Hotel Yara, la profundidad de carbonatación se determinó por el método de vía húmeda con solución del indicador ácido-base (NC-355: 2004 “Determinación de la profundidad de carbonatación en hormigones endurecidos y puesto en servicio”).

La disolución fenostaleina cuando reacciona con la masa de hormigón, se torna incolora si está carbonatada y toma una coloración rojiza-violeta cuando no presenta carbonatación.



*Figura 1. Muestras carbonatadas parcial y totalmente respectivamente.*

*Fuente: Trabajo de diploma de Meibys Roque Figueroa, 2017.(Figueroa, 2017)*

Según los resultados apreciados, el frente de carbonatación, en ambos casos sobrepasa la malla de acero, pudiendo provocar la corrosión generalizada.

En el caso del Palacio de Justicia, en los lugares donde se ensayó la presencia de carbonato, se pudo apreciar un frente de carbonatación, aclarando que los lugares escogidos no tenían ningún recubrimiento, no se realizó en ningún otro lugar para no destruir los recubrimientos empleados. No se barrenó para saber hasta dónde llegaba el frente ya que el presente edificio no presenta un alto grado de deterioro, por lo que se decidió no buscar la profundidad de carbonatación.



*Figura 2. Presencia de carbonato en las columnas donde se realizó el ensayo.*

Fuente: Trabajo de diploma de Darien Leyva Suárez, 2016.(Suárez, 2016)

De modo general se puede apreciar que la carbonatación es un fenómeno que afecta de indudablemente al tipo de edificaciones analizadas en el trabajo. Este fenómeno viene en aumento, ya que la emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente cada año aumenta con el desarrollo de la sociedad, siendo este un fenómeno a tener en cuenta para recomendarlo a investigaciones futuras.

- Resistividad del hormigón

La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad. La resistividad del hormigón, es la capacidad que presenta el mismo para proteger al acero de refuerzo ante la corrosión.

Los criterios de la Red DURAR (1997) para evaluar este ensayo son los siguientes:

Resistividad eléctrica (KΩ cm)	Riesgo de corrosión
$\rho > 200 \text{ K}\Omega.\text{cm}$	Poco riesgo
$200 \text{ K}\Omega.\text{cm} > \rho > 10 \text{ K}\Omega.\text{cm}$	Riesgo moderado
$\rho < 10 \text{ K}\Omega.\text{cm}$	Alto riesgo

Entonces a continuación, se muestran los valores ensayados de las obras.

Ensayo de Resistividad				
No.	Zona	Ubicación	(KΩ cm)	Riesgo de corrosión
1	Zona 1	Losa % piso	42	Riesgo Moderado
3	Zona 3	Losa % piso	36	Riesgo Moderado
4	C6	Columna	33	Riesgo Moderado
5	V2	Viga	33	Riesgo Moderado

Tabla resumen 12. Resumen de ensayos de Resistividad del Hormigón del Hotel Velazco.

Fuente: Informe Final de la Investigación Patológica, Hotel Velazco, ENIA, 2017.(ENIA, 2017)

Ubicación	Resistividad eléctrica (KΩ cm)	Riesgo de corrosión
Losa de baño delantero	12.23	Moderado
Losa de baño trasero	16.39	Moderado

Tabla resumen 13. Resumen de ensayos de Resistividad del Hormigón del Hotel Yara.

Fuente: Trabajo de diploma de Meibys Roque Figueroa, 2017.(Figueroa, 2017)

De manera general, según los resultados del ensayo, se puede apreciar que en las estructuras de hormigón armado de esa época hay un grado de corrosión del acero grave, y las armaduras que aún no presentan la corrosión, tienen un riesgo de moderado a alto de padecerla.

- Potenciales de corrosión

El objetivo de este ensayo es la medición del potencial de la armadura del hormigón mediante el uso de electrodos de referencia. El mismo permite conocer la probabilidad de corrosión de una armadura de refuerzo dentro del hormigón.

La Red DURAR (1997) propone una guía referencial de las condiciones y riesgos asociados a valores de potencial como se indica en la siguiente tabla:

CONDICION	POTENCIAL (E) (ESC)	OBSERVACIONES	RIESGO DE DAÑO
ESTADO PASIVO	+ 0,200 a -0,200	Ausencia de Cl <sup>-</sup> pH> 12,5 H <sub>2</sub> O (HR↑)	Despreciable
CORROSION LOCALIZADA	- 0,200 a -0,600	Cl <sup>-</sup> , O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O (HR↑)	Alto
CORROSION UNIFORME	- 0,150 a - 0,600	Carbonatado O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O. (HR↑)	Moderado Alto
	+ 0,200 a - 0,150	Carbonatado O <sub>2</sub> , Seco, (HR↓)	Bajo
	- 0,400 a - 0,600	Cl <sup>-</sup> Elevado, H <sub>2</sub> O ó Carbonatado H <sub>2</sub> O. (HR↑)	Alto
CORROSION UNIFORME	< -0,600	↑Cl <sup>-</sup> , ↑ H <sub>2</sub> O (sin O <sub>2</sub> )	Despreciable

Estos ensayos son realizados a conciencia y en lugares donde no se aprecie el estado del acero, por lo que no mostramos los resultados ya que se realizaron en lugares donde el acero se suponía en buenas condiciones, arrojándose resultados positivos. Sin tener en cuenta eso, el autor del trabajo lo quiso incluir, ya que será tomado en cuenta a la hora de realizar la propuesta de ensayos.

A continuación, se muestra una tabla donde aparecen los documentos en que se pueden encontrar estos resultados de ensayos, con el fin de referenciarlos de manera más exacta, ya que los mismos estarán situados en las bibliografías con el característico del trabajo.

Documento	Nombre	Año	Autor
Trabajo de Diploma	Programa de intervención para una edificación de la zona priorizada para la conservación de la ciudad de matanzas. Caso de estudio hotel Yara	2017	Meibys Roque Figuera
Trabajo de Diploma	Propuesta de una estrategia de intervención para erradicar las afectaciones del Palacio de Justicia de Matanzas	2016	Darien Leyva Suárez
Informe de Patología	Evaluación y Diagnóstico Patológico: Hotel Velazco	2008	ENIA
Informe Final	Investigación Patológica: Hotel Kawama	2017	ENIA

*Tabla resumen 14. Documentos utilizados para la confección de los resultados de ensayos.*

*Fuente: Elaboración propia*

### **2.3. Análisis patológico**

Para el análisis patológico de estas edificaciones patrimoniales y el trabajo en general se tuvieron en cuenta trabajos de diplomas relacionados al tema de años anteriores, como también se tuvieron en cuenta informes técnicos-patológicos realizados por el Grupo de

Patología y Restauración de la Empresa Nacional e Investigaciones Aplicadas (ENIA), así como inspecciones organolépticas a algunas de las obras, realizadas de manera aleatoria por el autor del trabajo.

El autor hace uso y toma la información brindada en esos trabajos e informes, para junto con el criterio personal de sus visitas a los locales, agilizar y lograr con una mayor precisión el estudio patológico de estas edificaciones, ya que le es imposible realizar el análisis de todas estas por sí solo, debido a la complejidad del mismo y al poco tiempo disponible. También gracias a estos mismos, se pudo conocer algunos de los resultados de los ensayos plasmados en el epígrafe anterior, sin los cuales hubiese sido extremadamente difícil la realización de este trabajo de manera general.

A continuación, se hace referencia a algunos de los lugares visitados y a los trabajos e informes técnicos-patológicos usados para la confección de este epígrafe como son las visitas a las casas quintas matanceras, al Palacio de Justicia entre otras edificaciones. También el trabajo de diploma: Programa de intervención para una edificación de la zona priorizada para la conservación de la ciudad de matanzas. Caso de estudio hotel Yara (Figueroa, 2017), Evaluación y Diagnóstico Patológico: Hotel Velazco (ENIA, 2008) entre otros más los cuales se mostraran en una tabla anexada en la sección indicada. Vale destacar que se tuvieron en cuenta otros trabajos de diploma que, aunque no aparecen en el trabajo, fueron de igual utilidad para la realización del mismo, los cuales se encontrarán igualmente en los anexos del trabajo.

### **2.3.1. Levantamiento Patológico**

Esta actividad permite detectar, clasificar y cuantificar los deterioros existentes en la estructura. Las afectaciones detectadas son en su mayoría asociadas a las patologías típicas de la degradación de materiales tales como el acero, el hormigón armado y la madera y en menor cuantía algunas relacionadas con la presencia de humedades. En este caso se realizará de manera general, ya que las patologías que afectan a este tipo de estructuras son muy comunes, solo se especificará en casos donde sea necesario y las lesiones se clasificarán en función de su origen en patologías estructurales, no estructurales.

### 2.3.2. Patologías Estructurales

Son aquellas que están directamente relacionadas con el comportamiento de la estructura y se manifiestan en forma de grietas, fisuras, deformaciones excesivas, etc. Generalmente tienen gran incidencia en la seguridad estructural.

Analizaremos las patologías estructurales por elementos más importante, es decir, losa de cubierta y entrepiso, columnas y vigas.

Los inmuebles investigados, presentan deterioros en la losa de cubierta, como son el desprendimiento del hormigón de recubrimiento, la pérdida de sección del acero de refuerzo, las fisuraciones y agrietamientos, asociadas a los procesos de corrosión del acero y la carbonatación del hormigón, siendo estas ejemplificadas en casos como el Hotel Velazco y el Hotel Yara.



*Figura 1. Pérdidas de recubrimiento y de sección de acero de refuerzo generalizado en la losa. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Velazco, ENIA (2008))*

En caso del Hotel Kawama, estas afectaciones se observan de manera más localizadas como es el caso de la casa 40, apreciándose en la siguiente imagen.



*Figura 2. Perdidas de recubrimiento y de sección de acero de refuerzo generalizado en la losa. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Kawama, ENIA (2017))*

Es preciso destacar que la edificación del Palacio de Justicia posee buen estado constructivo con respecto a lo estructural, no existen asentamientos ni grietas en sus muros, ni fallos visibles y los muros mantienen verticalidad. La buena estabilidad de la edificación infiere haber sido erigida en suelo resistente, además de lo que aporta la propia geometría rígida del cuerpo. Los daños fundamentales que posee la edificación están provocados por el deterioro de la cubierta y sus redes hidrosanitarias debidos a patologías no estructurales.

En el caso de las columnas, menos el Yara y el Palacio de Justicia que no presentan daños significativos en este tipo e elemento, las demás edificaciones se encuentran afectadas de igual manera por el desprendimiento del hormigón de recubrimiento, la pérdida de sección del acero de refuerzo, las fisuraciones y agrietamientos, asociadas a los procesos de corrosión del acero y la carbonatación del hormigón, siendo de manera más grave en lugares localizados, como se aprecian en las imágenes siguientes.



*Figura 3. Perdidas de recubrimiento y de sección de acero de refuerzo en las columnas. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Velazco, ENIA (2008))*



*Figura 4. Perdidas de recubrimiento y de sección de acero de refuerzo en las columnas. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Kawama, ENIA (2017))*

Las vigas presentan el mismo grado de deterioro que las edificaciones en general, apreciándose fisuras, desconchados, perdidas de sección tanto en el hormigón de recubrimiento como en los aceros de refuerzos, ocasionadas principalmente por los mismos agentes que afectan a todos los otros elementos de manera generalizada, el Hotel Velazco con colapso del elemento y pérdida de su funcionalidad (Figura 5a y 5b), además del Kawama, de manera localizada (Figura 6).



*Figura 5a y 5b. 5a: Fallo de la viga como elemento estructural, además de las pérdidas de sección tanto en el hormigón como el acero de refuerzo. 5b: pérdidas de sección tanto en el hormigón como el acero de refuerzo de manera localizada. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Velazco, ENIA (2008))*



*Figura 6. Lesiones en elementos vigas y columnas. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Kawama, ENIA (2017))*

En el caso del Hotel Yara las vigas se encuentran en un pésimo estado presentando pérdida de recubrimiento del hormigón de manera extrema en caso de las vigas de entrepiso causando el fallo de las mismas y la inseguridad para el paso peatonal. Muchas otras presentan flechas visibles y las que son responsables de soportar las escaleras poseen dificultades con respecto al abofamiento y la pérdida de recubrimiento del hormigón, dejando expuesto los aceros de refuerzos y observándose zonas corroídas en los mismos.

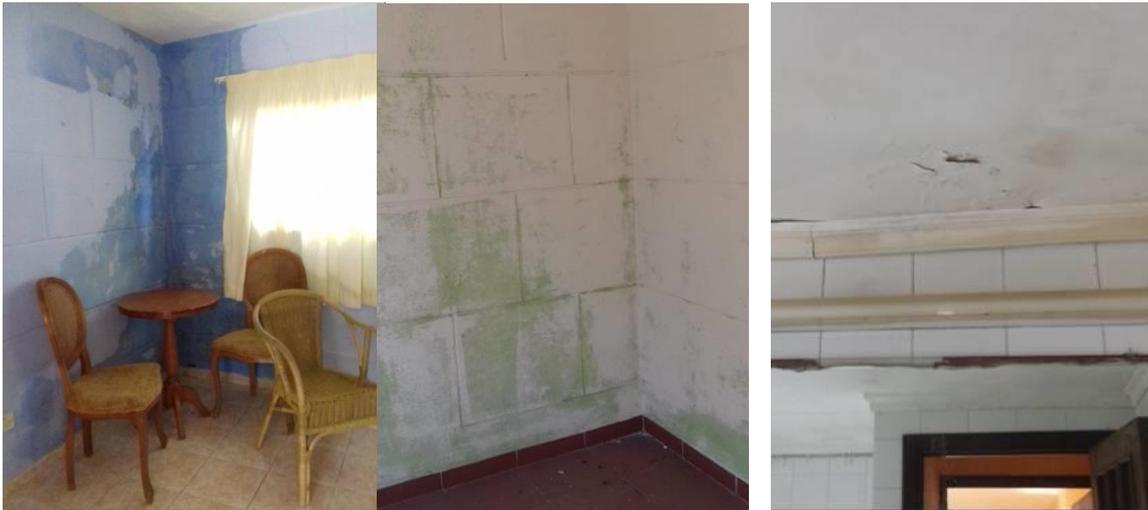
Llegamos a la conclusión de que los elementos estructurales en este tipo de obras se ven muy afectados por estas patologías. Estas son causadas además de los fenómenos ambientales, principalmente por la combinación de la falta de mantenimiento y el abandono de las obras, pero no podemos dejar fuera también la negligencia y el descuido en la

ejecución de las mismas, así también como las indisciplinas sociales, las cuales acentúan las condiciones adecuadas para el deterioro de estas edificaciones.

### 2.3.3. Patologías no Estructurales

Son aquellas que no tienen relación alguna con el comportamiento estructural y se manifiestan en forma de filtraciones, humedades, crecimiento de vegetación, tupiciones y colapso de las instalaciones sanitarias, la acción del hombre, etc.

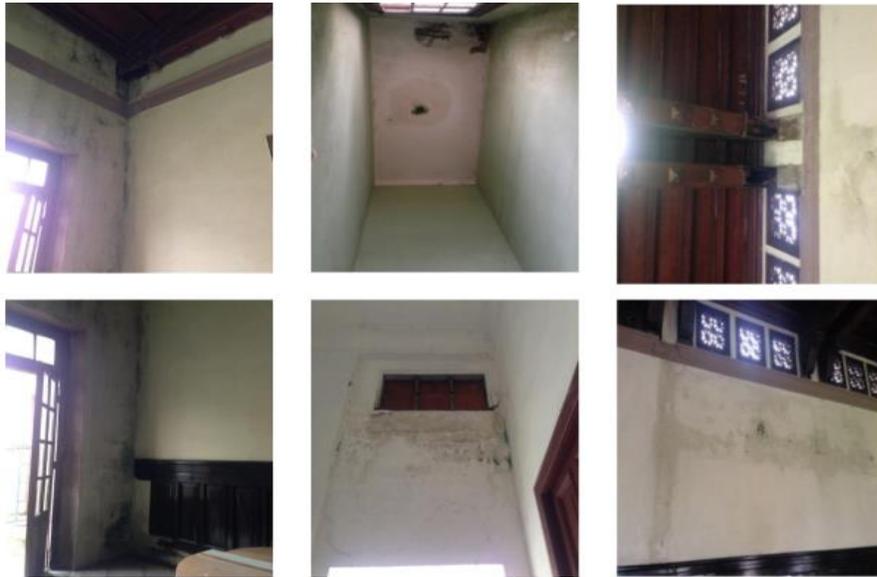
De manera general, todas las edificaciones presentan este tipo de lesiones y todos los elementos estructurales son afectados por ello de una manera u otra. La presencia de humedades es apreciable en todas las edificaciones analizadas, manifestándose de cualquier forma, ya sea por capilaridad, absorción, condensación o filtraciones, actuando de manera ininterrumpida debido a las condiciones ambientales de la zona.



*Figura 7. Presencia de humedades en las habitaciones 801 y 802 del Hotel Kawama. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Kawama, ENIA (2017))*



*Figura 8. Presencia de humedades por roturas de la red hidráulica en el Hotel Velazco. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Velazco, ENIA (2008))*



*Figura 9. Presencia de humedades en el Palacio de Justicia. (Fuente: Trabajo de diploma de Darien Leyva Suárez, (2016))*

Con estos problemas de humedades y debido a la aparición de manchas, decoloraciones de los materiales y el surgimiento de vegetación y microorganismos en la superficie, las edificaciones suelen tener un impacto negativo en la estética y terminación de los edificios, aparte de ser afectadas directamente en algunos casos de manera estructural, siendo estos algunos de los causantes de estos daños, dando al traste con las patologías estructurales.

Además, el crecimiento de la vegetación en la cubierta en casi todos los edificios acentúa la destrucción del sistema de impermeabilización ya de por sí afectados debido al envejecimiento de los mismos, al interperismo y a la falta regular de mantenimiento. Esto trae consigo la aparición de filtraciones y grietas en la cubierta desencadenando todo un proceso patológico ajeno a los causantes de los primeros.



*Figura 10. Presencia vegetación en la cubierta de la casa 40. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Kawama, ENIA (2017))*



*Figura 11. Presencia de vegetación en la cubierta, destruyendo el sistema de impermeabilización en el Hotel Velazco. (Fuente: Informe de Patología: Hotel Velazco, ENIA (2008))*



Figura 12. Estado de la cubierta y del sistema de impermeabilización en el Palacio de Justicia. (Fuente: Trabajo de diploma de Darien Leyva Suárez, (2016))

Al igual que en las patologías estructurales, las obras analizadas no están exceptas de la influencia de las no estructurales, incluso debemos apreciar que, según la dimensión que tienen estas, deberían ser tomadas más en cuenta. Estas patologías presentadas se encuentran en ese grado de afectación ya que las medidas que se deberían haber tomado en su momento y lugar, no se hicieron correctamente. El interperismo, la acción y agresividad de agentes ambientales y la antigüedad de las obras son los grandes aliados para la ocurrencia de este tipo de patología, además de otros fenómenos como las roturas de juntas y redes hidráulicas que propician las filtraciones y humedades.

#### 2.4. Estado técnico-constructivo general de las estructuras

Para clasificar el estado técnico-constructivo de manera general de las obras nos guiaremos por la siguiente tabla tomada del anexo 1 del libro de Conservación de Edificaciones (Rodríguez et al., 2013), la cual plantea según el estado en que se encuentre la obra, la acción constructiva que se le debe realizar.

Estado técnico	Acción constructiva
Muy bueno	Mantenimiento

Bueno	Rehabilitación ligera
Regular	Rehabilitación media
Malo	Rehabilitación pesada
Inservible	Desmontaje y demolición

Debemos conocer que la mayoría de las edificaciones que presentan un estado técnico-constructivo desfavorable son aquellas que han sido víctimas del abandono y de la falta de mantenimiento como son las viviendas familiares y las religiosas, ya que no tienen una gran fuente económica de ingresos ni un plan de inversiones para mitigar este problema. Otras edificaciones pertenecientes a entidades u organismos gubernamentales, si presentan un fondo anual destinado al mantenimiento de la infraestructura, no obstante, su estado oscila entre malo y regular debido a las deficientes acciones correctivas que se le realizan, aunque existen algunas en buen estado debido a recientes reparaciones capitales. Las edificaciones del sector del turismo o generadoras de grandes ingresos al país, son las más beneficiadas con respecto a esto, viéndose estas en continuas labores de mantenimiento preventivo y correctivo, lo que le garantiza un muy buen estado constructivo.

Teniendo en cuenta todos los aspectos patológicos planteados anteriormente, así como las afectaciones estructurales de las edificaciones, como las no estructurales y las características de los materiales existentes en las mismas, podemos afirmar que el estado técnico en que se encuentra la muestra analizada es de **Regular a Malo**, aunque debemos destacar que con respecto al estado constructivo de estas, la mayoría de las edificaciones cumplen con su funcionalidad, aun así sin haber cumplido los criterios y parámetros actuales que rigen los ensayos realizados. También otras como el Hotel Velazco y el Hotel Louvre han sido objetivo de intervenciones y restauraciones con vista al aniversario 325 de la fundación de Matanzas y con el objetivo de implementar el turismo en el centro histórico de la ciudad.

### **Conclusiones del capítulo**

- Según las condiciones climáticas, los agentes ambientales agresivos y el abandono y la falta de mantenimiento, la ciudad de Matanzas se encuentra en estado envejecido dándose así, la aparición con cada día, de edificios en grave estado

técnico constructivos sin discriminar entre estilos constructivos y materiales de construcción

- Debido a las antiguas características del hormigón armado como su dosificación volumétrica y las arenas de mar usadas en su confección, se ha realizado un estudio patológico en una muestra de edificaciones patrimoniales de hormigón armado, arrojándose resultados generalmente negativos en los ensayos realizados a las mismas, como fueron el de porosidad y resistencia a compresión. Relacionado a los mismos se presenta la gravedad de las lesiones en los elementos estructurales de vigas, columnas y losas, así como los malos resultados
- Se concluye entonces caracterizando y evaluando el estado técnico-constructivo de las edificaciones analizadas, de **Regular** a **Malo** y aplicando ese resultado de manera generalizada para edificaciones semejantes, teniendo en cuenta los criterios que hayan hecho que algunas de estas edificaciones hayan sido intervenidas

## **CAPÍTULO III. PROPUESTAS DE ENSAYOS AL HORMIGÓN ARMADO.**

En el presente capítulo se realizará las propuestas de ensayos al hormigón armado para las edificaciones patrimoniales teniendo en cuenta el estudio patológico realizado y expuesto anteriormente. Para la confección de estas propuestas también se tendrá presente el elemento estructural al cual se le realizará el ensayo, así como las principales patologías que lo afectan, sus principales causas y el estado técnico-constructivo en que se encuentra el mismo de manera general.

### **3.1. Ensayos al hormigón endurecido a tener en cuenta en las propuestas**

A continuación, el autor presenta los ensayos a tener en cuenta para las propuestas, siendo estos los referenciados en el marco teórico del trabajo. Se explicará nuevamente el alcance y los objetivos de los mismos para abordar los siguientes epígrafes de manera más continua y sin saltos en el trabajo. Todos estos ensayos representan un acercamiento al funcionamiento de los materiales empleados en el hormigón armado, por lo que para la realización de los mismos se tiene en cuenta las normas de materiales de construcción, sus modificaciones y cambios, como son la NC 120: 2014 “Hormigón Hidráulico. Especificaciones”, NC 182: 2002 “Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (No. 200). Método de Ensayo” y NC 251: 2018 “Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos”. Los ensayos a tener en cuenta serán los siguientes:

- Ensayo para la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón endurecido. (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. Dividiendo la longitud de la trayectoria entre los transductores, entre el tiempo de viaje de la onda, se obtiene como resultado la velocidad promedio de la propagación de la misma, permitiendo evaluar la homogeneidad (uniformidad y calidad relativa) del hormigón dando así una valoración de la calidad del hormigón

- Ensayo para la determinación de densidad en el hormigón endurecido. (NC ISO 6275: 2005). 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. Esta característica depende fundamentalmente de los materiales empleados en la fabricación del hormigón, 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, por lo que está estrechamente vinculada con los ensayos de porosidad
- Ensayo para la determinación de la resistencia a compresión en probetas endurecidas. (NC 244: 2005). El objetivo de este ensayo como su nombre indica 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 la compresión mediante esclerómetro. (NC 246: 2003). 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
- Medición electromagnética para la localización de armaduras (ensayo de 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

- Ensayo para la determinación de la profundidad de carbonatación en el hormigón endurecido. (NC 355: 2004). 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 CO<sub>2</sub> que se difunde desde el ambiente que lo rodea, disminuyendo el pH por debajo de 10 y dando como resultado, condiciones ideales para la ocurrencia de la corrosión
- Ensayo para conocer el 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 y un criterio de comparación adecuado
- Ensayo para conocer la resistividad eléctrica del hormigón armado. La resistividad eléctrica es una propiedad de cada material y corresponde al recíproco de su conductividad. La resistividad del hormigón, es la capacidad que presenta el mismo para proteger al acero de refuerzo ante la corrosión. Los valores resultantes de este ensayo son inversamente proporcionales al riesgo de corrosión de las armaduras, es decir, si los resultados (valores) del ensayo son pequeños el riesgo de corrosión que presenta la armadura es mayor y si son grandes el riesgo es menor
- Ensayo de potenciales de corrosión. El objetivo de este ensayo es la medición del potencial de la armadura del hormigón mediante el uso de electrodos de referencia. El mismo permite conocer la probabilidad de corrosión de una armadura de refuerzo dentro del hormigón mediante una serie de observaciones y resultados de otros ensayos

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.

### **3.2. 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. Las edificaciones investigadas en este trabajo entran en el período anterior, pero la gran mayoría de estas pertenecen las primeras décadas del siglo XX. Sobre las anteriores se puede señalar además que todas 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 esa época el empleo de áridos los cuales no presentaban una continuidad granulométrica y con altos índice 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 esta 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 el autor del trabajo valora 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 analizadas y otras que se pudieran analizar en un futuro, con semejantes características técnicas-constructivas, período de construcción y materiales empleados, se pueden prescindir de la realización de ensayos como son:

- Pulso ultrasónico: los resultados de la realización de este ensayo en los elementos son valores que reflejan de manera general el mal estado en que se encuentran los mismos. La calidad del hormigón se califica como deficiente según los valores comparativos que brinda la Red DURAR y la NC 231: 2002 coincidiendo estos
- Porosidad: de igual manera que el anterior, queda demostrado según los resultados de este ensayo, que todos los tipos de elementos presentan una durabilidad inadecuada, es decir, presenta un porcentaje de poros superior al 15% según los criterios planteados en la Red DURAR y la NC: 345: 2011
- Resistencia a compresión: se propone eliminar la realización de este ensayo ya que los resultados del mismo evidencian la constante baja durabilidad del hormigón armado de los elementos de losa de cubierta y entrepiso, vigas y columnas. No obstante, se pudiera realizar para conocer los valores de resistencia, los cuales muchas veces se desconocen

Sin embargo, este último ensayo se debe realizar siempre y cuando se está analizando una edificación que va a cambiar su funcionalidad, algunos de sus elementos por otros más pesados, o se vayan a hacer grandes cambios en la distribución de las cargas tanto permanentes como de uso.

### **3.3. 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 conceso 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 en el capítulo anterior y los resultados de ensayos realizados a los elementos estructurales de características técnicas y estados técnicos-constructivos semejantes.

#### **3.3.1. 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 el autor del trabajo.

Estado constructivo	Ensayos a realizar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de coloración de la superficie</li> <li>• Pérdida de la capa de pintura</li> <li>• Manchas y representaciones de humedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de carbonatación</li> <li>• Esclerometría</li> <li>• Pacometría</li> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras y grietas poco profundas en la superficie</li> <li>• Pérdida del repello fino</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de carbonatación</li> <li>• Esclerometría</li> <li>• Pacometría</li> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abofamiento del hormigón</li> <li>• Manchas y representaciones de humedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de carbonatación</li> <li>• Pacometría</li> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras y grietas profundas</li> <li>• Exposición parcial de los aceros de refuerzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconchado y pérdida de sección del hormigón</li> <li>• Exposición parcial de los aceros de refuerzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento</li> <li>• Gran parte de la armadura expuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión</li> <li>• Pérdida de sección del acero de refuerzo</li> </ul>	

*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.

### **3.3.2. 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
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de coloración de la superficie</li> <li>• Pérdida de la capa de pintura</li> <li>• Fisuras y grietas poco profundas en la superficie</li> <li>• Pérdida del repello fino</li> <li>• Manchas de humedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de carbonatación</li> <li>• Esclerometría</li> <li>• Pacometría</li> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abofamiento del hormigón</li> <li>• Pérdidas de sección del hormigón</li> <li>• Manchas de humedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Profundidad de carbonatación</li> <li>• Pacometría</li> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras y grietas profundas exponiéndose parcialmente las barras de refuerzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconchado y pérdida de sección del hormigón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento dejando la armadura expuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión</li> <li>• Pérdida de sección del acero de refuerzo</li> </ul>	

*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”).

### 3.3.3. 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
<ul style="list-style-type: none"><li>• Cambio de coloración de la superficie</li><li>• Pérdida de la capa de pintura</li><li>• Fisuras y grietas poco profundas en la superficie</li><li>• Pérdida del repello fino</li><li>• Manchas de humedades</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Profundidad de carbonatación</li><li>• Esclerometría</li><li>• Pacometría</li><li>• Resistividad eléctrica</li><li>• Potenciales de corrosión</li><li>• Grado de oxidación</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Abofamiento del hormigón</li><li>• Pérdidas de sección del hormigón</li><li>• Manchas de humedades</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Profundidad de carbonatación</li><li>• Pacometría</li><li>• Resistividad eléctrica</li><li>• Potenciales de corrosión</li><li>• Grado de oxidación</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras y grietas profundas exponiéndose parcialmente las barras de refuerzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconchado y pérdida de sección del hormigón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Potenciales de corrosión</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de sección del hormigón de recubrimiento dejando la armadura expuesta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistividad eléctrica</li> <li>• Grado de oxidación</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Armadura de refuerzo expuesta con alto grado de corrosión</li> <li>• Pérdida de sección del acero de refuerzo</li> </ul>	

*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 el autor considera 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.

### **3.4. 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.

#### **3.4.1. 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.

### **3.4.2. 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  $\mu\text{m}$ , el área infrarroja va de 0,9 - 14  $\mu\text{m}$ . Las cámaras que se utilizan en la inspección de construcciones trabajan en el área 8 - 14  $\mu\text{m}$ .(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
- Muchos más

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. Para este tipo de herramientas se tendrán en cuenta recomendaciones para la profundización en su estudio y aplicación.

### **Conclusiones del capítulo**

- Se tuvo en cuenta aspectos a evaluar como la calidad, la durabilidad, resistencia y el estado de las armaduras de refuerzo del hormigón armado para la selección de ensayos a realizar en las propuestas siendo estos algunos como el de profundidad de carbonatación, esclerometría, pacometría, resistividad eléctrica entre otros
- Apreciando el estado en que se encuentran todos los tipos de elementos estructurales como losas, vigas y columnas en las edificaciones analizadas y otras que se pudieran analizar con semejantes características técnicas-constructivas, período de construcción y materiales empleados, se pudo prescindir de la realización de ensayos como el de resistencia a compresión, porosidad y velocidad

del pulso ultrasónico, así también, se propusieron ensayos dependiendo del estado constructivo de cada uno de ellos respectivamente

- Se presentaron técnicas novedosas y ensayos no destructivos que persiguen los mismos objetivos que los tradicionales, ampliando el conocimiento y la cultura general sobre el tema

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Mediante el análisis del estado del arte se conoce que los antecedentes del hormigón armado vienen desde las antiguas civilizaciones como Grecia y Roma, y con su desarrollo a lo largo del tiempo, fueron incorporándose características y propiedades que, aun con sus recurrentes patologías, lo hicieron el material versátil y más difundido que es hoy en día
2. El estudio patológico realizado en las edificaciones, así como los resultados de los ensayos efectuados en estas, ha evaluado, teniendo en cuenta las características de la zona, del material de la época y las patologías existentes, el estado técnico-constructivo de las edificaciones patrimoniales de hormigón armado analizadas de **Regular a Malo**, aplicando ese resultado de manera generalizada para edificaciones semejantes
3. Teniendo en cuenta los aspectos a evaluar 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, como así también se eliminaron algunos de estos, debido entre otros factores, a las características inherentes del material de la época analizada

## RECOMENDACIONES

Basado en los resultados obtenidos en el trabajo investigativo y para una futura ampliación del mismo, el autor hace las siguientes recomendaciones a quien pudiera interesarle:

1. Incluir la realización de otros ensayos que se le realizan al hormigón armado para profundizar aún más en el estudio del tema
2. Tener en cuenta las propuestas brindadas a la hora de la realización de ensayos en las estructuras patrimoniales de hormigón armado
3. Fomentar la implementación de técnicas menos invasivas y tecnologías más modernas con el fin de mantener las apariencias originales de las edificaciones en cuestión

## Referencias bibliográficas

- 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](http://www.arkyplus.com) [Accessed 24 de marzo 2019].
- ARQHYSARQUITECTURA. 2018. *Historia del Hormigón Armado* [Online]. web: Arqhys Arquitectura. Available: [www.arqhys.com](http://www.arqhys.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*.

## Anexos

**Anexo 1:** Tabla de documentos consultados para la investigación patológica de las estructuras.

Documento	Nombre	Año	Autor
Informe de Patología	Evaluación y Diagnóstico Patológico: Hotel Velazco	2008	ENIA
Trabajo de Diploma	Evaluación de la calidad en la construcción de viviendas en Matanza	2013	Daysi López Leyva
Trabajo de Diploma	Propuesta de acciones ingenieras de intervención para la recuperación de casas quintas matanceras	2014	Ángel Gutiérrez Redondo
Trabajo de Diploma	Evaluación estructural de edificaciones	2015	Jorge Carlos Puñales García
Trabajo de Diploma	Propuesta de una estrategia con vista a la reparación de la Mansión Xanadú	-	Wuendy Díaz Muñoz
Trabajo de Diploma	Propuesta de una estrategia de intervención para erradicar las afectaciones del Palacio de Justicia de Matanzas	2016	Darien Leyva Suárez
Informe de Patología	Diagnóstico patológico del almacén de materias primas	2016	ENIA

	y productos terminados. UEB Rayonitro.		
Trabajo de Diploma	Programa de intervención para una edificación de la zona priorizada para la conservación de la ciudad de matanzas. Caso de estudio hotel Yara	2017	Meibys Roque Figuroa
Informe Final	Investigación Patológica: Hotel Kawama	2017	ENIA
Trabajo de Diploma	Plan de intervención constructiva a efectuar en la edificación matancera: "La Quinta Luna"	2018	Sarah Enríquez Guerra

## **Anexo 2: Ensayos. Equipos y materiales utilizados**

### **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



### **Determinación de la resistencia a la compresión**

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



### de ultrasonido (velocidad del pulso ultrasónico)

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



### 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



### 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.



### Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría)

- Pacómetro
- Escala milimétrica
- Barras de marcador indeleble

