

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



**Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil**

**Título:** Analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas.

**Autor:** Iván Bertrán Nuñez

**Tutor(es):** Ing. Dariel Soto Portillo

**Matanzas, 2020**

## **Pensamiento**

***“Siento una enorme gratitud por los que me dijeron no, gracias a ellos lo hice yo mismo”.***

**Albert Einstein**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Por medio de la presente declare que yo: Iván Bertrán Nuñez 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.

---

**Firma**

**Dedicatoria:**

A mis padres.....

### **Agradecimientos:**

A mi familia, en especial a mis padres y mi hermana.

A mi prima Sheyla por hacer posible la realización de este trabajo.

A mis compañeros de estudio y profesores.

## 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 las características del hormigón utilizado en la primera mitad del siglo XX, 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 los informes realizados por la ENIA, finalizando el mismo con la analogía de las características del hormigón armado en la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el Litoral Norte de Matanzas, la cual facilitará el proceso de diagnóstico a las edificaciones, ahorrando tanto en recursos económicos como en recursos humanos.

**Palabras claves:** analogía, análisis, edificaciones; ensayos; hormigón armado.

## **Abstract**

Reinforced concrete as the most widely used material in construction due to its characteristics, has determined the rapid expansion of its use from the late nineteenth century to the present, with the maintenance costs of the structures of this material, such as those for correction or containment of pathologies, economically so significant, that it has stimulated scientific and technological research, as well as the processes of rapid application of the results obtained. Despite the interest and research on tests of reinforced concrete, there is no consensus on the characteristics of the concrete used in the first half of the 20th century, this being the general problem addressed in this research. The author of the work provides a solution to the problem through a process of decanting tests, taking into account the reports made by the ENIA, ending it with the analogy of characterization of reinforced concrete in the first half of the 20th century in structures located on the North Coast of Matanzas, which will facilitate the diagnostic process for buildings, saving both economic and human resources.

**Keywords:** analogy, analysis, buildings, essays, reinforced concrete.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	1
Capítulo I. Factores que afectan la durabilidad del hormigón y sus causas.....	6
1.1 Antecedentes sobre el empleo del hormigón armado como material de construcción.....	6
1.2 La durabilidad de las estructuras de hormigón armado.....	7
1.3 Factores que afectan la durabilidad de las estructuras de hormigón armado. ....	8
1.3.1 Ataque por sulfatos.....	9
1.3.2 Ataque por cloruros .....	10
1.3.3 Carbonatación.....	12
1.3.4 Lixiviación.....	13
1.3.5 Ataque biológico .....	13
1.3.6 Desgaste superficial.....	14
1.3.7 Temperatura.....	14
1.3.8 Humedad.....	14
1.4 Procesos Patológicos .....	17
1.4.1 Causas y síntomas de las lesiones .....	18
1.4.2 Fisuración .....	19
1.4.3 Abofamientos. ....	19
1.4.4 Desconchados .....	20
1.4.5 Disgregaciones. ....	20
1.4.6 Corrosión de los aceros. ....	20
1.4.7 Cambios de color y eflorescencias. ....	22
1.5 Términos y definiciones. ....	22
1.5.1 Vida útil.....	22
1.5.2 Ensayos destructivos .....	23
1.5.3 Ensayos no destructivos.....	24
1.5.4 Nivel de agresividad .....	24
1.5.5 Estado técnico-constructivo.....	25
1.5.6 Normativa .....	25
Conclusiones parciales .....	26
<u>Capítulo 2. Ensayos al hormigón. ....</u>	<u>27</u>
2.1 Ensayos al hormigón en estado endurecido. ....	27

2.1.1 Ensayos rápidos o generales.....	29
2.1.2 Ensayos en obra o en el laboratorio.....	29
2.1.3 Ensayos especiales.....	29
2.2 Ensayos normados para evaluar la durabilidad de los hormigones. ....	30
2.2.1 Esclerometría.....	30
2.2.2 Velocidad de la onda ultrasónica.....	31
2.2.3 Resistencia a la compresión.....	32
2.2.4 Profundidad de carbonatación.....	35
2.2.5 Penetración de iones cloruro.....	38
2.2.6 Velocidad de absorción capilar y soportividad.....	43
2.2.7 Porosidad.....	49
2.2.8 Resistividad del hormigón.....	52
2.2.9 Pacometría.....	53
2.2.10 Intensidad y velocidad de la corrosión.....	55
2.3 Ensayos a emplear para la evaluación de los hormigones.....	60
2.4 Criterios para la selección de los casos.....	60
2.5 Representatividad de la población y la muestra de la investigación.....	63
Conclusiones parciales.....	63
<b>Capítulo 3. Análisis de los resultados.</b> .....	64
3.1 Caracterización medioambiental del litoral norte de Matanzas.....	64
3.2 Caracterización de los casos de estudio.....	65
3.3 Análisis del hormigón a partir de los ensayos realizados.....	68
3.3.1 Velocidad de la onda ultrasónica.....	68
3.3.2 Porosidad del hormigón.....	69
3.3.3 Profundidad de carbonatación.....	69
3.3.4 Concentración de cloruros totales.....	70
3.3.5 Resistividad del hormigón.....	71
3.3.6 Intensidad y velocidad de la corrosión.....	71
3.3.7 Resistencia a la compresión.....	71
3.4 Realización de la analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas..	72
Conclusiones parciales.....	73
Conclusiones.....	74
Recomendaciones.....	75

Bibliografía .....	76
Anexos.....	

## Introducción

El Patrimonio arquitectónico es aquella edificación que representan la sociedad, su forma de vida, ideología, economía, tecnología, productividad, y de un momento histórico determinado, ambos poseen un reconocimiento e importancia cultural a causa de su antigüedad, significado histórico, por cumplir una función social o científica, están ligados al pasado cultural, por su diseño, así como por sus valores intrínsecos, arquitectónicos, funcionales, espaciales, tecnológicos y estéticos.

Las obras arquitectónicas son legados históricos que han dejado nuestros antepasados y constituyen nuestro patrimonio arquitectónico. Su estudio ayuda a la comprensión de la sociedad que lo produjo, a entender el porqué de algunas de nuestras formas de vida, a valorar lo que se tiene y a planear nuestro futuro.

En la actualidad la conservación de estas obras, en específico las erigidas con hormigón, resulta uno de los principales retos que enfrentan los ingenieros civiles y los arquitectos, donde no solo se enfrentan a obras de otro tiempo con materiales y técnicas constructivas diferentes, que han evolucionado, sino que en sus manos se encuentra la posibilidad de devolverle a esas construcciones la belleza y funcionalidad con que fueron concebidas (Howland, 2012).

Las excepcionales virtudes del hormigón armado como material de construcción, determinaron a fines del siglo pasado y principios del presente, una rápida expansión de su utilización. El volumen, pero sobre todo la variedad y el aspecto de las obras en hormigón armado, generó una tecnología en permanente transformación, que acumula un aporte considerable de ingenio y arte, a su vez, una industria de equipos, tanto para la fabricación como para la colocación en sitio del hormigón y su armadura, en continuo desarrollo y de amplia incidencia en la economía mundial (Traversa, 2012).

Uno de los factores importantes del hormigón, además de sus propiedades mecánicas, es su durabilidad, la cual se puede asociar con la vida útil en servicio de una estructura una vez es expuesta a determinadas condiciones o ambientes. Esto determinó la rápida expansión de su utilización a fines del siglo XIX y principios del XX, siendo el material de construcción más difundido.

Durante muchos años se pensó que las construcciones hechas con concreto tendrían una vida ilimitada, y los diseñadores y constructores estuvieron principalmente interesados en las características asociadas con la resistencia mecánica del material (Martínez and Juliette, 2013).

“El problema más importante que se observa en las construcciones de hormigón y/o hormigón armado es, actualmente, el deterioro por cargas ambientales. En las zonas costeras los principales agentes agresores son cloruros, sulfatos y humedad los cuales penetran a través de la red de poros del concreto. Algunos de estos agentes provocan daños directamente al concreto, pero principalmente producen la corrosión del acero de refuerzo; esto provoca disminución de la resistencia de los elementos por pérdida de área de acero y posteriormente, el agrietamiento y desprendimiento del concreto”(Carcaño et al., 2005).

Cuba es un país eminentemente costero y costero-marino, y ello trae por consecuencia que el proceso de conservación y mantenimiento de las edificaciones se convierte en un tema relevante, pues frente a los problemas que suelen presentarse es imprescindible una actividad de ingeniería civil y constructiva que sea eficiente en estos ambientes costeros, que son por lo general, especialmente vulnerables dadas las condiciones ambientales extremas.

El país cuenta con estructuras que han cumplido su vida útil y otras que presentan acelerados deterioros por la calidad de sus materiales, envejecimiento, incumplimiento de las normas de construcción y ejecución, como también afectaciones físicas, químicas, mecánicas y biológicas (Traversa, 2012).

Desde el año 1997 se vienen desarrollando las Estrategias Ambientales nacionales y territoriales, y en ellas se han considerado de manera particular los asuntos relacionados con el enfrentamiento al cambio climático, y la necesidad de la adopción de leyes y normas para una verdadera gestión integrada de la zona costera (Prado, 2017).

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.

La Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) es el organismo encargado en Cuba de realizar los servicios vinculados al sector de la construcción, que comprenden: Investigaciones ingeniero-geológicas, estudios ambientales, laboratorio de materiales de la construcción, laboratorio de suelos, control de las obras viales, patología y reparación de las edificaciones, control de la calidad de estructuras y de hormigón hidráulico,

estudios topográficos y perforación, todos estos estudios realizados por este organismo proporciona los resultados de ensayos pertinentes para conservación de estructuras facilitando un mejor resultado en obra (ENIA, 2020).

La declaración del centro histórico de Matanzas Monumento Nacional, la creación de la Oficina del Conservador y el aniversario 325 años de fundada la ciudad, son acontecimientos que desarrollaron un nuevo período en cuanto a la conservación, restauración y rehabilitación de edificaciones, tanto de valor patrimonial, como de aquellas que puedan otorgarle beneficios a la Atenas de Cuba, este el caso de las edificaciones ubicadas en el Litoral Norte de la ciudad (Olivera, 2019).

### **Situación problemática:**

La ciudad de Matanzas, situada en el litoral norte de la Isla, está expuesta a cargas ambientales importantes, agudizada por la prevalencia de edificaciones que datan de la primera mitad del siglo pasado, cuyas propiedades del hormigón, de modo general, se desconocen al no contarse siempre con los recursos para la realización de ensayos al material. Lo que ocasiona labores de reparación ineficientes y la pérdida paulatina del patrimonio edilicio.

### **Problema científico:**

¿Es posible realizar una analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas?

### **Hipótesis:**

Si se analizan los ensayos realizados por la ENIA al hormigón en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas, se podrá realizar una analogía de las características de dicho material.

### **Objetivo general:**

Realizar una analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas.

### **Objetivos específicos:**

1. Argumentar el marco teórico sobre la durabilidad de las estructuras de hormigón y definiciones usadas en la investigación.
2. Analizar los ensayos de durabilidad realizados por la ENIA al hormigón endurecido en estructuras de la primera mitad del siglo XX ubicadas en el litoral norte de Matanzas.
3. Realizar una analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas.

**Resultado:**

La realización de una analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas.

**Aportes de la investigación:**

En lo económico, reducirá la cantidad de ensayos, principalmente destructivos, al conocerse las propiedades del material de la época, reduciendo considerablemente los costos y posibilitando el empleo de otras técnicas más avanzadas con el mismo presupuesto asignado.

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

En lo científico, permite estrechar el vínculo entre patología, causa y ensayo, pues se logra caracterizar el material en cuestión a partir de ensayos de durabilidad ya realizados.

**Métodos de investigación**

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

**❖ Histórico – Lógico**

Se estudia y analiza todo lo concerniente al hormigón armado, sus antecedentes, y cambios que sufrió durante el paso del tiempo hasta la actualidad, así como el orden lógico de su evolución.

**❖ Inductivo – Deductivo:**

Es evidente en la introducción de aspectos que hacen posible ir de lo general a lo particular y a la deducción de elementos encontrados durante el proceso de investigación, vital para comprender la relación existente entre sus distintos elementos.

**❖ Analítico – Sintético**

Se analiza la bibliografía recopilada sobre el tema y se sintetizan los aspectos consultados, lo cual es necesario para lograr la concepción del marco teórico y el diagnóstico del caso de estudio.

**Observación directa:**

Consiste en observar atentamente un hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Es precisamente en esta técnica que los especialistas se apoyan para obtener el mayor número de datos (Guerra, 2016).

**La tesis se encuentra estructurada de la siguiente manera:**

Resumen

Introducción

Capítulo 1. Factores que afectan la durabilidad del hormigón y sus causas. Aborda conceptos claves además de la argumentación de los antecedentes sobre durabilidad de las estructuras de hormigón.

Capítulo 2. Ensayos al hormigón. Se abordan los ensayos al hormigón en estado endurecido, de ellos cuales son de durabilidad, explicando en que consiste cada uno y su utilidad. Se exponen los criterios para la selección de los casos de estudio a analizar, así como la representatividad de la muestra a tomar para dicho análisis.

Capítulo 3. Análisis de los resultados. Se caracterizan las tipologías constructivas, condiciones medioambientales y el hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas. Además, se valoran los resultados de dicho análisis.

Conclusiones

Recomendaciones

Referencias bibliográficas

Anexos

# **Capítulo I. Factores que afectan la durabilidad del hormigón y sus causas.**

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

La historia del hormigón o concreto constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando se optó por levantar edificaciones 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 (Colina, 2019).

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 (ArqhysArquitectura, 2018).

Este hormigón poseía unas propiedades físicas y mecánicas prácticamente idénticas a las que posee el hormigón utilizado en las construcciones erigidas en la actualidad, y era empleado en la construcción de estructuras enormes que han probado ser muy duraderas con el paso de los siglos. Como ejemplo están 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.

Durante el Imperio Romano el uso del hormigón como elemento constructivo tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de tal satisfacción que no se volvió a lograr hasta el siglo XIX.

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 (Arqhyplus., 2016.).

Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, la investigación en los diferentes ámbitos de utilización del hormigón armado, especialmente obra civil y arquitectura, ha avanzado a una velocidad realmente espectacular y vertiginosa, de hecho, se han producido importantes descubrimientos en el ámbito de la potenciación de determinadas características del material con la aparición de nuevos aditivos, y también se han conseguido con estos elementos puestas en obra del material en condiciones cada vez más extremas (Cordero, 2012).

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 ha hecho aporte para la reducción del costo de fabricación de los elementos, como también para la protección del medio ambiente y el ahorro de recursos (Colina, 2019).

## **1.2 La durabilidad de las estructuras de hormigón armado.**

La Instrucción de Hormigón Estructural define la durabilidad de una estructura de hormigón como “su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y

solicitaciones consideradas en el análisis estructural. Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura”(Aguirre, 2013).

En la NC 250/2005 se establecen los requisitos de durabilidad para las edificaciones y obras civiles de hormigón estructural (armado, pretensado o simple), que se diseñen para un tiempo de vida útil igual o mayor a 50 años, y que además estén sometidas a los ambientes corrosivos más frecuentes del país: atmósfera (presencia de iones cloruro, efectos de la carbonatación y altas humedades), suelos comunes y agua (salada, salobre, dulce o freática)(Normalización, 2005a).

El concepto de durabilidad también puede ser entendido como la “habilidad que un edificio o componente de un edificio tiene para alcanzar el rendimiento óptimo de sus funciones en un determinado ambiente o sitio, bajo un determinado tiempo sin realizar trabajos de mantenimiento correctivo ni reparaciones” (Carcaño et al., 2005).

Algunos autores han intentado ofrecer una definición de durabilidad más completa, teniendo en cuenta los efectos actuales del cambio climático. Es el caso de (Mendoza, 2012), que definen la durabilidad como “la capacidad de un material de construcción, elemento o estructura de hormigón de resistir las acciones físicas, químicas, biológicas y ambientales vinculadas al efecto del cambio climático global con su entorno durante un tiempo determinado previsto desde el proyecto, manteniendo su serviceabilidad y conservando su forma original, propiedades mecánicas y condiciones de servicio”.

La NC 959 (2013) la define como la calidad de los materiales y de los elementos constructivos de mantener satisfactoriamente los requisitos mecánicos, funcionales o estéticos durante la vida útil de la construcción (Normalización, 2013).

Según el autor la durabilidad de las estructuras de hormigón armado no es más que la capacidad para soportar las condiciones físicas, químicas, mecánicas, biológicas y ambientales durante la vida útil de las edificaciones, por lo que actuar con la mejor estrategia como ingeniero evitará en un futuro una rápida degradación de su estructura.

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

La mayoría de las infraestructuras se construyen principalmente con hormigón. La vida útil de estas infraestructuras es de décadas. Para conseguir que se mantengan en pie durante tanto tiempo hay que prestar gran atención a los ataques por sulfatos, ataques por

cloruros, la carbonatación, la lixiviación, los ataques biológicos, los desgastes superficiales, la temperatura y humedades que son los factores que merman la durabilidad del hormigón y que pueden perjudicar el futuro de la infraestructura.

### 1.3.1 Ataque por sulfatos

Este fenómeno se genera cuando el hormigón se encuentra expuesto a aguas subterráneas, lagos, pozos o suelos que contienen iones sulfatos. Estos pueden penetrar el hormigón y reaccionar con los componentes de la matriz cementicia causando reacciones químicas expansivas.

El ataque por sulfatos se manifiesta con una pérdida progresiva de la resistencia de la pasta de cemento debido a la pérdida de cohesión entre los productos de hidratación. Además, los productos expansivos generan agrietamientos en el hormigón; cuando esto sucede la permeabilidad del hormigón incrementa, permitiendo así la entrada de otros agentes que pueden acelerar el deterioro (Mehta, 2006).

El hidróxido de calcio y los aluminosilicatos presentes en el cemento son los más susceptibles al ataque por sulfatos. Los iones sulfatos pueden reaccionar con el hidróxido de calcio para formar y eso según **Fórmula (1.1):**



**Fórmula 1.1** Formación de Yeso

**Fuente:** (Bertolini, 2004)

y con los aluminatos cálcicos para formar etringita, según **Fórmula (1.2):**



**Fórmula 1.2** Formación de Etringita

**Fuente:** (Bertolini, 2004)

Esta última reacción es más perjudicial, ya que produce los efectos expansivos en el hormigón; sin embargo, el mecanismo por el cual la etringita causa expansión es aún controvertido. Debido a esta reacción los cementos con alto contenido de C3A, del orden del 8% o más, no se recomiendan para ser usados en ambientes que puedan estar contaminados de sulfatos. La norma europea EN 197-1:2011 incorpora un nuevo requisito que deben cumplir los clínkeres con los que se van a fabricar los cementos resistentes a los sulfatos, se trata del límite superior del contenido de C3I: 0%, 3% o 5% según corresponda, para el CEM IV/A y CEM IV/B: 9%; cabe anotar que para el CEM III no se plantea este requisito.

La severidad del ataque depende principalmente de la concentración de los iones sulfatos en el suelo o agua que están en contacto con el hormigón. Además, las soluciones de

sulfatos, tales como sulfato de magnesio, generan un ataque más agresivo, ya que los productos de la reacción son yeso e hidróxido de magnesio, este último es insoluble y reduce la alcalinidad del hormigón; el sulfato de amonio por su parte produce gas amoniac.

Bajo condiciones particulares —presencia de CO<sub>2</sub>, alta humedad relativa (>95%) y bajas temperaturas— los sulfatos pueden reaccionar con el hidróxido de calcio y el silicato cálcico hidratado (C-S-H) y producir taumasita. Este fenómeno genera una pérdida completa de la resistencia del hormigón. En ambientes altamente agresivos, como en pozos gasíferos a presión y temperaturas elevadas, se observan sobre el cemento acciones agresivas combinadas de gases agrios (CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S) e iones sulfatos, cloruros y magnesio, en particular la lixiviación de algunos de sus componentes y la menor formación de silicatos.

Por lo anterior, uno de los factores que influye para prevenir el ataque a sulfatos es la calidad del hormigón. Una baja relación agua/cemento reduce la permeabilidad y dificulta el ingreso de los iones sulfato; el uso de adiciones puzolánicas (cenizas volantes, escorias, metacaolín, entre otras) aumenta la resistencia a sulfatos; al respecto se han realizado diversas investigaciones (Bertolini, 2004).

Según la opinión del autor los ataques por sulfatos ocurren cuando el hormigón se encuentra expuesto a ambientes acuosos que contienen iones sulfatos. Estos pueden penetrar el hormigón y dañar los componentes de la matriz cementicia causando reacciones químicas expansivas, el mismo se manifiesta con una pérdida progresiva de la resistencia, generando agrietamientos y la corrosión de las barras de refuerzo en el hormigón.

### **1.3.2 Ataque por cloruros**

El ataque por cloruros al hormigón puede provenir de dos fuentes principales, en la primera los iones cloruros pueden estar presentes dentro de la mezcla del hormigón (áridos contaminados, agua de mar o contaminada, cemento y/o aditivos con contenidos altos de cloruros); en la segunda los cloruros ingresan desde el exterior. Esta última se puede dar por el uso de sales de deshielo, exposición a ambientes marinos, presencia de cloruros en sustancias químicas que puedan atacar al hormigón, entre otros.

La penetración del ion cloruro desde el exterior produce un perfil en el hormigón, caracterizado por altos contenidos de cloruros cerca de la superficie externa y una

disminución de su contenido hacia el interior. Este perfil puede aproximarse por la segunda ley de Fick:

Los iones cloruros una vez penetran el hormigón se distribuyen como cloruros enlazados y cloruros libres. Los primeros corresponden a aquellos que se enlazan químicamente al reaccionar con el aluminato tricálcico presente en la pasta para así formar cloroaluminatos cálcicos, compuesto conocido como “Sal de Friedel”, que, a diferencia de la etringita, no resulta ser expansiva. En este sentido es recomendable la utilización de cementos con alto contenido de C3A para hormigones expuestos a cloruros. Por el contrario, los cloruros libres se difunden hasta alcanzar el acero de refuerzo, donde se acumulan hasta lograr una concentración crítica, la cual tiene la capacidad de destruir la capa pasiva del acero e iniciar el proceso corrosivo. Cabe anotar que entre los factores que más influyen el contenido crítico de cloruros están la calidad de la interface hormigón/acero y el potencial electroquímico del acero de refuerzo, el cual está relacionado con la cantidad de oxígeno que puede alcanzar la superficie del acero. (Díaz Benito, 2011) presentan la técnica de microscopía de fuerza atómica (AFM) como una excelente alternativa para observar el comportamiento del acero frente a la corrosión; los investigadores realizan el estudio en medios que simulan los contenidos de los poros del hormigón y mediante el análisis de las imágenes y la evolución de la rugosidad de la superficie del acero con el tiempo de exposición confirman la tendencia del acero a pasivarse en sus inicios y posteriormente la destrucción de la capa pasiva debido al ataque por cloruros .

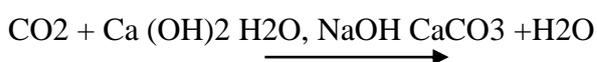
La movilidad de los iones cloruro dentro del hormigón está relacionada con su permeabilidad, por ello algunos factores importantes a tener en cuenta son: la relación agua/cemento, el tipo y proporción de cemento a utilizar y el proceso de curado. La presencia de adiciones (puzolánicas y siderúrgicas) modifican la porosidad y reducen la permeabilidad, mejorando igualmente la resistencia a la penetración de los cloruros en el hormigón (Aguirre, 2013).

Según el criterio del autor el ataque por cloruros no es más que la penetración del ion cloruro desde el exterior al hormigón, algunos de ellos llamados cloruros libres se difunden hasta alcanzar el acero de refuerzo, donde se acumulan hasta lograr una gran concentración, la cual tiene la capacidad de destruir la capa pasiva del acero e iniciar el proceso corrosivo.

### 1.3.3 Carbonatación

El proceso de carbonatación se debe al ingreso de CO<sub>2</sub> de la atmósfera al hormigón; los ambientes urbanos e industriales y en general la contaminación ambiental son la fuente necesaria para que se dé este fenómeno.

El alto pH del hormigón (del orden promedio de 13) provee una protección natural contra la corrosión del acero de refuerzo como se mencionó anteriormente, sin embargo, el proceso de carbonatación decrece el valor del pH del hormigón aproximadamente a 9. Para que la carbonatación tenga lugar es necesario que el dióxido de carbono entre en contacto con el agua y los componentes alcalinos presentes en los poros del hormigón; la reacción que ocurre en la solución acuosa es según **Fórmula (1.3):**



**Fuente:** (Bertolini, 2004)

Cabe anotar, que además de la portlandita y el C S H, otras fases hidratadas, aluminatos y sulfoaluminatos, también sufren transformaciones frente a la incorporación del CO<sub>2</sub>. Es el caso de la fase AFt, la cual puede originar además del CaCO<sub>3</sub>, yeso y gel de alúmina. El mecanismo de transporte o movimiento de la carbonatación dentro del hormigón es explicado por la teoría de la difusión, y se describe por la primera ley de Fick, según

**Fórmula (1.4):**

$$x = K\text{CO}_2\sqrt{t}$$

**Fuente:** (Bertolini, 2004)

Donde x corresponde a la profundidad de carbonatación después de un tiempo t en mm; t corresponde al tiempo en años y K es la constante de carbonatación en mm/año<sup>1/2</sup>.

La velocidad de carbonatación depende de factores ambientales y factores relacionados al hormigón mismo. Entre los factores ambientales más importantes se encuentra la humedad relativa; el proceso de difusión del CO<sub>2</sub> no se producirá en hormigones que están totalmente saturados de agua y el CO<sub>2</sub> en hormigones totalmente secos no reacciona, es por ello que la humedad relativa ideal para propiciar el fenómeno está entre el 50 y el 70%. La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera puede variar desde 0,03% para ambientes rurales y más del 0,1% para ambientes urbanos, estos últimos tienen una mayor incidencia para que se presente la carbonatación y, por último, un incremento de temperatura podría acelerar notablemente la velocidad de carbonatación.

Los factores relacionados al hormigón que afectan la capacidad de resistir la propagación del CO<sub>2</sub> son: un inadecuado proceso de curado y una mala compactación, es decir, hormigones más permeables sufren una carbonatación más rápida. Dado esta situación, a

relaciones agua/cemento bajas se reduce la movilidad del CO<sub>2</sub> en el hormigón, limitando la carbonatación a la superficie.

Con respecto a los cementos adicionados con cenizas volantes, puzolanas naturales y escorias siderúrgicas en grandes porcentajes, son más susceptibles a la carbonatación que los no-adicionados, por ello es recomendable un buen curado para que las reacciones puzolánicas alcancen su desarrollo, a partir de lo cual su desempeño podría ser positivo. De acuerdo con la Norma Europea EN 206 se definen cuatro clases de severidad a la corrosión inducida por carbonatación, identificadas como XC1 hasta XC4 (Bertolini, 2004).

Según la opinión del autor la carbonatación no es más que el ingreso de CO<sub>2</sub> de la atmósfera al hormigón, para que este proceso tenga lugar es necesario que el dióxido de carbono entre en contacto con el agua y los componentes alcalinos presentes en los poros del hormigón. La concentración de CO<sub>2</sub> varía dependiendo de los ambientes, ya sean rurales, urbanos, o de altas temperaturas.

#### **1.3.4 Lixiviación**

Dentro de los factores de deterioro del hormigón por reacciones químicas ante un agente agresor destacan las reacciones que provocan la descomposición y el lavado de los compuestos de la pasta endurecida (lixiviación), las reacciones de intercambio entre el agente agresivo y la pasta endurecida que generan productos solubles e insolubles no expansivos y las reacciones que forman nuevos productos que son expansivos (álcali-agregado, cloruros y sulfatos). Estos factores provocan un aumento de la porosidad y la permeabilidad de las estructuras, trayendo consigo la pérdida de la alcalinidad, de la masa y caída de la resistencia y la rigidez. Además de un incremento de los esfuerzos internos provocando expansión y deformación de los elementos, así como fisuras, microfisuras y fragmentación de los mismos (Herrera, 2015).

La lixiviación según el autor no es más que el proceso de deterioro del hormigón el cual provoca un aumento de la porosidad y la permeabilidad de las estructuras, por medio de un agente agresivo.

#### **1.3.5 Ataque biológico**

Las estructuras de hormigón armado se ven afectadas en muchos casos por microorganismos, como asentamiento de colonias de mohos, líquenes y musgos, llegando a la aparición de gramíneas e incluso plantas de porte con raíces extendiéndose por los intersticios. También debemos considerar el efecto de los excrementos de aves menores (palomas, gorriones etc.) con ataques químicos a las piedras, y la construcción de nidos

de aves que pueden sobrepasar, en peso, la carga admisible por algunas bóvedas y cubiertas. Por último, deberíamos tener en cuenta el ataque de los xilófagos (coleópteros y termitas) a los elementos leñosos que forman parte de los entramados de muros (Herrera, 2015).

Los ataques biológicos según el autor son las afectaciones que sufren las estructuras por microorganismos y otras especies de animales, dañando en cierta medida las edificaciones.

### **1.3.6 Desgaste superficial**

**Erosión física:** es mayor cuanto más expuesto está el elemento constructivo a los agentes atmosféricos y cuanto más heladizo sea el material, lo que depende de su coeficiente de absorción y de su estructura porosa.

**Desprendimientos:** En esta fase se evidencia por completo la pérdida de las propiedades de los materiales, dado a que se encuentran desprendimientos en el recubrimiento de los elementos, este acontecimiento se debe principalmente a la humedad, deformaciones o grietas (Calavera, 2010).

El desgaste superficial según el autor se debe a la exposición del elemento constructivo a diferentes riesgos atmosféricos, viéndose evidenciado el deterioro de las propiedades del material por determinados factores como son: la humedad, las grietas, entre otros.

### **1.3.7 Temperatura**

Como la mayoría de los materiales de construcción, el hormigón varía de volumen en función de la temperatura. En promedio su coeficiente de dilatación térmica puede estimarse en  $11 \times 10^{-6}$  por cada grado centígrado. En consecuencia, por ejemplo, en una cuadra de pavimento de hormigón para un aumento de  $15^{\circ}\text{C}$ , el aumento de longitud será del orden de 2,5cm. Esto significa una gran tensión si no hay libertad de movimiento.

El problema es de importancia superior en caso de chimeneas y recipientes industriales que han de estar sometidos de modo permanente a temperaturas constantemente variables y para la protección previa de las construcciones contra incendios (Traversa, 2012).

La temperatura según el criterio del autor es de suma importancia a la hora de realizar edificaciones y es un factor a tener en cuenta debido a la variación que realiza el hormigón respecto a la misma.

### **1.3.8 Humedad**

Por definición, humedad es agua que está impregnando en un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire. Dada esta definición (por la RAE) es claro que, en una vivienda,

como en todas partes, siempre existe un grado de humedad ya que se puede encontrar agua en los cuerpos, en los materiales de construcción, en el aire, en el suelo, etc.

El problema se produce cuando la humedad se presenta en exceso y no se han tomado las precauciones necesarias teniendo en cuenta las distintas fuentes de humedad que se pueden encontrar en una vivienda.

#### ❖ Humedad de construcción.

Este tipo de humedad es el que se produce en toda construcción a base de agua, tal como ocurre en Cuba tanto con la albañilería como con el hormigón.

Dado que hoy en día el tiempo es uno de los factores principales que rigen la construcción no hay tiempo para dejar secar las construcciones, como debería hacerse, ya que tan pronto se termina la obra gruesa es necesario comenzar con las terminaciones. Los elementos construidos poseen agua. La forma de lograr un equilibrio y que no se produzcan problemas de humedad por esta causa es a través de la evaporación, pero al no dar un tiempo de secado razonable a los elementos construidos, éstos retienen el agua lo que trae como consecuencia la posterior aparición de manchas en los muros, desprendimientos de pintura o papel mural, mohos, eflorescencias, etc.

Este tipo de humedad se presenta en forma de manchas en cualquier parte de la superficie del muro. Esto se explica en que las manchas sólo aparecen en los sectores que no han alcanzado a secarse, lo que depende de factores aleatorios, lo que hace que cualquier parte del muro sea susceptible a este problema, tanto por el interior como por el exterior de la vivienda. Un elemento puede considerarse seco cuando no se producen intercambios de humedad considerables entre él y el medio ambiente. Para que esto ocurra inciden factores climáticos como la temperatura, la humedad relativa del aire, la velocidad del viento y otros como la porosidad del material, el ancho del elemento, etcétera.

Como una alternativa al secado natural en una obra, considerando que el tiempo disponible habitualmente es menor que el requerido para que esto, se puede recurrir a acelerar el secado a través del uso de ventiladores que aumentan las corrientes de aire mejorando la ventilación o a través de estufas que entreguen calor seco a los elementos. También se recomienda controlar la humedad de los materiales a utilizar en la obra, por ejemplo, protegiéndolos de posibles precipitaciones. Esto resulta necesario sobre todo en épocas de menor calor y mayor humedad, y con mayor razón en muros orientados al sur donde los rayos de sol son prácticamente nulos.

#### ❖ Humedad de condensación

Este tipo de humedad se produce cuando el agua contenida en el aire en forma de vapor de agua, licúa y se acumula en los elementos más fríos de una vivienda.

Humedad absoluta es la cantidad de agua que contiene el aire (medida en [gr/m<sup>3</sup>]) y solamente depende de la temperatura. Por otra parte, la humedad relativa del aire puede variar de acuerdo a la temperatura que se presente. El aire es capaz de acumular agua (en forma de vapor) hasta alcanzar la saturación. Es en este punto cuando se habla de 100% de humedad relativa del aire y es entonces cuando se presenta la condensación. No por esto puede suponerse que se debiera tener un ambiente, dentro de la vivienda, con una humedad relativa del aire de 0% ya que el hombre no puede prescindir de cierta humedad relativa en la atmósfera que lo rodea. Una humedad relativa necesaria para mantener el confort de una habitación debe fluctuar entre un 40% y un 60%.

Este ambiente de confort puede verse alterado por diversas fuentes productoras de vapor como es la calefacción (si es que no posee dispositivos de expulsión de gases al exterior), la transpiración de plantas y personas, así como también por condiciones constructivas como la alta transmisión térmica de ventanas o los puentes térmicos.

Dado que las bajas temperaturas favorecen este tipo de humedad, ésta se presenta en forma estacional, preferentemente en invierno y en ambientes húmedos como cocinas, baños, lavaderos o lugares mal ventilados.

#### ❖ Humedad por condensación

Esta humedad aparece en los muros perimetrales ya que éstos presentan las temperaturas más bajas, lo que favorece la condensación. Dado que la condensación se produce al interior del hogar la parte más afectada del muro es la interior.

Las formas más eficaces para disminuir los efectos de la condensación son, mejorar el aislamiento tanto en muros como en cielos, disminuir la generación de vapor al interior de la vivienda y aumentar el número de renovaciones de aire (intercambio de aire viciado por aire fresco).

#### ❖ Humedad de lluvia

La lluvia es un fenómeno climático que se produce sobre todo en los meses de mayor frío durante el año. El alcance que tenga una lluvia sobre los muros de una construcción depende de varios factores que no se pueden prever con exactitud al momento de realizar la construcción de una vivienda, como la intensidad y el ángulo de la lluvia y la intensidad y la dirección del viento.

Esto hace que toda edificación sea susceptible a presentar problemas de humedad al momento de presentarse los meses de mayor lluvia si no se toman las medidas adecuadas como impermeabilizar muros exteriores, proteger los muros mediante aleros apropiados y establecer un buen sistema de canales y bajadas de agua. También es necesario controlar la existencia de grietas en muros exteriores ya que éstas facilitan la absorción de agua. Cuando la lluvia impacta contra un muro, el agua penetra y se propaga en su interior, ya sea un muro de hormigón o de ladrillo, a través de los poros y las grietas del material. El agua se introduce y avanza a través del espesor del muro. Si la presión del viento y de la lluvia fuesen constantes podría esperarse un avance, del frente de humedad, paralelo al muro. Dado que esto no ocurre y junto a que la presión hidrostática del agua presente en el interior del muro varía de acuerdo a la altura, se tiene un frente húmedo diagonal, con un mayor espesor en la parte baja del muro, que disminuye con la altura.

#### ❖ Humedad accidental

Este tipo de humedad no se produce ni por condiciones climáticas ni por fallas constructivas, sino que tal como lo indica su nombre por accidentes. Este problema se presenta cuando, por ejemplo, se rompe una cañería. Este es un problema de fácil solución ya que sólo hay que cambiar la cañería rota. Pero puede volverse un problema mayor si no se encuentra el lugar donde se produjo el rompimiento, lo que puede implicar que haya que romper pisos o muros en busca de la fuga. El tiempo que transcurre hasta identificar la pérdida, es el tiempo que el agua se alcanza a apozar lo que puede provocar humedad excesiva si no se cuenta con la aislación adecuada (Aguirre, 2013).

La humedad según el autor no es más que agua que se impregna en un cuerpo, la misma se puede encontrar en una vivienda, en los materiales de construcción, en el aire, en el suelo. Saber el proceder cuando la misma es en exceso garantizará una mejor calidad y durabilidad de la edificación.

### **1.4 Procesos Patológicos**

"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." (MARTIN, 2007)

De acuerdo a lo planteado por (Martínez and Julietteh, 2013) el proceso patológico es "...la alteración más o menos grave de la construcción, o también anomalía dañosa en

el funcionamiento del edificio. Se define como la acción para determinar y calificar el origen (la causa), la evolución, el estado actual (la lesión) del problema constructivo que queremos atacar y resolver..."

En opinión como autor ambos conceptos son correctos y abarcan ampliamente el significado del término en la construcción, sin embargo, es necesario resaltar la diferencia existente entre proceso patológico y estudio patológico pues en muchas literaturas ambos términos son definidos de igual forma y esto es incorrecto.

El proceso patológico como cualquier enfermedad (lesión) tiene un origen que pudo haber sido provocado por diferentes factores (causa), dicha enfermedad (lesión) con el tiempo va a ir evolucionando y producto de esta evolución aparecerán síntomas que son el resultado final de la enfermedad (lesión).

El estudio patológico, como su nombre lo indica es el estudio de dicho proceso, por lo que sigue la misma secuencia, pero de forma inversa, parte de observar el resultado de la lesión (síntoma), para siguiendo la evolución de la misma lograr definir cuál pudo haber sido la causa (origen) que lo provocó.

#### 1.4.1 Causas y síntomas de las lesiones

Las causas que afectan las estructuras son muy variadas y por tanto se deben analizar de forma distinta para cada proceso patológico. En la siguiente tabla se sintetizan las tipologías generales de las lesiones y las sintomatologías que permitirá comprender las características distintivas de cada una de ellas independientemente del momento porcentual en las que se han producido (Mingo, 2004).

**Tabla 1.1** Tipología y sintomatología de las lesiones.

**Fuente:** (Mingo, 2004)

Tipología de la lesión	Sintomatología
Físicas: Agentes atmosféricos (heladas, acciones eólicas, cambios bruscos de temperatura, etc.)	Humedad
	Erosión física
	Meteorización
	Suciedad
Mecánicas: Esfuerzos mecánicos no previstos (compresión, tracción, etc.)	Deformaciones
	Agrietamientos
	Fisuraciones
	Desprendimientos
	Erosión mecánica

Químicas: Interacción entre materiales, contaminación atmosférica, etc.	Disgregación o disolución
	Oxidación
	Eflorescencia
	Explosión – combustión
	Deformación
	Meteorización
Electro-químicas	Corrosión
Biológicas: Interacción entre agentes biológicos y materiales (acción de microorganismos y macroorganismos).	Pudrición parda
	Pudrición blanca
	Disgregación

Cualquiera que sea la causa determina en gran medida el carácter del proceso y, por tanto, el de las lesiones, y evidentemente a cada causa corresponderá una terapia más adecuada y más duradera.

#### **1.4.2 Fisuración**

Rotura en la masa de hormigón que se manifiesta exteriormente con un desarrollo lineal. 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 (Valcárcel, 2016).

#### **1.4.3 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. 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 (Valcárcel, 2016).

#### **1.4.4 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) (Colina, 2019). 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.

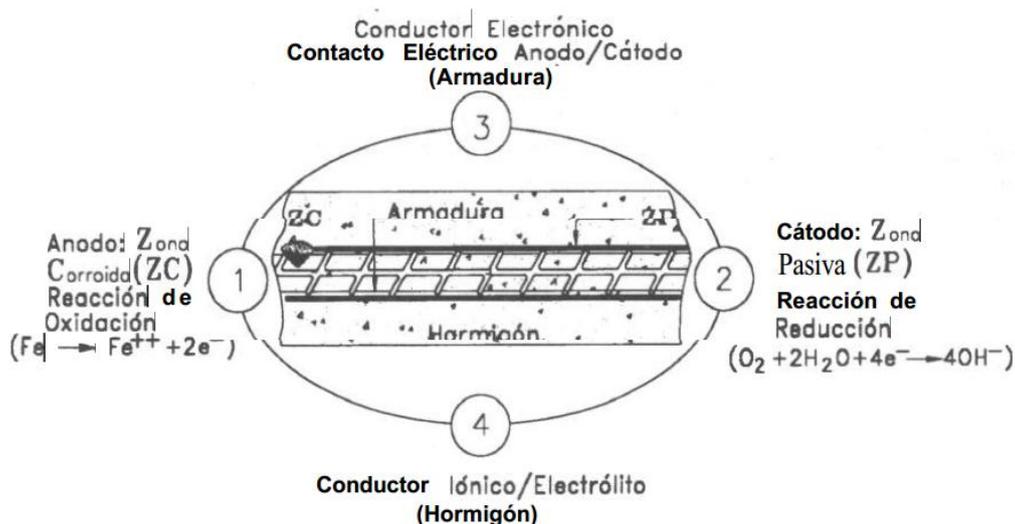
Este fenómeno es llamado también exfoliación y hay tres causas principales que la provocan. Daños por agua de igual modo que al abofamiento, el calor, el cual junto al agua y las humedades provocan el astillamiento del hormigón y la unión de ambos, la cual provoca los fenómenos de presión como la expansión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

#### **1.4.5 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.

#### **1.4.6 Corrosión de los aceros.**

La corrosión de la armadura en el hormigón consiste en la oxidación destructiva del acero, por el medio que lo rodea. Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consiste en cuatro elementos principales (**Figura 1.1**): 1) un ánodo, donde ocurre la oxidación; 2) un cátodo, donde ocurre la reducción; 3) un conductor metálico, donde la corriente eléctrica es el flujo de electrones y 4) un electrolito, en este caso el hormigón, donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso (Tobón, 2015, Domínguez, 2018).



**Figura 1.1** Elementos Constituyentes de la Celda de Corrosión.

**Fuente:** (Domínguez, 2018)

La corrosión electroquímica del acero en el hormigón resulta de la falta de uniformidad en el acero (diferentes aceros, soldaduras, sitios activos sobre la superficie del acero), contacto con metales menos activos, así como también, de las heterogeneidades en el medio químico o físico (hormigón) que rodea al acero. Aunque la potencialidad para la corrosión electroquímica puede existir debido a la falta de uniformidad del acero en hormigón, la corrosión normalmente se previene por la formación de esa película de óxido de hierro «pasivante» mencionada con anterioridad. Pero, cuando las condiciones de servicio cambian y el hormigón se altera o a través de él penetran sustancias agresivas, se produce el rompimiento de esta película y la corrosión de las armaduras se desencadena con una triple consecuencia:

- ❖ El acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido
- ❖ El hormigón puede fisurarse o de laminarse debido a las presiones que ejerce el óxido expansivo al generarse y,
- ❖ La adherencia armadura-hormigón disminuye o desaparece.

Es importante resaltar que sin la presencia simultánea en el hormigón de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible la corrosión y, sin una cantidad mínima crítica, no es posible que se desarrolle con velocidad apreciable. Ambos factores tienen un carácter ambivalente, pues cuando las armaduras están pasivadas, una cierta cantidad de oxígeno y humedad pueden servir para engrosar la capa pasivante, pero, cuando las armaduras se corroen activamente, actúan acelerando notablemente el ataque. En su ausencia, sin embargo, lo detienen completamente.

Así, los problemas de corrosión del acero estructural están íntimamente asociados a la despasivación del mismo, por el proceso electroquímico resultante de las variaciones del medio químico sobre las distintas interfaces hormigón/acero y de las diferencias metalúrgicas y mecánicas del metal. Estas variaciones originan gradientes de potencial, con flujo de corrientes eléctricas llevando a la formación de áreas anódicas y catódicas que constituyen las celdas de corrosión (Domínguez, 2018).

#### **1.4.7 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 (Domínguez, 2018).

### **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 Vida útil**

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

depende del tipo de estructura y debe ser fijada por la Propiedad previamente al inicio del proyecto”. En esta instrucción, se emplea el término “vida útil” de forma equivalente a como lo hace el Código Técnico de la Edificación cuando hace referencia al “período de servicio”.

En la norma (15686-1, 2011) se define la vida útil de un edificio como “el período de tiempo después de la instalación o construcción durante el cual un edificio o sus partes cumplen o exceden los requisitos mínimos de rendimiento para lo cual fueron diseñados y construidos”.

Muchas veces el concepto de vida útil es confundido con el de durabilidad. Según (Colina, 2019), puede considerarse que la vida útil es la cuantificación de la durabilidad, y por tanto es cada vez más importante que se proyecte y construya teniendo en cuenta criterios de durabilidad para, de ese modo, prolongar la vida útil de las edificaciones.

En el caso de (Mendoza, 2012), definen la vida de servicio como el “período de tiempo durante el cual el desempeño de un material, elemento o estructura de hormigón conserva los requerimientos de proyecto en términos de seguridad (resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, seguridad en uso), funcionalidad (higiene, salud y medio ambiente, protección contra el ruido y ahorro energético y confort térmico) y estéticos (deformaciones, agrietamientos, desconchamientos), con un mínimo de mantenimiento que permita controlar los efectos del cambio climático global en su entorno”.

Según el autor vida útil es el tiempo que una estructura de hormigón conserva las exigencias y requisitos del proyecto para lo cual fueron diseñados y edificados, por lo que se debe construir teniendo en cuenta criterios de durabilidad para, de ese modo, prolongar la vida útil de las edificaciones.

### **1.5.2 Ensayos destructivos**

**Estudios destructivos:** como su nombre lo indican los estudios destructivos varían las características geométricas, fisicoquímicas; se realizan cuando los ensayos no destructivos no aclaran la sintomatología que presenta la estructura (Daza, 1996).

En los ensayos destructivos se realizan las siguientes prácticas:

- ❖ Extracción de probetas testigo de hormigón
- ❖ Toma de muestra de acero de refuerzo
- ❖ Profundidad de carbonatación

- ❖ Medida de resistencia a la penetración de una sonda de acero endurecido conocido como pistola Windsor
- ❖ Extracción de micro probetas (20, 25, 30 mm de diámetro), se usa en el caso de no poder realizar la extracción de la probeta testigo

Los ensayos destructivos se realizan según el autor para obtener información y medir algunas propiedades físicas del concreto, con la particularidad de que estos varían las características geométricas de las estructuras.

### **1.5.3 Ensayos no destructivos**

**Ensayo no destructivo (Mendoza):** cualquier tipo de prueba practicada que proporcione información acerca del objeto ensayado sin que este experimente ningún deterioro, es decir, sin afectar o alterar sus características de servicio tanto durante como al finalizar el ensayo. Son usados para medir algunas propiedades físicas del concreto y a partir de ellas obtener un estimado de la resistencia y de los parámetros elásticos del concreto. Todos los END están basados en principios físicos, lo que significa que se basan en la determinación de alguna propiedad física del material o de su variación.

Según la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la unidad de Culmuacan los ensayos no destructivos son exámenes que son utilizadas para detectar discontinuidades internas y/o superficiales o para determinar propiedades selectas en materiales, soldaduras, partes y componentes; usando técnicas que no alteran su estado físico o constitución química (Martinez, 2017).

Según la opinión del autor los ensayos no destructivos se realizan para proporcionar información y medir algunas propiedades físicas del concreto y a partir de ellas obtener un estimado de la resistencia acerca del objeto ensayado sin afectar o alterar sus características de servicio.

### **1.5.4 Nivel de agresividad**

El índice de agresividad ambiental se estima de acuerdo con las condiciones de exposición de cada elemento, obtenidas en primera instancia a partir de una inspección visual (Hernández, 2015).

Las condiciones de agresividad del ambiente se clasifican en cuatro categorías:

1. Agresividad MUY ALTA: Elementos de estructuras marinas por encima del nivel de la marea alta y en zonas de recorridos de mareas.

Estructuras situadas en las proximidades de la línea costera hasta 500 m. del mar en la costa norte y hasta 100 m en la sur.

Estructuras no impermeabilizadas en contacto con aguas que presenten un contenido elevado de cloruros, no necesariamente relacionados con el ambiente marino.

2. Agresividad ALTA: Elementos de estructuras marinas sumergidos permanentemente. Estructuras situadas en la franja costera a más de 500 m y hasta 3 Km. del mar en la costa norte y a más de 100 m y hasta 1 Km. en la costa sur. Estructuras soterradas bajo la influencia total o parcial de agua de mar o salobre.

3. Agresividad MEDIA: Estructuras situadas en la franja costera a más de 3 Km. y hasta 20 Km. de la costa norte y a más de 1 Km. y hasta 20 Km. de la costa sur. Estructuras soterradas bajo la influencia total o parcial de aguas y suelos comunes. Depósitos de agua dulce. Interiores de edificaciones aisladas del medio exterior y sometidas a humedades altas o condensaciones. Estructuras situadas en zonas de humedades relativas medias anuales mayores de 65%.

4. Agresividad BAJA: Estructuras situadas a más de 20 km de ambas costas. Interiores de edificaciones no sometidos a condensaciones. Estructuras soterradas no afectadas por las aguas subterráneas o freáticas en suelos comunes. Estructuras situadas en zonas de humedades relativas medias anuales iguales o menores del 65%.

El nivel de agresividad según el autor es un índice que se determina según las condiciones a las que están expuestas las edificaciones, tener bien determinado este nivel de agresividad nos ayudaría a darle un mejor tratamiento a las edificaciones y saber de qué tal magnitud pueden ser los daños causados.

### **1.5.5 Estado técnico-constructivo**

Situación actual que presenta un inmueble en cuanto a desgaste o destrucción de sus elementos componentes y que difiere de la tipología original concebida para el mismo. El estado técnico constructivo puede variar en el tiempo por mantenimiento o reparaciones del mismo o por ausencia de estos.

### **1.5.6 Normativa**

Código o conjunto de regulaciones establecidas por una autoridad competente para su adopción por partes de las entidades locales.

La normativa según el autor son procedimientos que se tienen que cumplir a la hora de realizar edificaciones, guiarnos por estas nos facilita el trabajo y los riesgos

## **Conclusiones parciales**

Las conclusiones a las que se arriba al estudiar el marco teórico-referencial de esta investigación son:

1. El hormigón armado, tuvo sus antecedentes en las antiguas civilizaciones 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.
2. Prestándole atención a diferentes factores que merman la durabilidad del hormigón como ataque por sulfatos, por cloruros, entre otros que pueden perjudicar el futuro de la obra, se analiza la durabilidad de las estructuras de hormigón armado.
3. Como principales patologías que afectan al hormigón armado se investigaron las fisuras, abofamientos, corrosión de las armaduras, así también como los agentes externos y las principales causas de estas.
4. Vida útil, ensayos destructivos, ensayos no destructivos, nivel de agresividad fueron algunos de los conceptos definidos.

## **Capítulo 2. Ensayos al hormigón.**

En este capítulo se abordará algunos de los diferentes ensayos no destructivos que se le realizan al hormigón, sus procedimientos, materiales y equipos utilizados, sirviendo estos de base para el estudio posterior.

### **2.1 Ensayos al hormigón en estado endurecido.**

Ensayo para la determinación de densidad en el hormigón endurecido (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. 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). 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). 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). 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). 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). 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). El objetivo de este ensayo es evaluar la dureza superficial del hormigón mediante el uso del esclerómetro de reflexión. El ensayo esclerométrico es un método no destructivo que mide la dureza superficial del hormigón, proporcionando elementos para la evaluación de la calidad del mismo en su estado endurecido. Es importante destacar que este es un ensayo complementario, por lo que no podemos asegurar que el hormigón posee una resistencia a compresión igual a la determinada en el ensayo ya que ésta es superficial
- ❖ Grado de oxidación (porcientos de pérdida del acero por corrosión). Se realiza mediante la comparación entre los valores reales y nominales de las armaduras en lugares donde esté expuesta parcial o totalmente. La toma de muestra no necesita de ningún equipo, ni de gran tecnología, solamente herramientas básicas para el trabajo
- ❖ Medición electromagnética para la localización de armaduras (pacometría). (Norma ASTM C805, 2016). 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, 2005) y otras como la (CYTED, 1997) 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.

### **2.1.1 Ensayos rápidos o generales.**

Los ensayos rápidos o generales se catalogan ensayos de primer nivel o nivel 1 y tienen lugar en las obras .Estos ensayos son: medición de dimensiones de los elementos, medición de deformaciones de los elementos, medición de fisuras y grietas, grado de oxidación de las armaduras (Pérdida de sección del acero por corrosión), humedad superficial, fotografía digital infrarroja, medición electromagnética para la localización de armaduras o pacometría, dureza superficial o esclerometría, profundidad y localización de armaduras (Ferroskan), profundidad de carbonatación.

### **2.1.2 Ensayos en obra o en el laboratorio.**

- ❖ Estos ensayos están comprendidos en el nivel 2 y se separan en dos grupos:  
Ensayos en Prueba de carga obra: Toma de muestras en obra (Extracción de testigos), ultrasonido, resistividad, medición de potenciales de la armadura, velocidad de corrosión de la armadura (GECOR), adherencia del revestimiento, endoscopía, instrumentación
- ❖ Ensayos en el laboratorio: Profundidad de carbonatación, perfil de cloruros, porosidad, absorción, ultrasonido, resistividad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción.

### **2.1.3 Ensayos especiales**

Los llamados ensayos especiales se catalogan de nivel 3 y están comprendidos en dos grupos ya que hay de obras y de laboratorios. Estos últimos son: Difracción de rayos X, microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido; mientras el de obra es: Prueba de carga.

## **2.2 Ensayos normados para evaluar la durabilidad de los hormigones.**

### **2.2.1 Esclerometría**

Esclerómetro o Martillo Smith:

Es un instrumento de medición empleado, generalmente, para la determinación de la resistencia a compresión en hormigones ya sea en pilares, muros, pavimentos, etc. Es aplicable para evaluar la uniformidad del concreto en sitio, para delinear regiones de concreto pobre o deteriorado en una estructura y para estimar la resistencia del concreto en sitio. **(Ver Anexo 1. Esclerómetro)**

Por lo general este equipo se emplea sólo para evaluar la uniformidad del hormigón in situ, delinear zonas de hormigón deteriorado o de baja calidad o estimar el desarrollo de resistencias in situ. Su funcionamiento consiste en una pesa tensada con un muelle. Dicha pesa tensada es lanzada contra el hormigón y se mide su rebote. (COTECNO, 2019)

Aunque no es un método excesivamente fiable, su uso está muy extendido. Proporciona valores aproximados y se emplea principalmente como método de comprobación pues permite saber dentro de los límites la resistencia al hormigón en estructuras ya fabricadas, siendo menos usado que el ensayo de compresión. **(Ver Anexo 2 Pruebas con esclerómetro en la base de una columna y en la pared de un túnel)**

Prácticas a seguir:

Una de las desventajas que argumentan algunos profesionales acerca de este instrumento es que sus resultados pueden estar llenos de subjetividad. Por ello para obtener resultados válidos se deben seguir las siguientes prácticas: (COTECNO, 2019)

- ❖ El método concreto sometido a prueba está fijo en la estructura, teniendo mínima dimensión 100mm, de espesor. Los especímenes más pequeños deberán ser sujetados rígidamente. En el caso de probetas, se aconseja fijarlas entre los cabezales de la máquina de compresión
- ❖ El área en la cual se podrá efectuar una determinación, por el promedio de una serie de pruebas comprenderá aproximadamente una circunferencia de 150 mm de diámetro
- ❖ Deberá efectuarse el pulido superficial en la zona de prueba de los especímenes, hasta una profundidad de 5mm, en los concretos de más de 6 meses de edad, en texturas rugosas, en las húmedas y cuando se encuentran en proceso de carbonatación

- ❖ A efecto se utilizará una piedra abrasiva de carburos de silicio o material equivalente, con textura de grano medio. Aditamento que forma parte del equipo provisto por el fabricante
- ❖ La posición del aparato, en casos de 4 ensayos comparativos, deberá tener la misma dirección. La posición normal del aparato es horizontal
- ❖ De actuar verticalmente incide la acción de la gravedad, dando resultados de rebotes más altos actuando hacia abajo y más bajos hacia arriba
- ❖ El accionar angular dará resultados intermedios

### **2.2.2 Velocidad de la onda ultrasónica**

El examen por ultrasonido consiste en el empleo de ondas mecánicas que viajan a través de un material, en el que sus partículas vibran a la misma frecuencia que las ondas sonoras con respecto a un punto fijo; sin embargo, las partículas no viajan con ella, sino tan sólo reaccionan a su energía.

Existen una amplia variedad de frecuencias, con respecto a los END se emplean frecuencias que comienzan a 25 000 ciclos/seg y se extienden hasta los 25 000 000 ciclos/seg

Equipos y materiales:

- ❖ Equipo electrónico de ultrasonido
- ❖ Sistema de representación
- ❖ Transductores o palpadores
- ❖ Acoplante
- ❖ Bloque de calibración

Ventajas:

- ❖ Alto poder de penetración
- ❖ Alta sensibilidad que permite detectar discontinuidades pequeñas
- ❖ Mayor precisión que otros exámenes
- ❖ Se puede aplicar a cualquier material
- ❖ Es portátil
- ❖ No resulta peligrosa su operación para el personal y no tiene efecto adverso. En materiales circundantes

Desventajas:

- ❖ Requiere personal técnico

- ❖ Las piezas que son rugosas, de formas irregulares, muy pequeñas o delgadas, son difíciles de examinar
- ❖ Se requiere el empleo de bloques estandarizados para la calibración
- ❖ Se requiere información suficiente sobre la pieza.

Para el análisis de los resultados obtenidos en estas mediciones, se utiliza como herramientas los siguientes criterios de evaluación que propone el Manual DURAR de la Red CYTED:

<b>Velocidad de Propagación (m/s)</b>	<b>Calidad del Hormigón</b>
<2000	Deficiente
2001 a 3000	Normal
3001 a 4000	Alta
>4000	Durable

**Tabla 2.1** Criterios de evaluación del ensayo: Velocidad de la onda ultrasónica.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED(CYTED, 1997)

Se tuvo en cuenta el análisis también por la en el cual se muestra el procedimiento del cálculo de la velocidad de onda ultrasónica.

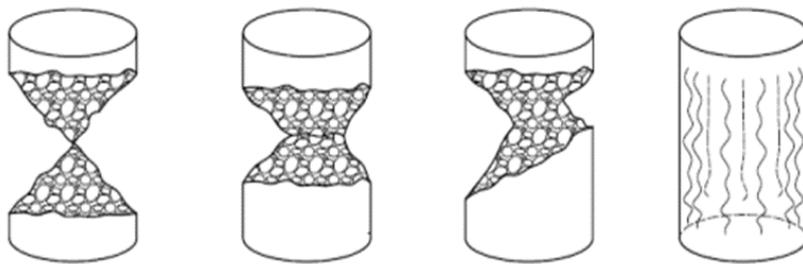
### **2.2.3 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del hormigón es 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. Este parámetro se determina a partir de la extracción y rotura a compresión de testigos cilíndricos, los cuales se extraen en las zonas donde existan condiciones de acceso con seguridad para los equipos y el personal, tratando de causar el menor daño a la capacidad portante de los elementos.

Según lo establecido en (NC: 724, 2015), los testigos de hormigón deben cumplir el principio de que el diámetro del cilindro debe ser al menos 3 veces mayor que el tamaño máximo del árido empleado en la elaboración del hormigón y en ningún caso debe ser inferior a dos veces el tamaño nominal del árido grueso; la relación entre la altura (h) y el diámetro ( $\emptyset$ ) del testigo debería ser  $h/\emptyset = 2$  y deseable que nunca sea  $h/\emptyset < 1$  y no deben tener fisuras, vacíos o fallos de hormigonado, así como no contener aceros dentro del cuerpo del cilindro.

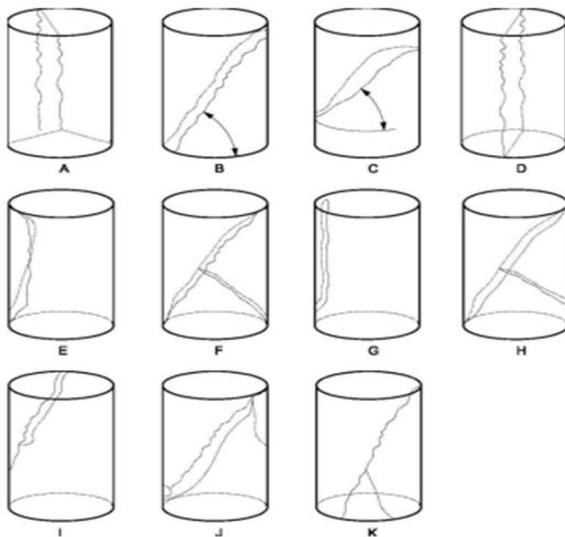
Al llegar los testigos al laboratorio ante de someterlos a las cargas se cortan con disco de corte los topes de los testigos de forma de obtener una superficie perfectamente plana y ortogonal a la generatriz del cilindro. Eso puede, excepcionalmente, ser obtenido con un fuerte desbaste por lija de la superficie. Luego, éstos deben ser refrentados. Luego se procederá a aplicar la carga que no deberá tener saltos bruscos y se incrementará continuamente a una velocidad constante hasta que no pueda ser sostenida una carga mayor.

Si la rotura es satisfactoria (**Ver Figura 2.1**), se registrará. Si la rotura es insatisfactoria, el tipo de rotura se registra usando el número del modelo o patrón que más se aproxime a la realidad según los indicados en la Figura 2.8.



**Figura. 2.1** Rotura Satisfactoria de las probetas cilíndricas.

**Fuente:** NC: 724. Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.(2015)



**Figura. 2.2** Algunas roturas insatisfactorias de las probetas cilíndricas.

**Fuente:** NC: 724. Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido. (2015)

La Resistencia a Compresión se da por la ecuación:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Donde:

$f_c$ : Resistencia a compresión expresada en (MPa)

F: Carga Máxima, expresada en (N)

$A_c$ : Área de la sección transversal de la probeta sobre la cual actúa la fuerza a compresión, expresada en (mm<sup>2</sup>).

Si las dimensiones reales de la probeta de ensayo están dentro del  $\pm 0,5$  % del tamaño nominal, la resistencia puede calcularse en base al tamaño nominal. Si las dimensiones reales están fuera de esta tolerancia, el cálculo de la resistencia estará basado en las dimensiones reales de la probeta de ensayo.

**NOTA:** Siempre que sea posible las muestras deben tener una longitud tal que garanticen para el ensayo, una relación longitud/diámetro igual a  $2,0 \pm 5$  %. En caso de no poderse cumplir esta condición, para los testigos perforados que se extraigan de las estructuras, se admitirán muestras testigos de longitud media mínima igual al diámetro medio, aplicando a los resultados de ensayos de resistencia a compresión los coeficientes de corrección indicados de acuerdo con el Anexo C de esta norma (NC: 724, 2015).

<b>Relación entre la longitud y el diámetro (hm/dm)</b>	<b>Coefficiente de Corrección (CC)</b>
2.00	1.00
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.10	0.90
1.00	0.87

**Tabla 2.2** Factores de corrección NC 724- 2015

**Fuente:** NC: 724. Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido. (2015)

**NOTA:** Los factores de corrección que no aparezcan en esta Tabla se determinan por interpolación.

El valor de la resistencia mecánica, por sí solo, no es indicativo de la durabilidad del hormigón, ya que dependerá de varios factores entre los cuales se puede mencionar: la

relación a/c, la dosificación, el tipo de cemento, el espesor de recubrimiento de la armadura, etc. Sin embargo, en general se acepta que hormigones de elevada resistencia (>45 MPa) son durables y que hormigones por debajo de 20 MPa son de baja durabilidad.

### 2.2.4 Profundidad de carbonatación

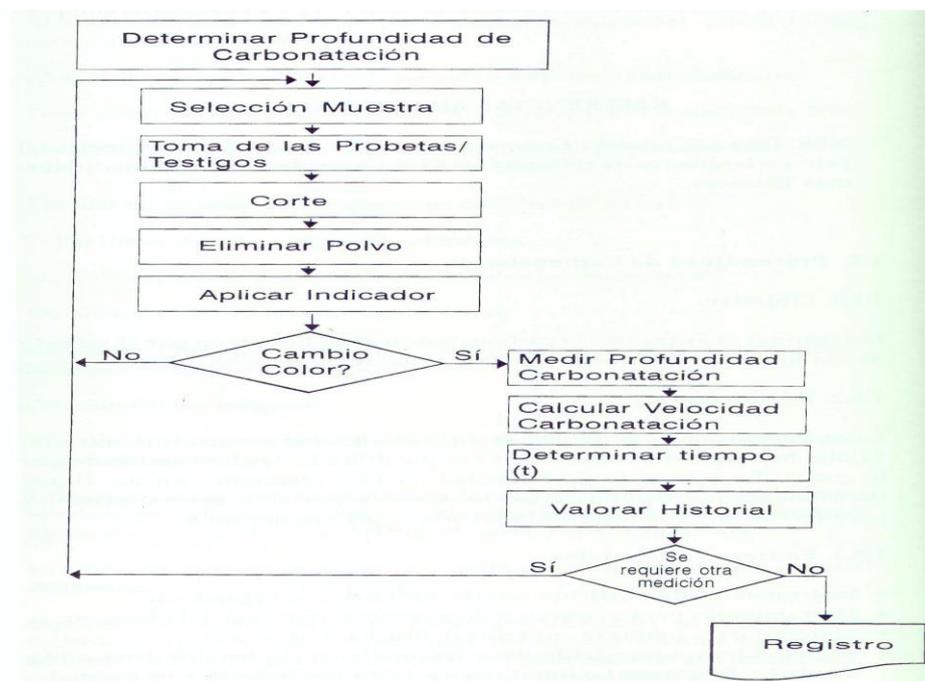
Objetivo: Determinar el avance de la carbonatación en el hormigón por el método de vía húmeda con solución de indicador ácido-base.

Definición: la carbonatación es la reducción de la alcalinidad normal (pH entre 12-14) del hormigón por efecto del CO<sub>2</sub> que difunde desde el ambiente que lo rodea. En presencia de humedad, el CO<sub>2</sub> reacciona con los álcalis (usualmente hidróxidos de calcio, sodio y potasio), neutralizándolos para formar carbonatos disminuyendo el pH por debajo de 10.

Equipos y materiales

- ❖ instrumentos de medición: escala milimétrica, vernier, etc.
- ❖ herramientas para la extracción de muestras: piquetas, taladros, etc.
- ❖ material para limpieza superficial: brocha, trapos, etc.
- ❖ solución indicadora ácido - base: fenolftaleína (1g fenolftaleína + 49g alcohol + 50g agua) o timolftaleína (1g timolftaleína + 99g agua)

Procedimiento: el diagrama de procedimiento se muestra en la **Figura 2.3**



**Figura 2.3** Diagrama de procedimiento para determinar la profundidad de la carbonatación.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

a. Toma de probetas/ testigo. La sección será un corte transversal donde un extremo corresponderá a la superficie expuesta a la atmósfera. La probeta/ testigo puede ser cilíndrica o una porción extraída. El tiempo de exposición de la superficie a evaluar no podrá ser mayor de 15 minutos (fractura fresca).

En caso de que no pueda extraerse un testigo o porción, se procederá a taladrar una o varias secciones manuales o mecánicamente hasta la profundidad de interés, dejando el lugar libre de materiales sueltos y polvo, lo cual expondrá la superficie para el análisis

b. Determinación de la profundidad de carbonatación. Una vez seleccionada la probeta y estando su superficie libre de polvo, se aplicará por atomización el indicador ácido - base en forma uniforme.

Luego de la aplicación, antes de transcurridos 15 minutos, se efectuará la medición de la longitud (profundidad) de la zona incolora desde la superficie, determinando con precisión los valores máximos / mínimos del frente incoloro y la media aritmética, de un mínimo de medición, en función del tamaño de la probeta. El procedimiento no debe tardar más de 20 minutos.

Deberá levantarse un registro preciso sobre la ubicación de las probetas/testigos, tonalidad visualizada, profundidad de carbonatación medida e indicar explícitamente el tipo de indicador utilizado. Igualmente se efectuará un registro fotográfico donde sea pertinente

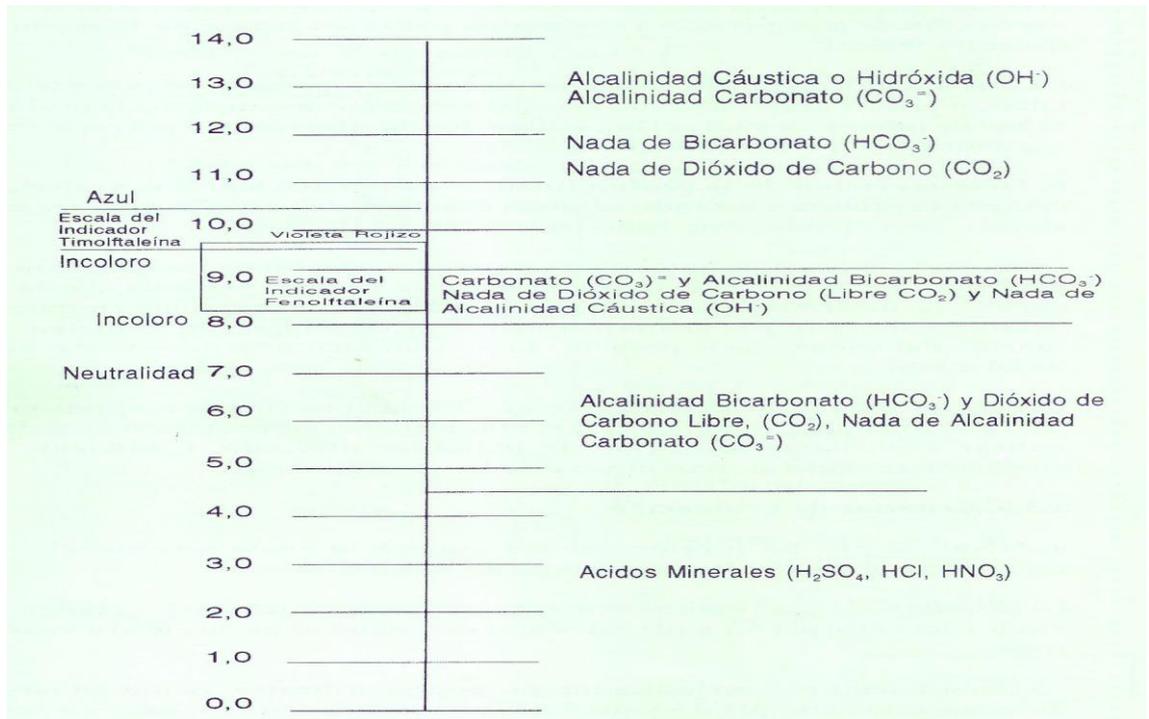
### **Criterios de evaluación**

a. Nivel de pH. En función del indicador ácido- base seleccionado se establecerá el pH del frente incoloro en la muestra.

La fenolftaleína es en indicador más comúnmente utilizado y su rango de viraje está entre pH 8.2 y pH 9.8. Varía su tonalidad de incoloro que Violeta rojizo.

La timolftaleína es otro indicador que podría utilizarse, ya que su rango de viraje está entre pH 9.3 y pH 10.5 con tonalidades de incoloro a azul.

La **Figura 2.4** muestra los indicadores, su rango de viraje, el pH y las especies predominantes



**Figura 2.4** Indicadores, rango de viraje, pH y especies predominantes.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

b. Cálculo de la velocidad de carbonatación. Uno de los modelos más sencillos que permite predecir la velocidad de carbonatación del hormigón armado es el que relaciona la profundidad de carbonatación con la raíz cuadrada del tiempo de exposición

$$X_{CO_2} = K_{CO_2} \times \sqrt{t}$$

$X_{CO_2}$ : profundidad de carbonatación, mm

$K_{CO_2}$ : constante de carbonatación, mm. año<sup>-0.5</sup>

$\sqrt{t}$ : tiempo en años

Con los resultados de una determinación de profundidad de carbonatación es posible predecir la progresión de la misma y el tiempo en el cual la carbonatación alcanzará el refuerzo del hormigón si se conoce la profundidad de éste.

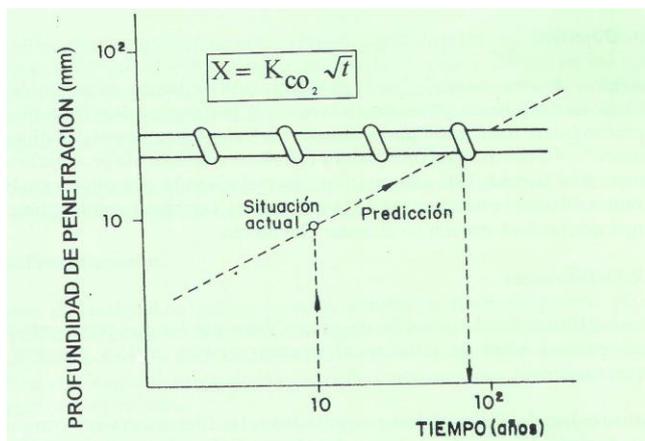
Ejemplo:

$$K_{CO_2}^2 = \frac{X_{CO_2}}{\sqrt{t}}$$

$$t = (E_c / K_{CO_2})^2$$

Se calcula la constante  $K_{CO_2}$  de la primera determinación y el tiempo en que ocurrió la carbonatación. Se utiliza esa constante junto a la profundidad de la armadura  $E_c$  y se determina en cuanto tiempo la carbonatación alcanzará la armadura.

Las representaciones gráficas de estos cálculos se muestran en la **Figura 2.5**



**Figura 2.5** Gráfica de velocidad de penetración contra tiempo

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

Este método no debe ser aplicado directamente a estructuras con menos de 3 años de vida, en cuyo caso se recomienda dos o más medidas con un intervalo de mínimo 6 meses. Siempre es recomendable hacer más de una evaluación para aumentar la certeza de la información obtenida para poder predecir el comportamiento de la carbonatación, con un desfase de al menos 6 meses.

Adicionalmente, se ha indicado que los valores de  $K_{CO_2}$  de 2 a 3 mm/año<sup>0.5</sup> (en función del recubrimiento) pueden ser considerados como indicadores de elevada resistencia a la carbonatación, mientras que valores de  $K_{CO_2} > 6$  mm/años<sup>0.5</sup> indican hormigones de muy baja resistencia.

### 2.2.5 Penetración de iones cloruro

El objetivo de este ensayo es la determinación de la concentración de los cloruros, totales y libres, presentes en la masa de hormigón a diferentes niveles de profundidad, resultados que permiten el cálculo del coeficiente de difusión aparente del cloruro hacia el interior y con ello la velocidad de penetración del mismo en el tiempo. Esta información, interrelacionada con otras variables, permite analizar el estado actual de la estructura y también permite estimar el tiempo que tardará este ión en alcanzar es refuerzo.

Definiciones:

Cloruros libres: son los solubles en agua y éstos son los que representan un riesgo para el acero de refuerzo al alcanzar niveles críticos y causar su despasivación.

Cloruros enlazados: este es el cloruro combinado a las diferentes fases o compuestos de la pasta de cemento, de los cuales el principal es el aluminato tricálcico.

Cloruros totales: están representados por la sumatoria del cloruro enlazado y en cloruro libre.

Materiales y equipos:

a. De carácter general:

- ❖ equipo de molturación
- ❖ estufa de 0 a 150°C
- ❖ tamices No. 20 y 200 ASTM
- ❖ balanza analítica de precisión
- ❖ plancha calefactora y agitador
- ❖ probeta graduada de 100 ml
- ❖ embudo de filtración
- ❖ vaso de 250
- ❖ matraz aforado de 250 ml y pipetas volumétricas de 5 -10-20 ml(opcionales)
- ❖ Papel de filtro de porosidad media o rápida
- ❖ reactivos: ácido nítrico, nitrato de plata y cloruro de sodio
- ❖ agua destilada

b. De carácter particular, acorde al método de titulación:

- ❖ volumetría: Mohr (titulación directa con nitrato de plata estándar e indicador cromato de potasio) y Volhard (adición de un exceso de nitrato de plata estándar y titulación por retroceso con tiocinato de potasio o amonio utilizando como indicador sulfato férrico amónico hasta coloración rojiza). Se requiere una bureta de 25 ml.
- ❖ potenciometria: requiere un titulador automático de cloruros o un equipo acoplado a electrodo de ión selectivo para cloruros

Procedimiento:

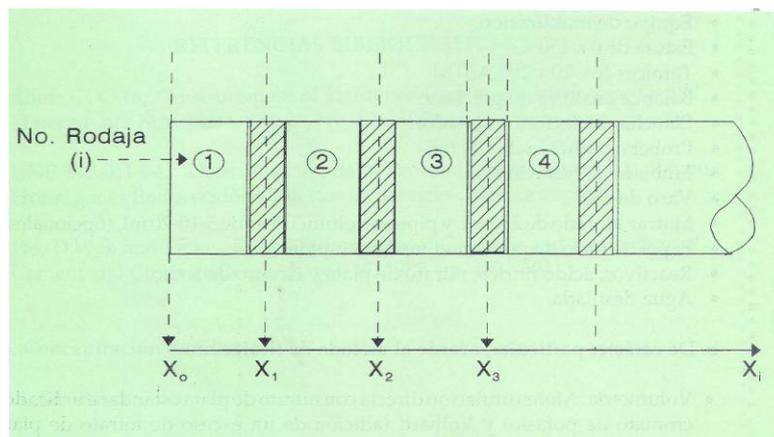
a. Toma de testigo. Los testigos, como ya se indicó, se pueden extraer en piezas cilíndricas utilizando un extractor de testigos o en polvo mediante un taladro. En todos los casos debe minimizarse el número de muestras y consultar a un ingeniero estructural acerca de las zonas de muestreo, para no afectar puntos críticos de la estructura.

A continuación, se detallan las dos técnicas:

- ❖ Extracción de testigos: El diámetro del testigo está relacionado con el tamaño del agregado grueso, recomendándose una relación de 3 a 1. Debe utilizarse la mínima agua posible en la toma de la muestra, puesto que ésta ocasiona pérdida de

cloruros. Una vez tomado el testigo deberá identificarse correctamente y colocarlo en bolsa plástica para protegerlo del medio ambiente, así como ejecutar los ensayos en el menor tiempo posible para evitar cambios en el proceso de difusión de los cloruros.

El testigo (cilindro) se corta con un disco de corte seco en rodajas de 5 a 10 mm, tal como se indica en la figura. Las rodajas se deben triturar antes de someterlas al análisis correspondiente. La primera rodaja puede desbaratar mm a mm cuando se considere necesario.



**Figura 2.6** Corte sobre Núcleo Testigo.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

- ❖ Extracción de muestra en polvo: El hormigón se puede agujerear utilizando un martillo adecuado, acoplado con una broca o un cincel de metal duro. Así se puede retirar material en polvo a diferentes profundidades. Es recomendable la utilización de un equipo que acople una guía que permita llegar a la profundidad a la cual se toma la muestra. Se debe tener especial cuidado para que no se contamine una muestra con la anterior.

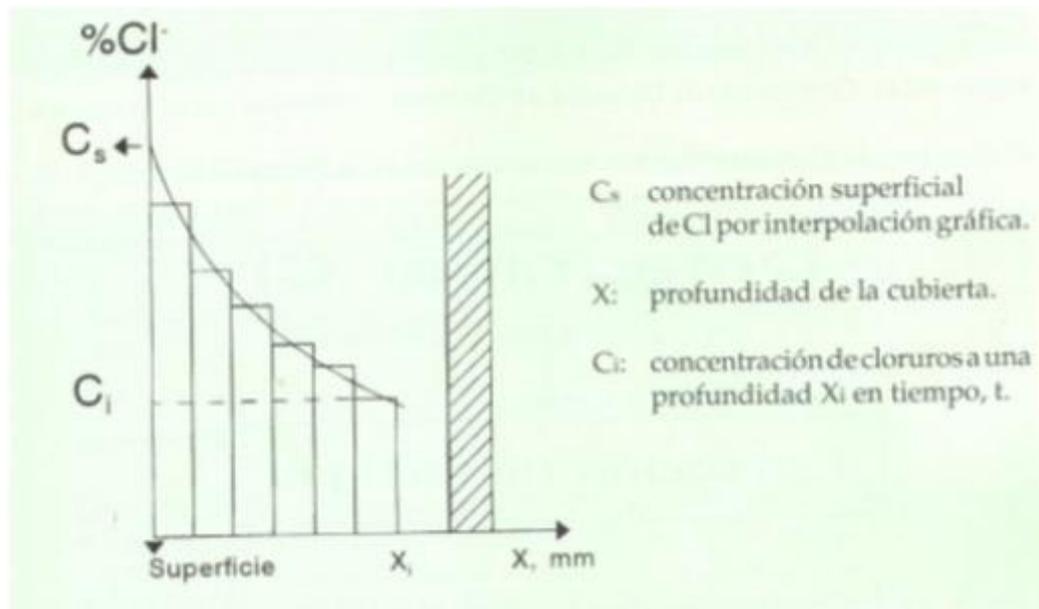
b. Determinaciones.

- ❖ Ensayo: la determinación de los cloruros totales puede ser efectuada con el método ASTM C-1152

La determinación de los cloruros solubles puede ser efectuada de acuerdo con el método ASTM C- 1411

- ❖ Contenido de cloruros: el contenido de cloruros obtenido del ensayo puede expresarse referido al peso de la muestra o al peso de cemento en el hormigón, para lo cual deberá conocerse la composición del mismo.

- ❖ Expresión gráfica de los resultados: el contenido de cloruros se representa gráficamente con respecto a la profundidad de la muestra,  $X$ , con el fin de evaluar el perfil de penetración de los cloruros hacia el interior de la estructura y comparar éste valor límite permisible.

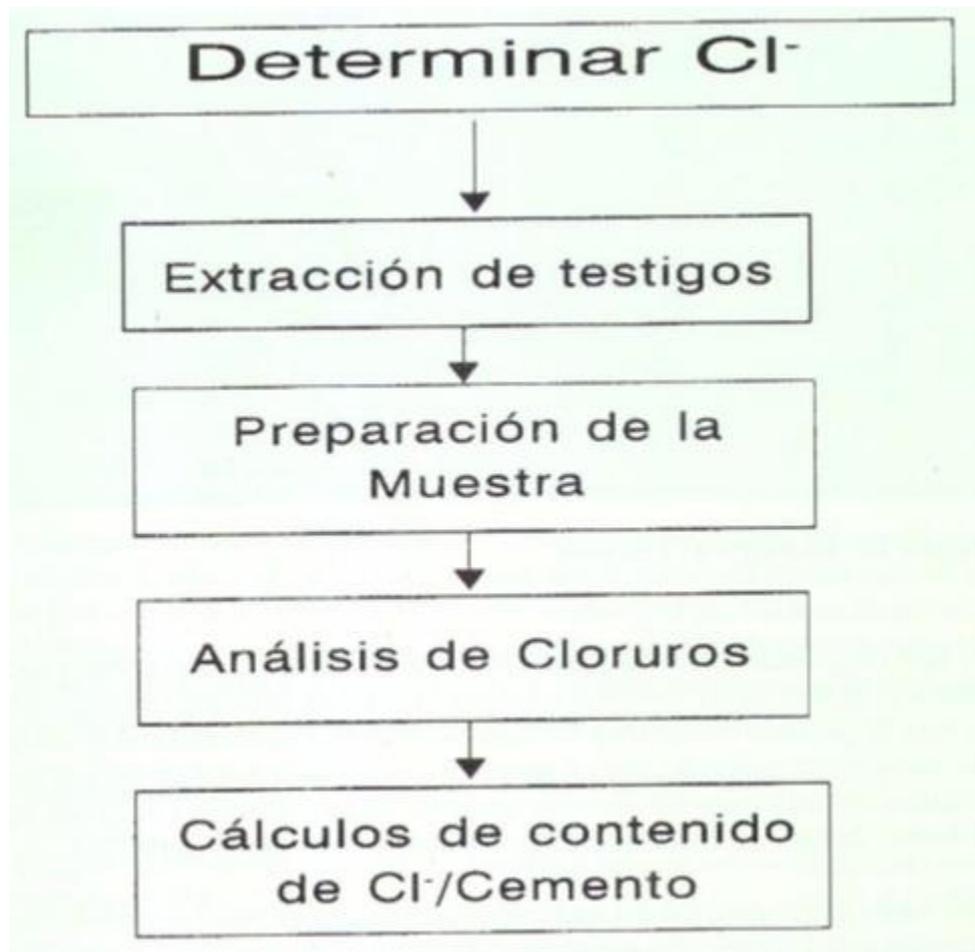


**Figura 2.7** Diagrama de flujo.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

El tipo de gráfica obtenido, línea constante p variable disminuyendo hacia el interior del hormigón, define si los cloruros estaban presentes inicialmente en la mezcla (perfil de cloruro constante) o han penetrado del medio exterior (perfil de cloruros decreciente)

El diagrama de flujo del procedimiento se muestra en la **Figura 2.8**



**Figura 2.8:** Procedimiento para la obtención del diagrama de flujo

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

Evaluación de los resultados

Los valores del contenido en cloruro dan una idea del grado de contaminación y de la evolución posible de daño, pero no se pueden tomar como un límite absoluto sin la interpretación basada en la experiencia del evaluador correspondiente.

Tanto la (NC:272, 2003) como la Red DURAR adoptan como valor límite permisible el de 0.04% de cloruros totales en la relación a la masa de cemento para las estructuras de hormigón armado. Para hormigón pretensado y postesado el límite debe ser de 0.20%. Sobre el particular existe mucha controversia, ya que son los cloruros solubles los que causan la corrosión. Esto significa que el tipo/contenido de cemento y/o aditivos van a cambiar la relación de los Cl solubles a los totales. Por esto muchos técnicos han considerado estos valores como límites permisibles para cloruros solubles.

Es importante resaltar que la concentración de cloruros, aunque supere el nivel límite, no determina por sí sola la posibilidad de riesgo de corrosión o su severidad.

### **2.2.6 Velocidad de absorción capilar y soportividad**

La velocidad de absorción del agua depende no sólo del porcentaje de porosidad efectiva (o sea, la porosidad que tiene acceso al exterior del elemento de hormigón), sino de la tortuosidad, de los cambios de sección y de la interconectividad de los poros capilares. Este ensayo es de utilidad para establecer y comprobar los requisitos de durabilidad tanto en el proceso de diseño de los hormigones a partir de las probetas elaboradas (ISO:1920-3, 2019), así como para los hormigones en las estructuras, a partir de los testigos extraídos (NC:318, 2003).

La absorción de agua de la superficie del hormigón depende de muchos factores, entre los más importantes se encuentran:

- ❖ Las dosificaciones de las mezclas de hormigón;
- ❖ La utilización de aditivos químicos y adiciones activas (Tipo II);
- ❖ La composición y las características físicas de los cementos, las adiciones activas y los áridos;
- ❖ El contenido de aire incorporado;
- ❖ El tipo y la duración del curado;
- ❖ El grado de hidratación del hormigón o su edad;
- ❖ La presencia de tratamientos superficiales, tales como selladores o grasas para el desmolde;
- ❖ El método de vertido de la mezcla, su compactación y la terminación de la superficie. La absorción de agua está también fuertemente afectada por la condición de humedad del hormigón en el momento del ensayo.

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

Objeto:

Determinar la velocidad de absorción de agua (sorptividad) del hormigón hidráulico.

**Términos y definiciones**

Sorptividad

Velocidad de absorción de agua del hormigón en mm/s<sup>1/2</sup> o en m/s<sup>1/2</sup>.

### **Principio**

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

### **Reactivos y materiales**

**Resina epóxica o parafina** para el sellaje de las superficies laterales de la probeta. El material utilizado para el sellaje no requiere un tiempo de curado mayor de 10 minutos.

**Bolsas de polietileno** para almacenaje, con cinta de sellado, lo suficientemente grandes para contener al menos una probeta de ensayo, pero no mayor que cinco veces el volumen de la probeta.

**Toalla de papel o paño**, para secar el exceso de agua de la superficie de la probeta.

### **Aparatos**

**Máquina extractora de testigos** con sus aditamentos (de acuerdo con la norma (NC:318, 2003)).

**Cortadora de probetas** de hormigón (adecuada para obtener un corte uniforme).

**Calibrador o pie de rey** para medir las dimensiones de las probetas hasta el 0,1 mm más cercano.

**Bandejas de laboratorio o cubetas** de fondo plano que sean impermeables al agua de un material resistente a la corrosión y lo suficientemente grande para acomodar las probetas de ensayos apoyadas sobre los cintillos con las superficies a ser ensayadas expuestas al agua.

**Báscula** de plato superior con capacidad suficiente para pesar las probetas de ensayo y con una exactitud como mínimo de  $\pm 0,01$  gramos.

**Dispositivos de soporte, pines, cintillos** de madera, plásticos finos o de cualquier otro material resistente a la corrosión en agua o en soluciones alcalinas, que permita el libre acceso al agua o a la superficie expuesta de la probeta durante el ensayo.

**Cronómetro**, reloj con parada u otro dispositivo de tiempo con exactitud de  $\pm 1$  s.

**Cámara medioambiental**, una cámara con circulación de aire capaz de mantener una temperatura ambiente de  $(50 \pm 2)$  °C y una humedad relativa de  $(80 \pm 3)$  %. Alternativamente se puede emplear una estufa que garantice una temperatura de  $(50 \pm 2)$

0C y dentro un desecador lo suficientemente grande para contener las probetas a ensayar.

La humedad relativa es controlada

en el desecador a  $(80 \pm 0,5)$  % mediante la colocación de agua en su parte inferior que no esté en contacto directo con las probetas.

### **Preparación y conservación de muestras para ensayos y probetas**

La probeta normalizada de ensayo es un disco de  $(100 \pm 6)$  mm de diámetro con un espesor de  $(50 \pm 3)$  mm. Las probetas se obtienen a partir de las probetas cilíndricas normalizadas, elaboradas de acuerdo a la (ISO 1920-3), ya sea mediante perforación o aserrado o a partir de testigos perforados de acuerdo a la (NC: 318,2003), de su parte superior a la inferior. Cuando se toman testigos, deben ser marcados (**Ver NOTA 1**) de manera que la superficie a ser ensayada, relativa a su ubicación original en la estructura, quede claramente indicada. Se garantizará que las probetas tengan en todos los casos paralelismo de las caras. La edad de las probetas a ensayar en todos los casos deberá tener como mínimo 28 días, a menos que específicamente se deseen obtener resultados a edades más tempranas, lo cual debe ser aclarado en el reporte de los ensayos.

**NOTA 1:** La superficie que va a quedar expuesta durante los ensayos no deberá ser marcada, pues se perturbará y se puede modificar la velocidad de absorción de agua de la probeta.

El promedio de los resultados de cómo mínimo dos probetas (**Ver NOTA 2**) constituirá el resultado del ensayo. Las superficies ensayadas, deberán estar a la misma distancia de la superficie original expuesta del hormigón.

**NOTA 2:** El hormigón no es un material homogéneo, además de que la superficie exterior de la probeta de hormigón nunca tiene la porosidad que el interior del hormigón, por lo que las réplicas de las mediciones serán hechas sobre probetas tomadas de la misma profundidad y bajo las mismas condiciones para reducir la dispersión de los resultados.

### **Procedimiento**

Coloque las probetas de ensayo en la cámara medioambiental a temperatura de  $(50 \pm 2)$  0C y una humedad relativa de  $(80 \pm 3)$  % durante 3 días. Alternativamente, coloque las probetas de ensayo en un desecador dentro de una estufa a temperatura de  $(50 \pm 2)$  0C por 3 días. Si se emplea el desecador, controle la humedad relativa en el desecador con agua, pero no permita que las probetas de ensayo contacten con el agua.

Después de los 3 días, coloque cada probeta dentro de una bolsa de polietileno para almacenaje sellable. Utilice una bolsa separada para cada probeta. Se tomarán

precauciones para permitir el libre flujo de aire alrededor de cada probeta con vistas a asegurar un contacto mínimo de la probeta con las paredes de la bolsa.

Almacene la bolsa sellada a  $(23 \pm 2)$  °C como mínimo durante 15 días antes de comenzar con el procedimiento de la absorción.

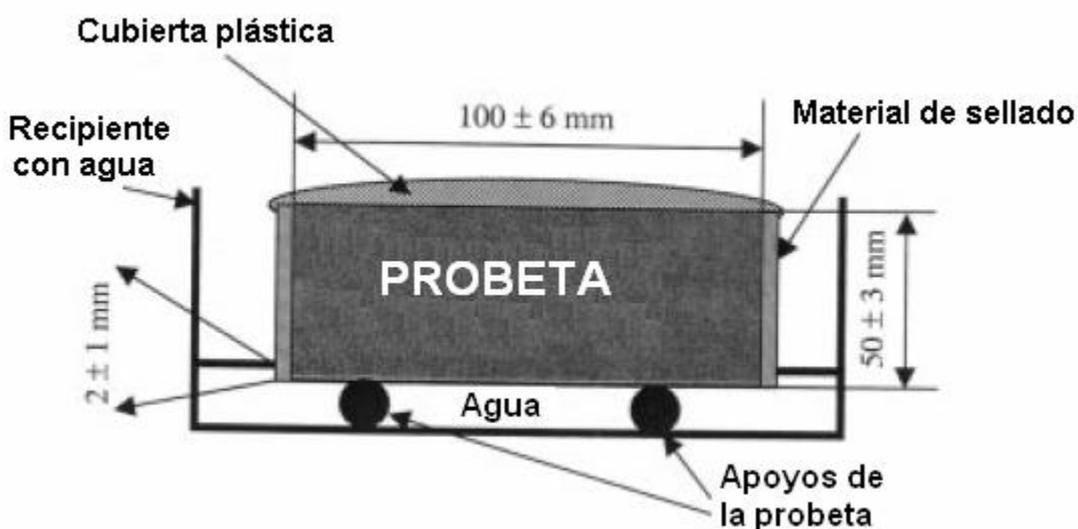
**NOTA 1:** El almacenaje en una bolsa sellada por un mínimo de 15 días da como resultado el equilibrio en la distribución de humedad dentro de las probetas de ensayo y se ha encontrado que garantiza una humedad relativa interna de 50 % a 70 %. Esta humedad es similar a las humedades relativas encontradas cerca de la superficie en algunas estructuras reales.

Extraiga la probeta del recipiente de almacenaje y registre la masa de la probeta acondicionada al 0,01 g más cercano, antes de sellar sus superficies laterales.

Mida como mínimo 4 diámetros de la probeta en la superficie a que va a quedar expuesta al agua. Mida los diámetros al 0,1 mm más cercano y calcule el diámetro promedio al 0,1 mm más cercano.

Selle la superficie lateral de cada probeta con resina epóxica, parafina o un material de sellado apropiado. Selle el extremo de la probeta que no va a quedar expuesto al agua utilizando una liga o banda elástica u otro sistema equivalente (**Ver Figura 2.9**).

Emplee el procedimiento más abajo indicado para determinar la absorción de agua como una función del tiempo. Conduzca el procedimiento de absorción  $(23 \pm 2)$  °C con agua de la pila acondicionada a la misma temperatura.



**Figura 2.9** Esquema de Procedimiento

**Fuente:** (NC: 967, 2013 )

Determine la masa de la probeta sellada al 0,01 g más cercano y regístrela como la masa inicial para los cálculos de la absorción de agua.

Coloque el dispositivo de soporte de la probeta en el fondo del recipiente y llene el recipiente con agua corriente de manera que el nivel de agua esté de 1 mm a 3 mm por encima de la parte superior del dispositivo de soporte durante todo el ensayo.

**NOTA 2:** Un método para mantener el nivel del agua en el recipiente es instalar una probeta llena de agua boca debajo de manera que la boca de la probeta esté en contacto con el agua al nivel deseado 1 mm a 3 mm por encima del dispositivo soporte.

Conecte el dispositivo de medición del tiempo e inmediatamente coloque la superficie de ensayo de la probeta sobre el dispositivo de soporte, registre el tiempo y la fecha del contacto inicial con el agua.

Registre la masa de la probeta después del primer contacto con el agua. Utilizando el procedimiento indicado, el primer punto deberá ser a  $(60 \pm 2)$  s y el segundo punto a 5 min  $\pm 10$  s. Las medidas subsecuentes estarán dentro de  $\pm 2$  min de 10 min, 20 min, 30 min y 60 min. El tiempo real estará registrado dentro de  $\pm 10$  s. Continúe las mediciones cada hora  $\pm 5$  min, hasta las 6 horas a partir del primer contacto de la probeta con el agua y registre el tiempo dentro de  $\pm 1$  min. Después de las 6 h iniciales, tome medidas una vez al día hasta los 3 días, seguido por 3 medidas al menos separadas 24 horas durante los días 4 al 7; tome una medida final que esté como mínimo 24 horas después de la medida a 7 días. El tiempo real de las mediciones deberá ser registrado dentro de  $\pm 1$  min. Esto dará como resultado siete puntos de datos para el tiempo de contacto durante los días 2 al 8.

Para cada determinación de la masa, extraiga la probeta del recipiente, pare el dispositivo medidor del tiempo si el tiempo de contacto es menor de 10 min y seque cualquier superficie mojada con un paño o toalla de papel húmeda. Después de secar el exceso de agua de la superficie, invierta la probeta de manera que la parte húmeda no entre en contacto con el plato de la balanza (para evitar el tener que secar el plato de la balanza). En un intervalo de 15 s de extraer la probeta del recipiente, mida su masa al 0,01 g más cercano. Inmediatamente vuelva a colocar la probeta en el dispositivo soporte y vuelva a conectar el medidor de tiempo.

### **Expresión de los resultados**

La absorción, es el cambio en la masa dividida entre el producto del área de la sección transversal de la probeta de ensayo y la densidad del agua. Para este ensayo la variación

de la densidad del agua con la temperatura es obviada y se utiliza un valor constante de 0,001 g/mm<sup>3</sup>.

Las unidades de *I* (Absorción) son en mm.

$$I = mt/a \cdot d \text{ (mm)}$$

*I*: Absorción (mm)

*mt*: Cambio en la masa de las probetas en gramos, al momento *t*

*a*: Área expuesta de la probeta, (mm<sup>2</sup>)

*d*: Densidad del agua, (0,001 g/mm<sup>3</sup>)

La velocidad inicial de absorción de agua (mm/s<sup>1/2</sup>) se define como la pendiente de la línea que sea el mejor ajuste a *I* plotado contra la raíz cuadrada del tiempo (s<sup>1/2</sup>). Obtenga esta pendiente utilizando el análisis lineal de regresión por los mínimos cuadrados, el análisis de regresión lineal de plotear *I* contra el tiempo<sup>1/2</sup>. Para el análisis de regresión lineal utilice todos los puntos desde 1 min hasta 6 horas, excluyendo los puntos para los tiempos después que el ploteo muestre un claro cambio de pendiente. Si los datos ente 1 min y 6 horas no siguen una relación lineal (un coeficiente de correlación menor de 0,98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad inicial de absorción no puede ser determinada.

La velocidad secundaria de absorción de agua (mm/s<sup>1/2</sup>) se define como la pendiente de la línea que sea el mejor ajuste a *I* plotado contra la raíz cuadrada del tiempo (s<sup>1/2</sup>), utilizando todos los puntos desde 1 día a 7 días. Utilice la regresión lineal por mínimos cuadrados para determinar

la pendiente. Si los datos entre (1 y 7) días no siguen una relación lineal (un coeficiente de correlación de menos de 0,98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad secundaria de absorción de agua no puede ser determinada.

**Precisión:** El coeficiente de variación de la repetibilidad ha sido determinado como el 6,0 % en mediciones preliminares de la absorción por este método de ensayo, para un simple laboratorio y un simple operador. Se requiere la organización de un programa interlaboratorios para desarrollar los valores de repetibilidad y reproducibilidad.

**Sesgo:** El método de ensayo no tiene sesgo, porque la velocidad de absorción de agua determinada sólo puede ser definida en términos del método de ensayo.

### **Informe de ensayo**

El informe de ensayo deberá contener los siguientes datos:

- ❖ Fecha en que el hormigón fue muestreado o colocado;
- ❖ Fuente de la muestra;

- ❖ Información relevante de los antecedentes de la muestra, como por ejemplo la dosificación de la mezcla, la historia del curado, el tipo de acabado y la edad si está disponible;
- ❖ Las dimensiones de la probeta antes de su sellado;
- ❖ La masa de la probeta antes y después del sellado;
- ❖ El ploteo de la absorción  $I$  en mm, contra la raíz cuadrada del tiempo en  $s^{1/2}$ ;
- ❖ La velocidad promedio inicial de absorción de agua calculado hasta el  $0,1 \times 10^{-4}$  mm/ $s^{1/2}$  más cercano y las velocidades iniciales de absorción individual de las dos o más probetas ensayadas;
- ❖ La velocidad promedio secundario de absorción de agua calculado al  $0,1 \times 10^{-4}$  mm/ $s^{1/2}$  más cercano y las velocidades individuales de absorción de dos o más probetas ensayadas.

### 2.2.7 Porosidad

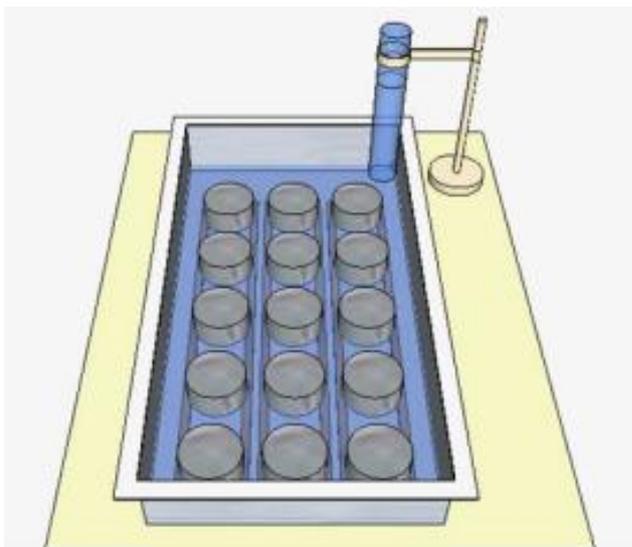
El objetivo del ensayo es determinar la absorción capilar y la porosidad del hormigón como medida de su compacidad. Como porosidad del hormigón, se consideran los espacios vacíos que quedan en la masa de hormigones y morteros producto de la evaporación del agua excedente del amasado o los formados por el aire atrapado durante los procesos de manipulación, vertido y compactación.

Los factores determinantes en la cantidad y tipos de poros son la cantidad de pasta y la relación - agua cemento, es por ello que mientras menor sea la relación agua - cemento menor será la permeabilidad.

- ❖ Procedimiento de ensayo (2011)

Se toma una probeta cilíndrica de 150 mm x 300 mm (que haya sido curada como mínimo 28 días) o un testigo de hormigón de un elemento constructivo de una edificación (extraído de acuerdo al interés del cliente), este es aserrado como una lámina delgada de hormigón o mortero de  $25 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  de espesor tomada del centro de la probeta o del testigo y siempre garantizando que exista paralelismo en sus caras, pre acondicionada a equilibrio de humedad constante. Este equilibrio se logra con un secado a  $60^{\circ}\text{C}$  por aproximadamente 48 horas (hasta peso constante y posterior enfriamiento en un desecador). La superficie de succión de la muestra será la parte aserrada, esta debe estar libre de carbonatación y otras impurezas. Se recomienda cubrir previamente las áreas laterales curvas del espécimen con resina epoxi o parafina. Las probetas ya pre acondicionadas se colocan sobre los extremos de unos cintillos de madera, plásticos finos

o de cualquier otro material (**como se muestra en la Figura 2.10**), dentro de un recipiente estanco que contenga una altura de agua por encima de los cintillos de aproximadamente 5 mm. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llena una probeta de agua y se coloca en posición invertida a 5 mm, de manera tal que la misma quede introducida en el agua, tal como se muestra en la **Figura 2.10** Para la realización de este ensayo se empleará agua potable.



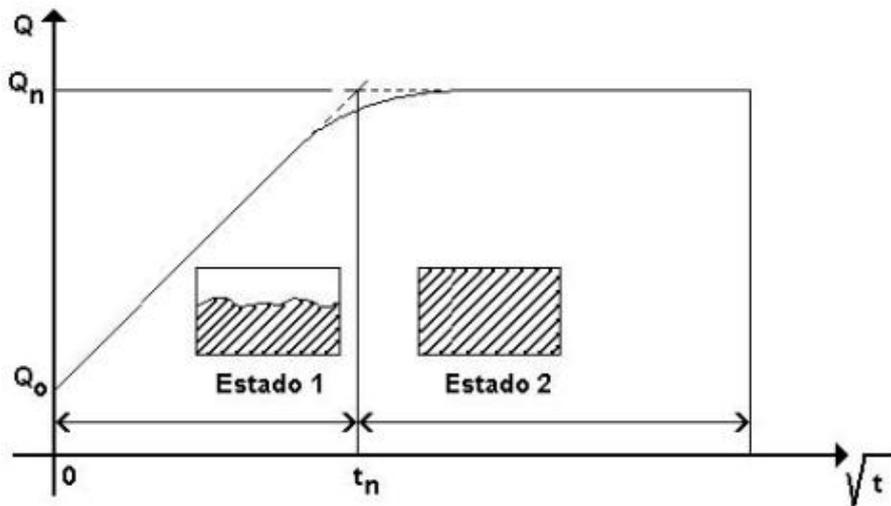
**Figura 2.10** Esquema de bandejas con el ensayo de absorción y la probeta invertida para garantizar una altura constante de agua en la bandeja.

**Fuente:** (Normalización, 2005b)

Las probetas son pesadas antes de ser colocadas en el agua y se volverán a pesar a las edades de (1/12; 1/6; 1/4; 1/2; 1; 2; 3; 4; 6; 24; 48; 72; 96) horas contadas a partir de que comienza el ensayo o su contacto con el agua, estas pesadas se realizan cada 24 horas a partir de las 96 horas hasta que el peso de las mismas sea aproximadamente constante o que el agua ascienda por la capilaridad de la probeta hasta su superficie. Antes de cada pesada se debe secar con un paño (húmedo, limpio, libre de grasas y suciedades) el agua superficial. Este ensayo se debe realizar a temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de  $65\% \pm 5\%$ .

Con los pesos obtenidos a las diferentes edades indicadas se grafica el peso en kilogramos contra la raíz cuadrada del tiempo y se obtiene una curva similar a la Figura 2, si el eje del tiempo está en escala de raíz cuadrada, el punto crítico entre los estados 1 y 2 corresponde al punto cuando el frente de agua ha avanzado hasta alcanzar la parte superior y se considere el valor final de los resultados. Por lo que el estado 1 corresponde al llenado

de agua de todos los poros de gel inicialmente vacíos y los otros poros capilares mientras que el estado 2 corresponde al llenado gradual de los poros inertes o vacíos de aire por un proceso de disolución difusión de aire. Solo interesa el estado 1, pues el estado 2 es de interés en relación a la resistencia a la congelación. Teóricamente si el espécimen actuó como un poro capilar simple, el paso del estado 1 al 2 deberá ser abrupto, pero en realidad es una transición suavizada. La razón es que los materiales heterogéneos (en este caso el hormigón) tienen una distribución de tamaño de poros diferentes que conducen a diferentes porcentajes de penetración por diferentes caminos. Por lo anterior se definirá el Punto Crítico como la Intersección de dos líneas extrapolares.



**Figura. 2.11** Curva típica de absorción de agua obtenida por el ensayo de capilaridad.

**Fuente:** (Domínguez, 2018)

Porosidad efectiva

La porosidad efectiva del hormigón  $\zeta$  se determina como:

$$\varepsilon = \frac{Q_n - Q_0}{A * h * 1000} (\%)$$

Donde:

h: altura o espesor total del espécimen (m2)

Q₀: peso del espécimen al inicio (kg)

Qₙ: peso del espécimen en el punto crítico (kg)

A: área de succión del espécimen (m2).

Para la clasificación de los resultados obtenidos se consulta la NC 120: 2014, documento que expone los valores máximos según el nivel de agresividad, que para nuestro caso se encuentra en la categoría de agresividad muy alta.

Elemento estructural	Categoría de agresividad			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Hormigón armado	10	10	15	15

**Tabla 2.3.** Rango de valores para evaluar la porosidad. (Valores tomados de NC 120: 2014)

**Fuente:** NC: 120 Hormigón Hidráulico. Especificaciones.(2014)

No obstante, también se tuvo en cuenta la evaluación dada en la RED DURAR para este ensayo y que no entra en contradicción con la NC 120: 2014, la cual plantea:

Porosidad (%)	Calidad del hormigón
< 10	Buena calidad y compacidad
10 a 15	Moderada Calidad
>15	Durabilidad inadecuada

**Tabla 2.4.** Rango de valores para evaluar la porosidad según la RED DURAR.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

### 2.2.8 Resistividad del hormigón

La conductividad eléctrica del concreto es un proceso electrolítico que sucede a causa del movimiento de iones dentro de la matriz de cemento. Este movimiento iónico ocurre cuando hay contaminantes, por ejemplo, iones de cloruro o dióxido de carbono, que se introducen en la matriz de la pasta cemento.

Un concreto muy permeable tiene una alta conductividad y una baja resistencia eléctrica. Puesto que la resistividad está en proporción con la circulación de corriente, la medición de resistencia eléctrica en el concreto proveerá pues una medida de la posible velocidad de corrosión. Puesto que la carbonatación afecta seriamente la resistencia de la superficie, las mediciones en la superficie del concreto deben evitarse.

En el caso de esta obra las mediciones de resistividad del hormigón se realizaron con el medidor de resistividad de James, El OhmCorr RM-8000 (**Ver Anexo.3**), que evalúa las dañinas corrientes de corrosión en el concreto, es económico y de fácil manejo, permite

la lectura numérica directa de resistividad, las medidas sacadas desde dos agujeros pequeños evitan los problemas y errores de medidas superficiales.

El medidor de resistividad *OhmCorr*, tiene dos sondas que se separan por 5 cm (1.97”) y que se colocan en dos agujeros taladrados a una profundidad de 8mm (3/8”) y que se llenan con gel conductivo. La resistividad del concreto se muestra por la presentación visual cuando se activa el conmutador de control.(James, 2018)

No existe un acuerdo de carácter general entre los diferentes investigadores acerca del nivel límite de resistividad eléctrica por encima del cual el riesgo de corrosión de las armaduras puede ser considerado despreciable, aunque en la RED DURAR se plantea una variante para determinar el nivel de riesgo por el cual se trabaja.

<b>Resistividad eléctrica (r) (kW.cm)</b>	<b>Riesgo de corrosión</b>
<b>r &gt; 200</b>	Poco riesgo (Bajo)
<b>200 &gt;r &gt; 10</b>	Riesgo Moderado (Moderado a alto)
<b>r &lt;10</b>	Alto riesgo (Alto)

**Tabla 2.5** Criterios de evaluación del riesgo de corrosión según la resistividad eléctrica del hormigón.

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

Debe tenerse en cuenta que la resistividad es sólo uno de los parámetros que controla la velocidad de corrosión del acero de refuerzo en el hormigón, por lo tanto no podrá considerarse como único criterio para definir o prever un posible daño sobre la estructura.

### **2.2.9 Pacometría**

La prueba de pacometría consiste en usar un dispositivo llamado pacometer, que utiliza ondas electromagnéticas de baja frecuencia para ubicar barras de acero dentro del concreto, para estimar su posición en relación con la superficie de la sonda. Además de la posición de las barras, dichos dispositivos, que son portátiles, pueden determinar el grosor de la cubierta e incluso el diámetro de la barra misma. Este dispositivo se basa en el principio de que la presencia de acero afecta el campo magnético de un electroimán. Para usar el dispositivo, debe colocarlo en la superficie de la estructura en la que desea identificar la barra, y moverlo perpendicular a donde se encuentran las barras, haciendo el viaje de ida y vuelta lentamente, sin quitar el dispositivo de la superficie de la estructura

hasta que finalice el procedimiento. Cuando el dispositivo detecta una barra de acero, emitirá una alerta audible y también visual, haciendo una lectura en la pantalla digital del dispositivo, correspondiente al eje de la armadura. Es posible que el analizador no proporcione resultados satisfactorios cuando la estructura contiene una gran cantidad de refuerzo, que, debido a la proximidad de las barras, el dispositivo no puede leer correctamente debido a la interferencia magnética de la barra de acero al lado de otra. Además, el dispositivo tampoco detecta barras superpuestas. La prueba de pacometría es de gran utilidad para detectar posibles patologías debido al recubrimiento de la armadura, ayuda a otros dispositivos no destructivos a realizar sus mediciones, en una especie de combinaciones de prueba, por ejemplo, con las pruebas de ultrasonido y la esclerometría, ya que estos dispositivos si se usan donde hay barras de acero, traerán resultados falsos y pueden generar informes engañosos.

Según (ANDRADE, 2017), las pruebas de pacometría son muy eficientes para identificar la ubicación del refuerzo, sin embargo, la prueba no presenta valores tan precisos como su cobertura y el diámetro del acero. (ANDRADE, 2017), utilizó tres pacometers de diferentes marcas en su estudio, el dispositivo Hilti (PS 50), Proceq (PROFOSCOPE) y Controls, y en su prototipo se analizó la cobertura de refuerzos con diámetros de 8, 10, 12, 5 y 16 mm, El medidor de Hilti mostró resultados inexactos. Tuvo dificultades para detectar las barras, y cuando lo hizo, no mostró un resultado satisfactorio. No se detectaron los refuerzos con un diámetro de 8 mm y 10 mm. La cobertura y el diámetro de las barras de acero también obtuvieron resultados insatisfactorios. 25 50150 mm185 mm-  $\pm 10$  mm  $\pm 4$  mm -Informa el diámetro del acero Máx. detección de acero Precisión Controles Metálicos Comparación técnica Descripción OS 50 (HILTI) Profoscope (PROCEQ) Materiales detectables Detección de metales ferrosos y no ferrosos, cables eléctricos, tubos de plástico, madera y espacios huecos Metálicos Informa la ubicación del acero Informa la cubierta de acero El pacometer Proceq detectó correctamente el refuerzo, con la excepción de las barras de 8 mm de diámetro que no se detectaron. La cobertura detectada fue cercana a la realidad, pero el diámetro no arrojó resultados satisfactorios. Sin embargo, debido a la inexperiencia del usuario y a que es un dispositivo más difícil de manejar, Andrade (2017) no detectó la cubierta y el diámetro de la armadura. En cuanto a la ubicación de las barras de acero, también obtuvo un resultado eficiente.

### 2.2.10 Intensidad y velocidad de la corrosión.

Objetivo: detectar la velocidad a la cual la armadura pierde sección, por corrosión de la misma.

Definiciones:

Se llama velocidad o intensidad de corrosión ( $i_{corr}$ ) a la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo. Las unidades básicas son  $g/cm^2$  día, aunque la forma usual de definirla a partir de medidas de tipo electroquímico es en  $\mu A/cm^2$  o, transformando este dato a partir de la densidad del metal, en unidades de penetración (mm/año)

Equipos y materiales

a. Método. Los potenciostatos/galvanostatos son instrumentos capaces de medir la Resistencia a la Polarización ( $R_p$ ), que se relacionan con la intensidad de corrosión a través de la fórmula de Stern y Geary.

$$R_p = B/i_{corr}$$

B: constante (26-52 mV)

$R_p$ :  $\Omega \cdot cm^2$

$i_{corr}$ :  $\mu/cm^2$

Para ensayos de campo se aconseja el valor de 26 mV, el cual corresponde a armaduras corroyéndose

La  $R_p$  resulta de aplicar una pequeña perturbación eléctrica a las armaduras y medir el cambio de potencial o intensidad que se produce. Esta perturbación no debe causar un cambio mayor de  $\pm 20$  mV.

$$R_p = (\Delta E/\Delta i) \Delta E \rightarrow 0$$

Los valores obtenidos en  $\mu A/cm^2$  se pueden transformar en pérdida de espesor/tiempo mediante la Ley de Faraday

$$\frac{\mu m}{año} = \frac{M}{\delta n \cdot F} i_{corr} = 11.6 i_{corr}; \text{ donde}$$

M= masa atómica del metal

n= No. de electrones transferidos

F= Constante de Faraday (96.500 coulombios)

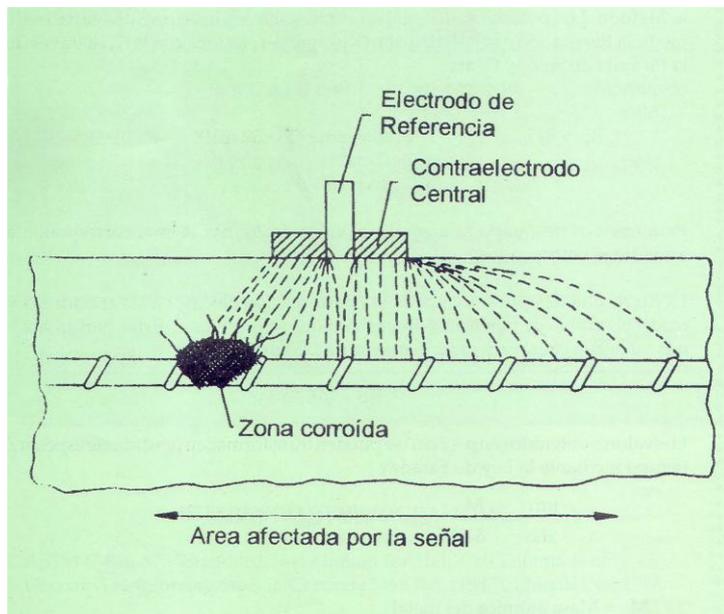
$\delta$  = Densidad del metal

La medida se puede efectuar en probetas de pequeño tamaño y área de acero conocida. Su aplicación a pie de obra exige conocer la longitud de barras sobre la que actúa la corriente. Para ello existen dos posibilidades.

a) Calcular la  $R_p$  "aparente" y aplicar las ecuaciones matemáticas desarrolladas por S. Feliú

Existen corrosímetros comerciales para medidas inmediatas in situ. Sus resultados deben ser calibrados con ensayos en laboratorio si no se tiene la garantía de su correcto funcionamiento. Estos corrosímetros miden simultáneamente el  $E_{corr}$ , la resistividad y la  $i_{corr}$  y constan de los siguientes elementos básicos:

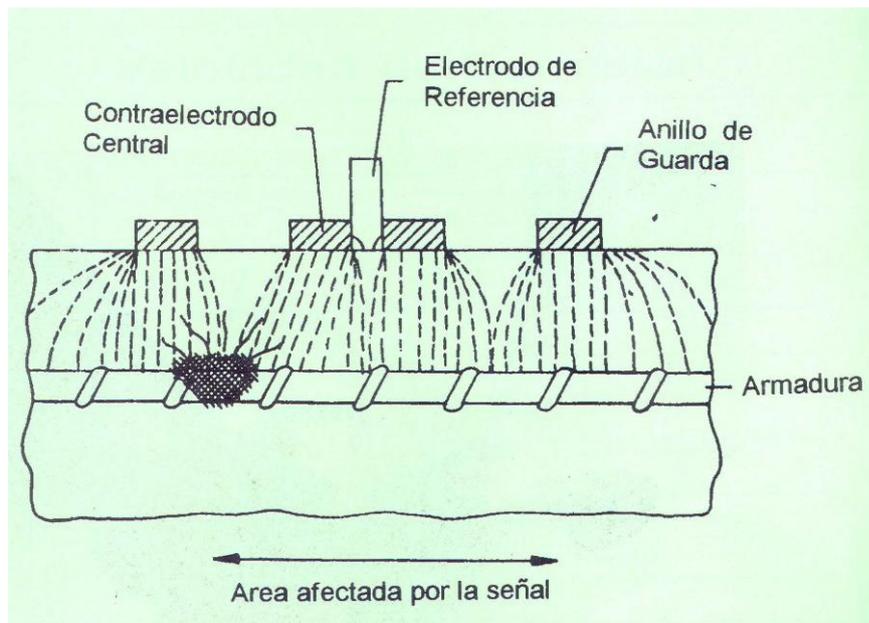
- ❖ Potenciostato/galvanostato
- ❖ Computador
- ❖ Sensor conteniendo electrodos
- ❖ Esponjas, cables, agua, electrodos



**Figura 2.12** Campo eléctrico no confinado

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

b) Usar un sensor que contenga un electrodo de "guarda" monitorizado. Este procedimiento confina el campo eléctrico en una superficie determinada (**Figura 2.13**)



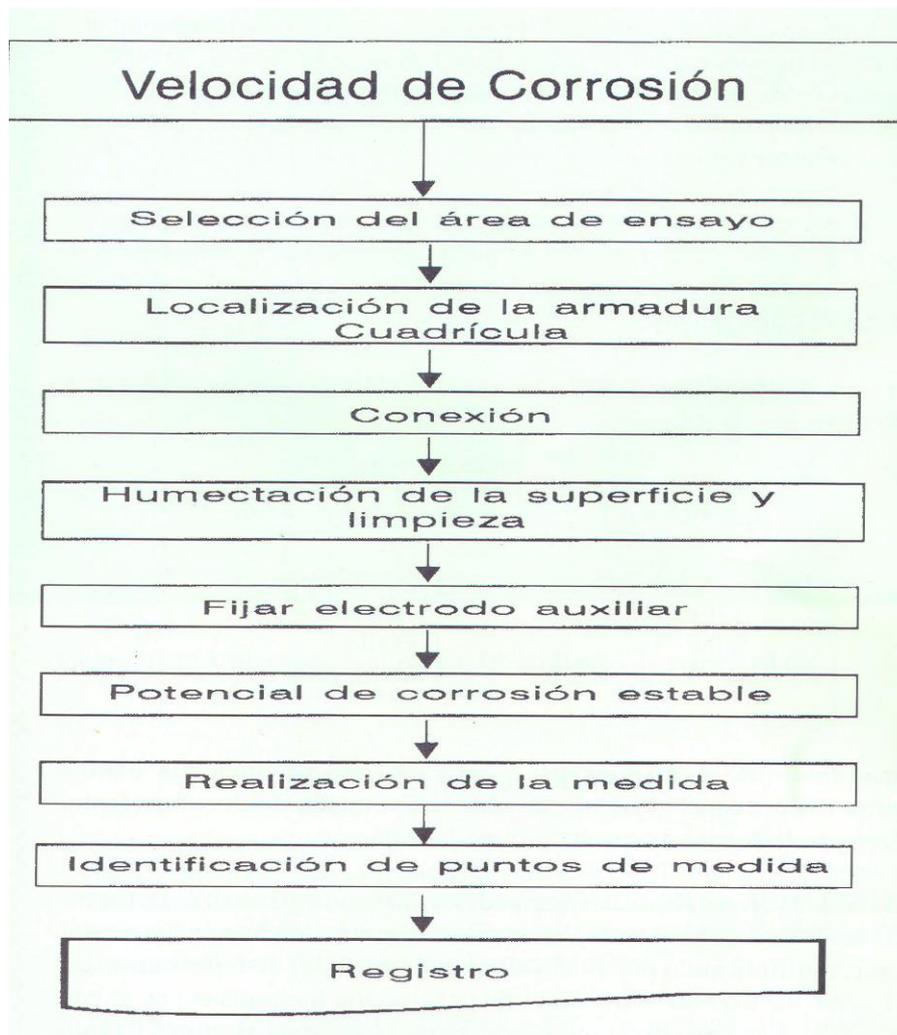
**Figura 2.13** Campo eléctrico confinado

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

Procedimiento:

En las áreas de medida seleccionadas, se realizan una perforación para hacer contacto con la armadura y se sitúa el sensor sobre la superficie del hormigón a través de una esponja y otro medio que asegure un buen contacto. Debido a la variabilidad propia de las medidas de corrosión, se debe adoptar criterios estadísticos de muestreo para tener un valor medio o, al menos detectar las zonas de mayor corrosión. Los criterios de muestreo se adoptan de forma similar a otros tipos de ensayos, después de haber efectuado el levantamiento de daños de la estructura y la localización correspondiente de la armadura. Como además la  $i_{corr}$  varía con el grado de humedad del hormigón y la temperatura, es conveniente realizar, al menos tres medidas a lo largo de un año, con el fin de caracterizar la influencia de las distintas variaciones estacionales. A efectos de predicción se utilizará el valor medio de los datos obtenidos, a no ser que se tengan datos suficientes para efectuar la simple integración que lo largo del tiempo.

El diagrama de flujo en la **Figura 2.14** muestra el procedimiento a seguir.



**Figura 2.14** Diagrama de flujo para la determinación de la velocidad de corrosión

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

#### Criterios de Evaluación

El límite entre corrosión activa y pasividad se sitúa entre  $0,1-0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , que en corrosión generalizada suponen  $1-2\text{mm}/\text{año}$ . Este límite se aplica cuando el proceso da lugar a la formación de herrumbre (óxidos expansivos que fisura el recubrimiento). En el caso de que el óxido sea invisible al ojo humano, velocidades incluso de  $0,5-1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  no dan lugar a fisuración del recubrimiento, al no tener estos óxidos carácter expansivo.

Los valores máximos que se han detectado en ensayos de laboratorio son del orden de  $100-200 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . A pie de obra valores por encima de  $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  se detectan muy ocasionalmente y resultan valores ya elevados en términos de vida útil.

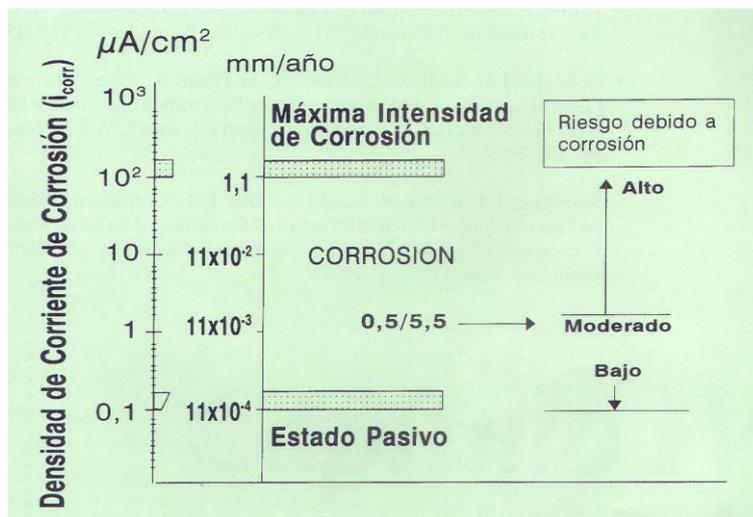
Una clasificación de los valores de  $i_{\text{corr}}$  en términos de vida útil sería la siguiente:

$i_{\text{corr}}(\mu\text{A}/\text{cm}^2)$	Nivel de Corrosión
<0,1	Despreciable
0,1-0,5	Moderado
0,5-1	Elevada
>1	Muy Elevada

Armaduras que se corroen a 0,1-0,2  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  produciendo óxidos expansivos provocarán en 10-20 años la fisuración del recubrimiento. Valores de 1  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ , la producirán en 1-2 años.

Todos estos valores se basan en considerar corrosión generalizada. Cuando la corrosión es localizada se calcula la penetración local del ataque, multiplicando por 10 el valor medio medido. Así, para un valor de  $i_{\text{corr}}$  de 0,3  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  (3  $\mu\text{m}/\text{año}$  de penetración homogénea) se puede calcular que, en caso de ataque localizado, la máxima profundidad que picaduras será que 30  $\mu\text{m}/\text{año}$ .

Los valores de velocidad de corrosión se pueden utilizar también para estimar la pérdida de capacidad portante estructural.



**Figura 2.15** Criterio de evaluación de resultados de velocidad de corrosión de la armadura

**Fuente:** Manual DURAR de la Red CYTED

### **2.3 Ensayos a emplear para la evaluación de los hormigones.**

En los casos que serán analizados en el transcurso de la investigación, los ensayos que se tendrán en cuenta para lograr un resultado a la hora de realizar la analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en edificaciones ubicadas en el Litoral Norte de la ciudad de Matanzas fueron: velocidad de onda ultrasónica, profundidad de carbonatación, concentración de iones cloruros totales, resistividad del hormigón, intensidad y velocidad de la corrosión, resistencia a la compresión y porosidad del hormigón. Solo se tuvieron en cuenta estos ensayos ya que son los realizados por la ENIA, único organismo encargado de llevar a cabo este tipo de investigaciones.

### **2.4 Criterios para la selección de los casos.**

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.

Las edificaciones a estudiar coinciden en su ubicación pues están situadas en el Litoral Norte de Matanzas, además de ser todas de hormigón armado y ser construidas en la primera mitad del siglo XX.

El trabajo está enfocado sobre el hormigón armado, por lo que se estudian los estilos constructivos donde el empleo del mismo sea significativo como son el caso del Neoclásico tardío, el Eclecticismo y el estilo Moderno. Según (SANTANA G. A. & JOA, 2009), estos estilos pueden identificarse por las siguientes características:

- ❖ Neoclásica tardía o académica: cornisas y pretilas, guardapolvos sobre ménsulas de diseño neo renacentista, 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 entrepisos de un hormigón reforzado con varillas o alambrones de hierro o con perfiles metálicos, ocultos por un tabloncillo de madera, el cual servía como encofrado. Preferencia por arcos de medio puntos o rebajados en lugar de vanos adintelados; generalización de medio puntos 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 neo renacentistas. 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 al ras o embutidas en los muros, antepechos de balaustre, preferencia por la pilastra estriada con capiteles corintios, con ménsulas, guardapolvos y entablamentos de muy poco vuelo, confeccionados en yeso aplantillado, 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 neo renacentistas, 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 entrepiso 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 soladura.

Las columnas, igual de hormigón armado, presentaban en casos comunes perfiles 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 embebidos como refuerzo en algunos casos de hierro fundido y en otros, barras de aceros.

- ❖ Modernismo: El período de arquitectura moderna se ve marcado por el uso de la tecnología, encontramos un uso mixto de sistemas monolíticos como los portantes del edificio y los sistemas compuestos como elementos decorativos, ornamentales, de puertas o ventanas. Esta combinación hace posible una mayor expresión del edificio en su tectónica, donde el material y la forma de conjugarlos juegan un papel importante en el mensaje del inmueble.

Ha habido una experimentación más amplia de las posibilidades de conjugación y unión, tanto de materiales nuevos como viejos, exhibir las instalaciones y vigas

de soporte forma parte de la estética y concepto formal y visual, la movilidad y la articulación han hecho de obras de ingeniería civil grandes obras de arte.

La técnica contemporánea se basa en una exploración meticulosa de los recursos técnicos, de la exploración de formas, materiales y las relaciones lógicas y formales entre elementos constructivos que acompaña el incesante progreso tecnológico de este siglo, el uso del acero en las estructuras y en el mobiliario, la perfección en la fabricación del vidrio, incluso el trabajo más perfecto de la madera laminada y de los materiales cerámicos.

Como se plantea anteriormente la ciudad de Matanzas empieza a mostrar su deterioro 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 G. A. & 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.

Para la selección de los casos se analizan las 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 la analogía de las características del hormigón armado de estas estructuras, teniendo en cuenta el estado técnico-constructivo en que se encontraba el edificio, por lo que son valores aceptables y a tener en cuenta.

Para la confección de este epígrafe se tuvieron en cuenta los resultados de los ensayos realizados comúnmente a los materiales de las obras analizadas por la ENIA, como son: el Hotel Kawama, Casa Pilar, Casa Perla, Hotel Velazco, Hotel Oasis, Puente General Sánchez Figueras, Hotel Louvre, Hotel Yara, UEB Rayonitro, siendo estos relacionados fundamentalmente con la degradación del comportamiento de los materiales con el tiempo.

## **2.5 Representatividad de la población y la muestra de la investigación**

Las nueve edificaciones estudiadas son tomadas como muestra representativa de una población de características técnicas-constructivas semejantes, ubicadas todas en Litoral Norte de Matanzas y correspondientes a un mismo periodo histórico, lo cual hace aplicable los resultados de la mayoría de estos ensayos a los demás edificios de la población, estadísticamente.

### **Conclusiones parciales**

1. Se tienen en cuenta los ensayos seleccionados y cada uno de sus criterios de evaluación para la posterior analogía de las características del hormigón de la época.
2. Los ensayos seleccionados para el análisis de los casos estudiados son: velocidad de onda ultrasónica, profundidad de carbonatación, concentración de iones cloruros totales, resistividad del hormigón, intensidad y velocidad de la corrosión, resistencia a la compresión y porosidad del hormigón.
3. La zona costera de Matanzas se encuentra en un estado envejecido, tomándose una muestra representativa de las edificaciones del Litoral Norte, para con el análisis de los ensayos seleccionados realizar una analogía de las características del hormigón de dichas construcciones.

### **Capítulo 3. Análisis de los resultados.**

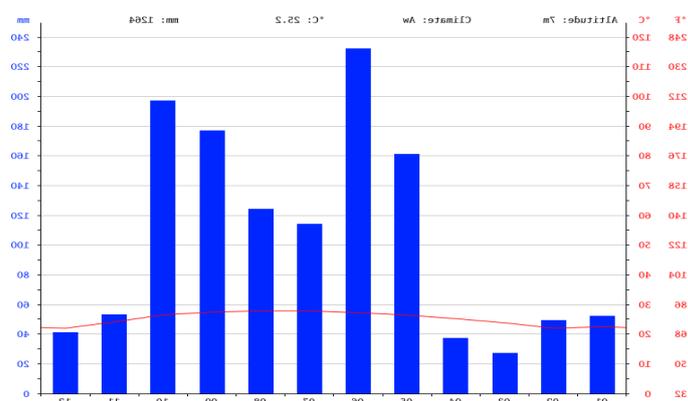
En el presente capítulo se analizan los resultados de los ensayos propuestos al hormigón armado para los casos seleccionados a estudiar, llegando a través de los mismos a la caracterización general del hormigón armado de la primera mitad del siglo XX en edificaciones del Litoral Norte de Matanzas.

#### **3.1 Caracterización medioambiental del litoral norte de Matanzas.**

Bahía de Matanzas. Se trata de una bahía abierta, con su desembocadura más ancha que su seno. Su profundidad es de 546 metros en su boca, por lo que resulta la segunda bahía de Cuba en profundidad. Se encuentra ubicada en la costa norte de la provincia de Matanzas, al este noreste de la ciudad del mismo nombre, en los 23° 05' latitud norte y los 81° 31' longitud oeste. Por el suroeste limita con la sub-región Habana–Matanzas y por el suroeste con las Alturas de Bejucal Madruga Coliseo. Actualmente constituye el enclave portuario más importante de Cuba para el tráfico de supertanqueros portadores de petróleo.

Situada en el seno de la bahía homónima, atravesada por los ríos Yumurí, San Juan y Cañimar, la ciudad de Matanzas fue la primera ciudad moderna de Cuba según los criterios urbanísticos y únicos utilizados en el diseño y fundación. 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.

Para el caso de las lluvias se puede apreciar en el histograma a continuación que se definen dos épocas del año, una seca y una húmeda.

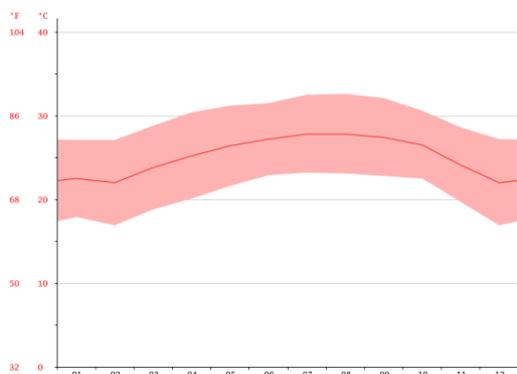


**Gráfico3.1:** Histograma de lluvias en Matanzas.

**Fuente:** (Prado, 2017)

Los vientos predominantes de la zona son del noreste con una velocidad promedio durante todo el año de 35 km/h, estas velocidades se ven afectada ante eventos climatológicos, dígase, huracanes y frentes fríos.

La temperatura de la zona está en correspondencia con la del resto de la provincia, la cual presenta una temperatura promedio de 28.5°C.



**Gráfico 3.2:** Gráfico de temperaturas en Matanzas.

**Fuente:**(Prado, 2017)

En el caso de estudio, según (Prado, 2017), el 74.6% de los días del año son considerados con un 20 % o menos de nubes, por lo que se consideran días soleados.

Algunos de los casos analizados se encuentran ubicados en la Península de Varadero, una zona costera, que sin duda influye en sus edificaciones y su deterioro constante.

### **3.2 Caracterización de los casos de estudio.**

El hoy **Hotel Kawama**, es el más antiguo de los hoteles del balneario matancero que mantiene ofertando sus servicios. Inaugurado en 1931, la instalación que debe su nombre a una especie marina, se caracteriza por su disposición a modo de villa colonial española, con edificaciones de estilo de cantería rodeadas de jardines junto a la franja del mar. (**Ver Anexo 4**).

La **Casa Pilar** fue construida en la década del 30 del siglo pasado, específicamente en el año 1939. Su función original fue como vivienda de descanso del Presidente de la República en esta etapa. Ahora pertenece al Consejo de Estado y su función es como casa de alojamiento. Dicha edificación, que cuenta ya con 70 años de explotación, se encuentra ubicada en un medio de alto grado de agresividad por su cercanía al mar, el cual ha provocado el deterioro progresivo del inmueble. (**Ver Anexo 5**)

La **Casa Perla** ubicada actualmente en la primera línea de playa en la parte trasera del hotel Mercure Cuatro Palmas situado en Primera Avenida entre las calles 60 y 64 ocupa un área de 17 000 m<sup>2</sup> aproximadamente. La misma fue propiedad de la familia Azqueta,

el proyecto corrió a cargo de los arquitectos Aquiles Capablanca y Antonio Santana, siendo terminada en el año 1945. En 1946 la obra obtuvo el premio Medalla de Oro del Colegio de Arquitectos de Cuba. Su función original fue la de ser utilizada como vivienda. En las últimas décadas del siglo pasado sufre transformaciones en su estructura para utilizar la segunda planta como habitaciones de confort. Actualmente la casa, aloja funciones de hospedaje para administrativos, personal de apoyo y personal del sistema de protección del hotel, mostrando un elevado nivel de deterioro de la estructura, exhibiendo abundantes manchas de humedad y corrosión de los aceros. Dicha edificación, que cuenta ya con 65 años de existencia, se encuentra ubicada en un medio de alto grado de agresividad por su cercanía al mar, el cual junto a una mala preservación de la casa y el paso del tiempo ha provocado el deterioro progresivo de la misma. **(Ver Anexo 6)**

El **Hotel Velasco** fue construido a principios del pasado siglo, específicamente en el año 1902, el nivel 0 y terminado en el 1920 el nivel +1, el mismo se encuentra ubicado en el centro de la Ciudad de Matanzas. La estructura de hormigón armado salva una luz de 21.00 m y está constituida por columnas, vigas y losa, los cuales fueron diseñados en un inicio para 8 niveles y al final se quedó de 2 niveles. El paso del tiempo, la falta de un plan de mantenimiento periódico, trajo como consecuencia un deterioro progresivo de esta estructura en la última crujía del Objeto en cuestión. **(Ver Anexo 7)**

El **Hotel Oasis** fue construido en el año 1956, a partir del sistema constructivo tradicional. **(Ver Anexo 8)**

El **Puente “General Sánchez Figueras”** fue construido a principios del pasado siglo, específicamente en el año 1916 y salva el obstáculo natural del Río San Juan comunicando a Matanzas con el barrio de Pueblo Nuevo. La estructura de hormigón armado salva una luz de 50 m y está construida por dos arcos que soportan un entramado formado por 25 vigas secundarias y dos vigas principales por medio de 10 pares de tensores. Las complejas condiciones ingeniero-geológicas condujeron a una cimentación profunda mediante pilotes de madera hincados hasta una profundidad de 6 m en ambos apoyos. **(Ver Anexo 9)**

El **Hotel Louvre** queda ubicado actualmente frente al Parque de la Libertad, antigua Plaza de Armas, sito en la calle Milanés número 47 en la ciudad de Matanzas.

Fue construido inicialmente para ser utilizada como vivienda. En 1904 se realiza la adaptación de esta para ser utilizada como hotel. El Louvre, desde 1879 se había ubicado en diferentes inmuebles dentro de la ciudad, ganando en prestigio por la belleza de su mobiliario, de su vajilla, su cristalería y por el confort de sus habitaciones.

Antes de convertirse en hotel, este inmueble tuvo varios propietarios, que aparecen en orden cronológico como sigue:

- ❖ Antes de 1917, Juan Escalante y sobrinos
- ❖ En 1917, Alfredo Arriaga, abogado e ingeniero industrial
- ❖ En 1922, Vicente Monchoi, director del Liceo de Matanzas
- ❖ En 1933, asume la dirección del hotel, Antonio Palacios y Cía
- ❖ En 1959, Es intervenido por el gobierno revolucionario, al triunfo de la Revolución

En 1980 fue cerrado, reabriendo sus puertas al público en 1985, totalmente remozado. En ese entonces, es considerado como el único hotel del país, con características coloniales, que conjuga la arquitectura del edificio, mobiliario, y los objetos decorativos que poseía. Sus salones estaban decorados con obras artísticas de pintores relevantes como Gil García, Domingo Ramos y Gilberto Frometa. Actualmente el Louvre, aloja funciones gastronómicas, mostrando un elevado nivel de deterioro y colapsos localizados de la estructura, exhibe abundante filtración de los sistemas hidráulicos, sanitarios, pluviales. Muestra, la falta de mantenimiento oportuno. **(Ver Anexo 10)**

El **Hotel Yara** se encuentra ubicado en el Centro Histórico Urbano de la Ciudad de Matanzas. El mismo se sitúa en una de las arterias principales de la ciudad y adyacente al Parque de la Libertad, antigua Plaza de Armas, sito en calle Contreras, número 45 e/t Ayuntamiento y Jovellanos. La construcción actual, que data del año 1884, fue construida inicialmente para ser utilizada como vivienda. En 1945 se realiza la adaptación de esta para ser utilizada como hotel, cumpliendo esta función hasta que fue cerrado. La planta baja fue utilizada como sede de UGDC #1 de la Empresa de Servicios e Ingeniería de Matanzas durante la primera década de este siglo. **(Ver Anexo 11)**

**UEB Rayonitro** la ubicación de este objeto corresponde con una zona de agresividad corrosiva Alta, ya que se encuentra en el rango de 1 a 3 km de la costa norte de nuestro país. En marzo de 2012 la Unidad de Investigaciones para la Construcción de Matanzas realiza un dictamen estructural, en cual se describen las lesiones y daños que presenta la edificación, con su correspondiente grado de afectación, así como las posibles causas y soluciones a los problemas que presentaba. **(Ver Anexo 12)**

En el estudio anterior se expresaba: “Las evidencias nos muestran que la nave de materias primas y productos terminados se encuentran en una situación de emergencia pues dos de sus elementos presentan evidencias de fallos estructurales con peligro real de colapso. No obstante, al hacer un análisis global del problema se puede apreciar que estos elementos

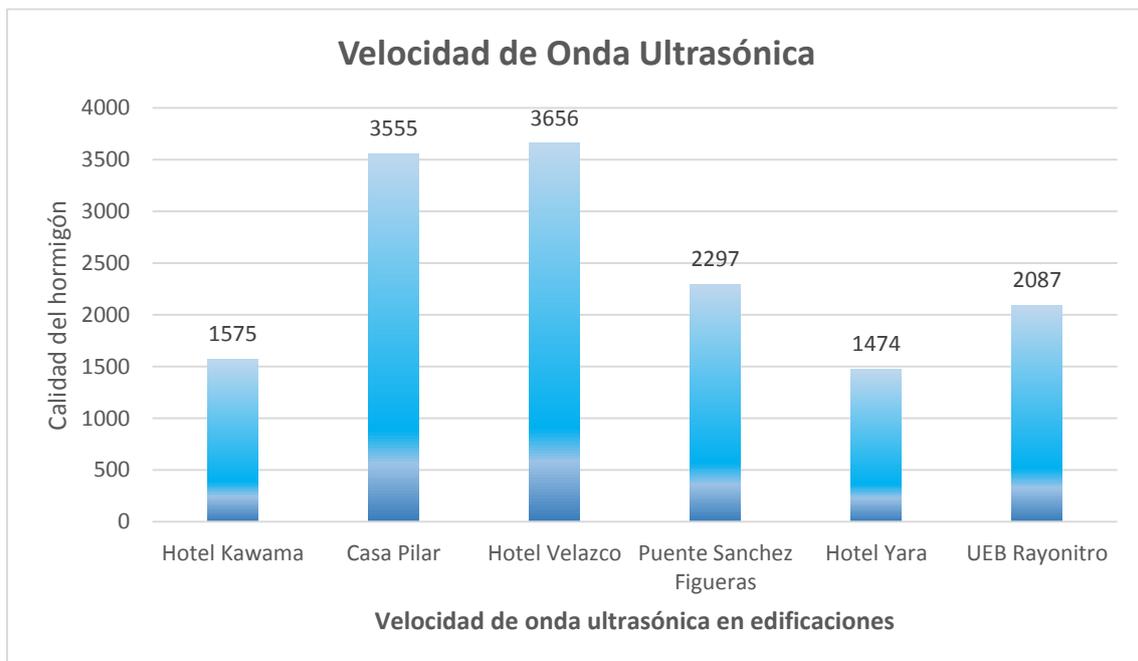
representan solamente el 5 % de la estructura portante. Del 95 % restante la mitad (47.5 %) requeriría solo trabajos menores de reparación y la otra parte (47.5 %) demandaría mayores niveles de intervención.”

### 3.3 Análisis del hormigón a partir de los ensayos realizados.

Teniendo en cuenta los resultados de los ensayos realizados por la ENIA y comparándolos con las normas establecidas de durabilidad se realiza una tabla comparativa que expone todos los valores de dichos ensayos (**Ver Anexo 13**), todos ellos aportando valor a la caracterización del hormigón de la época.

#### 3.3.1 Velocidad de la onda ultrasónica

Los resultados obtenidos del ensayo velocidad de la onda ultrasónica realizados en los casos de estudios reflejan los siguientes valores:



**Gráfico 3.3** Velocidad de onda ultrasónica

**Fuente:** Elaboración propia

Edificaciones	Calidad del Hormigón
Hotel Kawama	Deficiente
Casa Pilar	Alta
Casa Perla	-
Hotel Velasco	Alta

Hotel Oasis	Deficiente
Puente Sánchez Figueras	Normal
Hotel Louvre	-
Hotel Yara	Deficiente
UEB Rayonitro	Normal

**Tabla 3.1** Calidad del hormigón según la velocidad de onda ultrasónica.

**Fuente:** Elaboración propia

Estos ensayos realizados a estas edificaciones nos permiten llegar a la conclusión que la calidad del hormigón es deficiente.

### 3.3.2 Porosidad del hormigón

Mediante los ensayos de porosidad del hormigón se pudieron obtener los siguientes resultados:

Edificaciones	% de Porosidad	Calidad del hormigón
Hotel Kawama	17%	Inadecuada
Casa Pilar	Por debajo del 10%	Buena compacidad
Casa Perla	Entre 17 y 21%,	Inadecuada
Hotel Velasco	Por encima 15%	Inadecuada
Hotel Oasis	-	-
Puente Sánchez Figueras	Por encima 15%	Inadecuada
Hotel Louvre	18,33%	Inadecuada
Hotel Yara	19%	Inadecuada
UEB Rayonitro	Por encima 15%	Inadecuada

**Tabla 3.2** Calidad del hormigón según la porosidad del hormigón.

**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados anteriores reflejan un hormigón de alto índice de porosidad, por lo que se puede concluir que el hormigón tiene una inadecuada calidad y durabilidad.

### 3.3.3 Profundidad de carbonatación

Al analizar los ensayos de la profundidad de carbonatación en los casos objetos de estudios se obtuvieron los siguientes valores:

Edificaciones	Calidad del hormigón
---------------	----------------------

Hotel Kawama	Inadecuada
Casa Pilar	Adecuada
Casa Perla	Adecuada
Hotel Velasco	Inadecuada
Hotel Oasis	Adecuada
Puente Sánchez Figueras	Inadecuada
Hotel Louvre	Adecuada
Hotel Yara	Inadecuada
UEB Rayonitro	Adecuada

**Tabla 3.3** Calidad del hormigón según la profundidad de carbonatación.

**Fuente:** Elaboración propia.

El ensayo nos da un hormigón de adecuada calidad.

### 3.3.4 Concentración de cloruros totales

Edificaciones	Concentración de cloruros totales	Calidad del hormigón
Hotel Kawama	-	-
Casa Pilar	< 0.05 %	Adecuada
Casa Perla	<0.05 %	Adecuada
Hotel Velasco	<0.05 %	Adecuada
Hotel Oasis	-	-
Puente Sánchez Figueras	>0.05 %	Inadecuada
Hotel Louvre	-	-
Hotel Yara	-	-
UEB Rayonitro	>0.05 %	Inadecuada

**Tabla 3.4** Calidad del hormigón según la concentración de cloruros totales.

**Fuente:** Elaboración propia.

El ensayo de concentración de cloruros totales nos muestra un hormigón de adecuada calidad.

### 3.3.5 Resistividad del hormigón

El ensayo de resistividad del hormigón refleja los siguientes resultados:

<b>Edificaciones</b>	<b>Resistividad del hormigón</b>
Hotel Kawama	-
Casa Pilar	Alto riesgo
Casa Perla	-
Hotel Velasco	Riesgo moderado
Hotel Oasis	Riesgo moderado
Puente Sánchez Figueras	Riesgo moderado
Hotel Louvre	-
Hotel Yara	Riesgo moderado
UEB Rayonitro	Alto riesgo

**Tabla 3.5** Resistividad del hormigón

**Fuente:** Elaboración propia.

El ensayo de resistividad del hormigón nos refleja un hormigón de una resistividad moderada.

### 3.3.6 Intensidad y velocidad de la corrosión

Este ensayo solo se le realiza al Puente Sánchez Figueras y a la UEB Rayonitro, obteniendo el mismo resultado en ambos casos: riesgo moderado, es representativo pues el puente data de 1916 y la Rayonitro de 1961, o sea en todo el periodo se comporta igual.

### 3.3.7 Resistencia a la compresión.

Los ensayos de resistencia a la compresión reflejan los siguientes valores:

<b>Edificaciones</b>	<b>Resistencia a la compresión</b>	<b>Calidad del hormigón</b>
Hotel Kawama	18 MPa	Baja
Casa Pilar	20,24 MPa	Media
Casa Perla	18,7 MPa	Baja
Hotel Velasco	12.57 MPa	Baja

Hotel Oasis	-	-
Puente Sánchez Figueras	8,89 MPa	Baja
Hotel Louvre	14,46 MPa	Baja
Hotel Yara	21,16 MPa	Media
UEB Rayonitro	16,70 MPa	Baja

**Tabla 3.6** Resistencia a la compresión

**Fuente:** Elaboración propia.

El ensayo resistencia a la compresión muestra un hormigón de muy baja calidad.

### **3.4 Realización de la analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX en estructuras ubicadas en el litoral norte de Matanzas.**

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, esto se puede verificar comparando los valores de los ensayos con los de las normas vigentes.

La dosificación que se usaba para la confección del hormigón era volumétrica, y no gravimétrica como en la actualidad, dándose como resultado una mala compacidad del hormigón debido a las malas relaciones de materiales, especialmente la relación agua cemento.

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 conceso, usándose lo mismo varillas que alambrones 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.

<b>Ensayos</b>	<b>Calidad del hormigón</b>
Velocidad de la onda ultrasónica	Inadecuada
Porosidad del hormigón	Inadecuada
Profundidad de carbonatación	Adecuada
Concentración de cloruros totales	Adecuada
Resistividad del hormigón	Moderada

Intensidad y velocidad de la corrosión	Moderada
Resistencia a la compresión	Inadecuada

**Tabla 3.7** Calidad del hormigón.

**Fuente:** Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos podemos concluir que el hormigón de la época presenta alto grado de porosidad, una baja resistencia a la compresión y una baja densidad y durabilidad.

**Conclusiones parciales.**

1. El Litoral Norte de Matanzas es una zona altamente agresiva, reflejándose en las edificaciones con el paso del tiempo.
2. Las edificaciones que se analizan todas coinciden en el mismo período histórico, además de estar ubicadas en el Litoral Norte de la provincia de Matanzas y estar construidas de hormigón armado.
3. Los análisis de los resultados de los casos de estudio muestran el deterioro de las edificaciones y la mala calidad del hormigón de la primera mitad del siglo XX.

## **Conclusiones**

1. El estudio de fuentes bibliográficas permite conocer los antecedentes del hormigón armado, su desarrollo a lo largo del tiempo y cómo se ha convertido en el material versátil y más difundido que es hoy en día.
2. Se utilizaron los ensayos propuestos por las normas cubanas y la RED DURAR para evaluar la durabilidad y la calidad del hormigón de las obras objetos de estudio.
3. Mediante la comparación de los resultados de cada uno de los análisis realizados en cada edificación objeto de estudio se llega a la analogía de las características del hormigón de la primera mitad del siglo XX, el cual presenta un alto nivel de porosidad, una baja resistencia a la compresión, y una baja densidad y durabilidad.

## **Recomendaciones**

- 1.** Implementación de nuevos ensayos por parte de la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) para profundizar aún más en la analogía de las características de hormigón armado.
- 2.** Aumentar el número de muestra de edificaciones en futuras investigaciones para lograr una mayor representatividad en la zona estudiada.
- 3.** Aumentar el número de investigaciones de este tema por parte de la Universidad Sede “Camilo Cienfuegos” .

## Bibliografía

2011. NC: 345. Hormigón endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad. *In: NORMALIZACIÓN*, O. N. D. (ed.). La Habana, Cuba.
2014. NC: 120. Hormigón Hidráulico Especificaciones. *In: NORMALIZACIÓN*, O. N. D. (ed.). La Habana, Cuba.
2015. NC: 724. Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido. *In: NORMALIZACIÓN*, O. N. D. (ed.). La Habana, Cuba.
- 15686-1, I. 2011. Building and constructed assets- Service life planning- Part 1: General principles and framework.
- AGUIRRE, A. M., R. MEJÍA DE GUTIÉRREZ 2013. Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. 63, 309, 7-38.
- ANDRADE, G. M. R. D. C. U. D. B. U. 2017. Avaliação do desempenho da precisão de diferentes equipamentos para realização dos ensaios não destrutivos de pacometria. Trabalho de conclusão de curso. .
- ARQHYPPLUS. 2016. Historia del hormigón armado
- ARQHYSARQUITECTURA 2018. Historia del Hormigón Armado.
- BERTOLINI, L. E., B.; PEDEFERRI, P.; POLDER, R.: WEINHEIM 2004. Corrosion of Steel in Concrete, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.,
- CALAVERA, J. 2010. Patología de las estructuras de hormigón armado contenido en basa No 4. Editorial Internacional España. España. Construmatica. .
- CARCAÑO, R. G. S., MORENO, É. I. & BORGES, P. C. 2005. Durabilidad en la estructura de concreto de vivienda en zona costera. *Ingeniería*, 9, 13-18.
- COLINA, H. J. 2019. Propuestas de ensayos al hormigón armado en estructuras patrimoniales según su estado técnico-constructivo.
- CORDERO, Á. F. N., MARÍA JESÚS RETANA MAQUEDA Y TERESA RUIZ ABRIO 2012. SEPARATA: EL HORMIGÓN: HISTORIA, ANTECEDENTES EN OBRAS Y FACTORES INDICATIVOS DE SU RESISTENCIA. X.
- COTECNO, S. F. 2019. *Esclerometría* [Online]. Available: <https://cotecno.cl/producto/esclerometro-martillo-schmidt/>.
- CYTED, P. I. D. C. Y. T. P. E. D. 1997. RED DURAR. Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado.
- DAZA, L. 1996. Methodology to evaluate existing reinforced concrete frames under earthquake loads. Universidad de Puerto Rico. Mayaguez. Puerto Rico.
- DIAZ BENITO, B. V., F;GUZMAN S;CALABRES,R 2011. Estudio mediante AFM de la corrosión de aceros en disoluciones de fase acuosa del hormigón 61.
- DOMÍNGUEZ, R. 2018. DIAGNÓSTICO DE LA ESTRUCTURA A PARTIR DEL COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO Y FÍSICO-MECÁNICO DE LOS MATERIALES QUE LA COMPONEN. CASO DE ESTUDIO: ESPIGÓN LA MACHINA, TERMINAL DE CRUCEROS SIERRA MAESTRA.
- ENIA. 2020. *Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA)* [Online]. Available:

<http://www.ecured.cu/UnidaddeInvestigacionesparalaConstruccióndeMatanzas>.

- GUERRA, E. A. 2016. *PROGRAMA DE INTERVENCIÓN PARA LAS EDIFICACIONES DE LA COMUNIDAD COSTERA 28 DE OCTUBRE, DEL MUNICIPIO DE MARTÍ*. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”.
- HERNÁNDEZ, C. J. A., JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ SANTANA 2015. *HORMIGÓN ESTRUCTURAL DISEÑO POR ESTADOS LÍMITES*
- HERRERA, D. I. 2015. Comportamiento de los factores que influyen en la durabilidad de hormigones elaborados con áridos reciclados a la edad de 360 días.
- HOWLAND, A. D. I. J. J. 2012. Desempeño por Durabilidad de las Estructuras de Hormigón. *Departamento de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería Civil Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”*, 196.
- ISO 6275, O. N. D. N. 2005. NC ISO 6275: “Hormigón endurecido. Determinación de la densidad”.
- ISO:1920-3 2019. Testing of concrete- Part 3: Marking and curing test specimens.
- JAMES 2018. OHMCORR RM-8000
- MARTIN, R. N. M. 2007. *“PATOLOGIAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO APLICADO A MARQUESINA DEL PARQUE SAVAL”*. Universidad Austral de Chile.
- MARTINEZ, A. G. 2017. *TECNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT) APLICADAS A LA REPARACION DE ESTRUCTURAS DE UAVs CIVILES MEDIANTE RE-INFILTRACION*. valencia.
- MARTÍNEZ, J. & JULIETTEH, Y. 2013. *Análisis patológico y propuesta de recuperación del antiguo edificio del Instituto Nacional de Oriente (INDO) de la ciudad de Granada, Nicaragua*. Universidad Centroamericana.
- MEHTA, P. K. M., P. J. M.: MCGRAW HILL, 2006. *Concrete Microstructure, Properties, and Materials*, .
- MENDOZA, J. M. C., P 2012. Durabilidad de las estructuras de hormigón armado.
- MINGO, F. L. R. V. R. R. J. S. C. A. I. T. G. P. U. 2004. *Manual de patología de la edificación*.
- NC 244, O. N. D. N. 2005. “Hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a la compresión en probetas cilíndricas”). .
- NC 245, O. N. D. N. 2003. “Hormigón. Ensayo a flexión”.
- NC 329, O. N. D. N. 2004. “Resistencia del hormigón a tracción indirecta (Método brasileño)”). .
- NC 355, O. N. D. N. 2004. NC 355: 2004. DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN HORMIGONES ENDURECIDOS Y PUESTOS EN SERVICIO.
- NC:182, O. N. D. N. 2002 NC:182 Determinación del material más fino que el tamiz de 0.74mm(No.200). Métodos de ensayos.
- NC:231, O. N. D. N. 2002. NC 231 “Determinación, interpretación y aplicación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón”). .
- NC:246, O. N. D. N. 2003. “Determinación de la resistencia a compresión del hormigón por medio de esclerómetros tipos N y NR”).
- NC:272, O. N. D. N. 2003. Hormigón endurecido, cemento y áridos. Determinación de cloruro total por valoración potenciométrica

- NC:318, O. N. D. N. 2003. Hormigón endurecido. Extracción y preparación de testigos cilíndricos (ASTM C 42-94, MOD).
- NC: 251, O. N. D. N. 2005. NC:251 Áridos para hormigones. Requisitos.
- NC: 724, O. N. D. N. 2015. NC: 724 Ensayos del hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.
- NC: 967, O. N. D. N. 2013 NC: 967 Velocidad de absorción de agua (SORPTIVIDAD).
- NORMA ASTM C805 2016. Determinación del índice de rebote o esclerometría.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2005a. NC 250: 2005. REQUISITOS DE DURABILIDAD PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2005b. NC 345: 2005. HORMIGÓN ENDURECIDO - DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD.
- NORMALIZACIÓN, O. N. D. 2013. NC 959 Edificaciones y obras civiles. Ciclo de vida.
- OLIVERA, A. B. 2019. Propuestas de acciones ingenieras para la conservación de la Soc. Foc. "Calixto García Íñiguez" de Matanzas.
- PRADO, L. N. 2017. PROPUESTA DE LINEAMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA VIVIENDAS EN TERRAZAS ROCOSAS BAJAS. CASO DE ESTUDIO LITORAL NOROCCIDENTAL DE MATANZAS.
- SANTANA G. A. & JOA, L. J. 2009. Matanzas, La Atenas de Cuba.
- TOBÓN, G. R. R. W. A. C. E. D., . 2015. Diseño de sistema de monitoreo remoto para evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado sometidas a ion cloruro.
- TRAVERSA, L. P. 2012. Durabilidad de las estructuras de hormigón armado: Anales LEMIT. Serie III, Año 1, nº 2.
- VALCÁRCEL, J. P. 2016. Patología de Estructuras de Hormigón Armado.

## Anexos

### Anexo 1 Esclerómetro



**Fuente:** (COTECNO, 2019)

### Anexo 2 Pruebas con esclerómetro en la base de una columna y en la pared de un túnel



**Fuente:** (COTECNO, 2019)

**Anexo 3. Medidor de resistividad OhmCorr RM-8000 de James**



**Fuente:** (James, 2018)

**Anexo 4. Hotel Kawama**



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2017)

**Anexo 5. Casa Pilar**



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2017)

**Anexo 6.** Casa Perla



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2011)

**Anexo 7.** Hotel Velasco



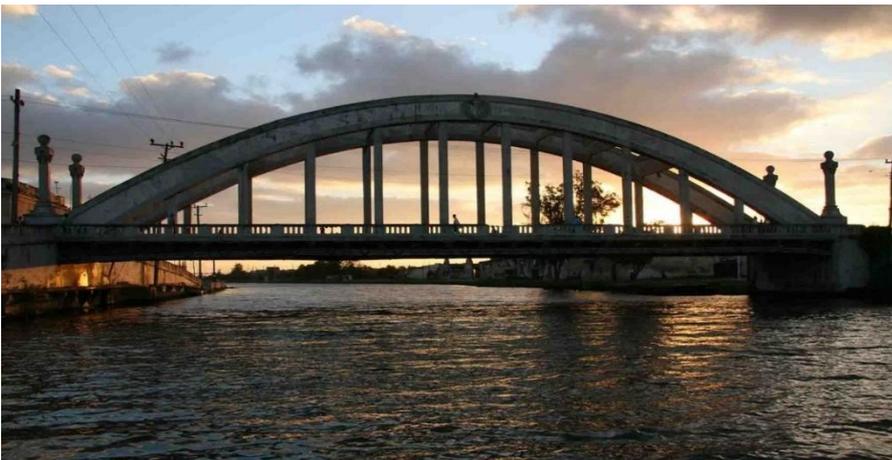
**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2017)

**Anexo 8. Hotel Oasis**



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2015)

**Anexo 9. Puente “General Sánchez Figueras”**



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2007)

**Anexo 10. Hotel Louvre**



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2011)

**Anexo 11.** Hotel Yara



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2016)

**Anexo 12.** UEB Rayonitro



**Fuente:** (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA),2016)

**Anexo 13.** Tabla comparativa de los ensayos de los casos de estudios.

No	Edificación	Año de construcción	Velocidad de la onda ultrasónica	Profundidad de carbonatación	Concentración de cloruros totales	Resistividad del hormigón	Intensidad y velocidad de la corrosión	Resistencia a la compresión	Porosidad del hormigón
1	Hotel Kawama-Varadero	1931	1575 m/s, valor deficiente	Sobrepasa el acero	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	18 Mpa resistencia media-baja	17% corresponden a hormigones que ofrecen una durabilidad inadecuada
2	Casa Pilar	1939	3555 m/s calidad alta	6,36% adecuada a moderada	Moderado	Alto riesgo	No se le realizo este tipo de ensayo	20,24 MPa óptimo	Los valores obtenidos son bajos Buena compacidad
3	Casa Perla	1945	No se le realizo este tipo de ensayo	Adecuada	Moderado	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	18,7MPa, resistencia media-baja	17 y 21%, Inadecuada
4	Hotel Velasco	1902- 1920	3656 m/s calidad alta	Sobrepasa el acero	moderado	Riesgo moderado	No se le realizo este tipo de ensayo	12,57 MPa.	durabilidad inadecuada
5	Hotel oasis	1956	valor deficiente	Moderada	No se le realizo este tipo de ensayo	Riesgo moderado	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo
6	Puente Sánchez Figueras	1916	normal	Sobrepasa el acero	Valores inferiores a 0,05%	Riesgo moderado	De moderado	8,89 MPa	durabilidad inadecuada
7	Hotel Louvre	1879	No se le realizo este tipo de ensayo	Adecuada	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	No se le realizo este tipo de ensayo	14,46 MPa De media a baja resistencia	18,33% Durabilidad inadecuada
8	Hotel YARA	1884	1474 m/s Deficiente	Moderada a inadecuada	No se le realizo este tipo de ensayo	10 KΩ cm y 200 KΩ cm, riesgo moderado	No se le realizo este tipo de ensayo	21,16 Mpa óptimo	12 % y 19 %, de durabilidad inadecuada a

**Fuente:** Elaboración propia