



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



PRIMORDIALES PROBLEMAS DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO:
UNA REVISIÓN GENERAL

NEIDY ALEJANDRA GARCÍA BARRETO

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIONAL TUNJA
2020





UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



PRIMORDIALES PROBLEMAS DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO:
UNA REVISIÓN GENERAL

NEIDY ALEJANDRA GARCÍA BARRETO

Trabajo de grado en la modalidad monografía presentado como requisito parcial para
optar título de Ingeniero Civil

Director, Ing. Esp. M.Sc. HECTOR MAURICIO SANCHEZ ABRIL

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIONAL TUNJA
2020





Nota de Aceptación:

Firma del director del trabajo de grado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, agosto de 2020





DEDICATORIA

Consagrado primordialmente a Dios, por haberme otorgado mí vida y a mi familia, ser mí guía, mi pilar, otorgándome fuerzas, sabiduría e inteligencia para poder llegar a esta etapa tan significativa de mi formación profesional.

A mi madre, por ser mi persona incondicional, mi mejor amiga, apoyarme generosamente brindarme todo su amor, cariño, y ser mi pilar de vida en la travesía que he encaminado.

A mi director, que con su vasta experiencia, conocimientos y estudios orientándome para el adecuado progreso y finalización con éxito de esta monografía.

A todos mis amigos y familiares, que contribuyeron de alguna manera para alcanzar y cumplir una de las etapas de mi vida.





AGRADECIMIENTO

***Dios infinitamente gracias,** por brindarme la sabiduría, bienestar, salud, fe, fortaleza y capacidad de seguir mis sueños. En fin, por todas sus bendiciones.*

***Agradezco a mi madre,** por ser mi apoyo incondicional, por los consejos y discursos de motivación.*

***Agradezco a mi director,** que han sido un apoyo para cumplir con mi trabajo de grado y lograr el sueño y mi meta de ser Ingeniero Civil.*

***Agradezco a todos mis compañeros, amigos y demás familiares,** que han sido un apoyo en momentos de victorias y derrotas para lograr el sueño y mi meta de ser profesional.*

¡Bendiciones y muchas gracias!





CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
1. PRIMERA PARTE: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	11
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GENERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. JUSTIFICACIÓN	14
4. ALCANCE Y LIMITACIONES	15
4.1 ALCANCE	15
4.2 LIMITACIONES	15
5. SEGUNDA PARTE: MARCO TEÓRICO	16
5.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO	16
5.2 PATOLOGÍAS DEL CONCRETO	17
5.3 FACTORES LIGADOS A LA CONSTRUCCIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	17
5.4 FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO	18
5.4.1 ATAQUE FÍSICO	18
5.4.1.1 Erosión	18
5.4.1.2 Congelamiento Y Descongelación (Heladas)	19
5.4.2 ATAQUE QUÍMICO	19
5.4.2.1 Ataque Ácidos	20
5.4.2.2 Ataque De Sulfatos	20
5.4.2.3 Ambiente Químicamente Agresivo	21
5.4.2.4 Reacciones Químicas En Los Agregados	21
5.4.3 CORROSIÓN DE METALES EN EL CONCRETO	23
6. TERCERA PARTE: ESTADO DEL ARTE	24
6.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES	24
6.2 INVESTIGACIÓN NACIONAL	26
6.3 INVESTIGACIÓN REGIONAL	27
7. CUARTA PARTE: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
7.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
7.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	30
7.3 TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN	31
7.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	31
7.5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS	32
8. QUINTA PARTE: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	33
8.1 AFECTACIONES PRIMORDIALES QUE SE PUEDEN DESARROLLAR EN UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO	33
8.2 SÍNTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.	33
8.3 COMPARACIÓN DE LAS AFECTACIONES ESTUDIADAS A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL	34
9. SEXTA PARTE: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
10. REFERENCIAS	37





RESUMEN

Durante mucho tiempo se han evidenciado alteraciones internas y externas en la durabilidad del concreto y algunas son generadas por diversos aspectos sea ambiental, climático, geológico entre otros agentes constituyentes, este suceso ocurre en todas las infraestructuras del mundo y por lo cual se han realizado investigaciones al respecto. Por este motivo, se concluye la importancia de la recopilación de esta información en una revisión general, que se concibió como trabajo de grado a través de la labor de un semillero de investigación.

Realizando un enfoque sobre algunas características de la durabilidad del concreto para las infraestructuras y por la gran diversidad de factores, se ha delimitado la investigación a los causantes del deterioro de la durabilidad del concreto, enfatizando en algunos de los principales problemas y algunas de las patologías que se presentan. Para lograr cumplir el propósito, se realizó una investigación con una metodología de investigación de diseño no experimental con una dirección cualitativa, apoyándose en todas las investigaciones recopiladas en las bases de datos y los diferentes documentos académicos.

Por esta razón, se realizó un análisis de las investigaciones a nivel internacional, nacional y regional, sobre la degradación a la durabilidad del concreto a causa de los factores internos y externos debido a los ataques químicos y físicos, asimismo, los factores ligados a la construcción, las características del material y el clima.

Palabras claves: DURABILIDAD, CONCRETO, ESTRUCTURA, PATOLOGÍA, ATAQUES FÍSICOS, ATAQUES QUÍMICOS.



ABSTRACT

For a long time, internal and external alterations in the durability of concrete have been evidenced and some are generated by various aspects be it environmental, climatic, geological, among other constituent agents, this event occurs in all infrastructures in the world and for this reason investigations have been carried out about. For this reason, the importance of collecting this information in a general review is concluded, which was conceived as a degree work through the work of a research hotbed.

By focusing on some characteristics of the durability of concrete for infrastructures and due to the great diversity of factors, the investigation has been delimited to the causes of deterioration of the durability of concrete, emphasizing some of the main problems of durability and some of the pathologies that occur. To achieve the purpose, an investigation was carried out with a non-experimental design research methodology with a qualitative direction, relying on all the investigations collected in the databases and the different academic documents.

For this reason, an analysis of the research at the international, national and regional levels was carried out on the degradation to the durability of concrete due to internal and external factors due to chemical and physical attacks, as well as factors linked to the construction, material characteristics and climate.

Key words: DURABILITY, CONCRETE, STRUCTURE, PATHOLOGY, PHYSICAL ATTACKS, CHEMICAL ATTACKS.



INTRODUCCIÓN

Los diferentes temas que se han relacionado con el tema del concreto han conllevado a generar incógnitas, dado a eso se concibió este trabajo de grado a través de la labor en un semillero de investigación.

El concreto es uno de los materiales más usados en todo el mundo para la construcción de las estructuras, por sus diferentes propiedades y características tiene la capacidad para resistir distintas condiciones, pero esos factores son afectados internamente y externamente, así deteriorando la durabilidad del concreto, lo que incide en problemas estéticos y estructurales.

A mediados del siglo XX, se descubrieron los primeros problemas de durabilidad en el concreto, dado que la problemática no es reciente; pero actualmente y en muchas partes del mundo se han evidenciado estos problemas por diferentes factores externos e internos, que van generando disminuciones en su durabilidad, debido al poco conocimiento por el tema por lo que presenta un mínimo impacto a corto plazo, sin embargo al transcurrir de los años, se evidencia las afectaciones que ocasionan reflejando un gran costo realizando reparaciones o dado el caso a tener que reconstruir nuevamente la estructura.

Existen varios tipos de factores divididos en dos categorías: factores externos son la diversidad de clima, área geográfica, diferentes condiciones de servicio, procesos constructivos, características del material, carbonatación, ataque por sulfatos, ataque químico, erosión y ciclos de congelación-descongelación. Los factores internos se encuentran en el concreto como el álcali del cemento que reacciona químicamente con el agregado. Aun así, atacará produciendo degradación en la estructura, provocando patología y vulnerabilidad de carga.

Por lo antes mencionado, se presenta esta monografía estructurada por partes: la primera parte una descripción del problema de la investigación, generándose interrogantes que serán respondidas al ejecutar los objetivos planteados, seguidamente está la segunda parte que abarca lo conceptual de una revisión general de la durabilidad del concreto, las patologías, los factores que afectan la durabilidad del concreto, consecutivamente la tercera parte la compilación de los documentos seleccionados a nivel internacional, nacional y regional, posteriormente la cuarta



parte la metodología de investigación a utilizar, el diseño de investigación, el enfoque, las técnicas, los instrumentos de recolección y análisis de datos, luego la quinta parte se realiza un análisis y discusión de los resultados, para finalizar con la sexta parte las conclusiones y recomendaciones.



1. PRIMERA PARTE: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

El concreto es una mezcla de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (grava) y agua en una proporción adecuada para obtener un desempeño predeterminado, la mezcla se endurece después de un cierto período de tiempo para formar una roca artificial.

“Este material de construcción es el más utilizado por muchas razones, en primer lugar la resistencia, la impermeabilidad, debido a la trabajabilidad de la mezcla y su durabilidad, también se puede moldear en muchas formas y tamaños”.¹

La propiedad más significativa a largo plazo de una estructura, es la resistencia y la durabilidad del concreto; aunque debe soportar y en ocasiones es afectado por diferentes agentes como: el medio ambiente, las condiciones de servicio, carbonatación, ataque de sulfatos, ataque químico, ataque de agua de mar, ataque de ácidos, desgaste, meteorización, erosión, ciclos de congelación-descongelación, los álcalis del cemento que son reacciones químicas con los agregados, la corrosión, la erosión y los cambios de temperatura.

“Actualmente existen varios tipos de aditivos creados para optimizar la durabilidad del concreto en diversas condiciones y bajo cualquier condición, estos maximizan la resistencia del concreto a los factores ambientales e incrementan la vida en servicio de las estructuras, proporcionando óptima protección y conservando la integridad estructural, estética ampliando su existencia y vida útil. Aun así, con los desarrollos de la tecnología del concreto, no se ha podido desarrollar ningún tipo de mezcla que no se vea afectada por los diferentes agentes o factores a los que están expuestas las estructuras”²

En cualquier parte del mundo, ya sea en Colombia, los factores ambientales, área geográfica, los cambios climáticos, entre otros diversos factores, van generando afectaciones y a medida del tiempo el deterioro va incrementando ocasionando laceraciones que disminuyen la resistencia, la durabilidad del concreto y la funcionalidad de la estructura.

¹ Mehta, P. Kumar. Concreto: Estructura, propiedades y materiales, México: IMCYC, (1998).

² ACI 201.2R. Guide to Durable Concrete, United States, American Concrete Institute, (2008).





En los casos de los primordiales causantes del deterioro de la durabilidad, ocasionan lecciones internas y externas que son originadas por factores de ataques físicos y químicos. Por tal motivo han desarrollado estudios acerca de la durabilidad del concreto y sus alteraciones causadas por diferentes factores, durante los últimos años, cada una de las investigaciones con diferentes perspectivas.

A partir de ahí, se puede ver la importancia de recopilar esta información con el fin de clasificar, investigar, comprender los cambios y ampliando así el conocimiento.

En resultado, la presente investigación tiene como objeto estudiar los primordiales problemas que producen los diferentes ataques físicos y químicos, con el propósito de facilitar información adecuada, a través de la recopilación de los estudios relacionados con este tema. Así, se van generando más incógnitas planteadas en el estudio. ¿Cuáles son las primordiales afectaciones internas y externas que deterioran la durabilidad del concreto?, ¿Cuáles son las primordiales ataques físicos y químicos que disminuyen la durabilidad del concreto y su vida útil?, ¿Qué patologías primordiales ocasionan los factores físicos y químicos?, ¿Qué factores ligados a la construcción y las características del material pueden afectar la durabilidad del concreto?, ¿Qué tipo de reacciones químicas en los agregados disminuyen la durabilidad del concreto? para dar respuesta a algunas de las interrogantes del estudio se determinan los siguientes objetivos de investigación.



2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar y describir los primordiales problemas de la durabilidad del concreto mediante una revisión general sobre las afectaciones internas y externas que se ocasionan por ataques físicos y químicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar las primordiales afectaciones internas y externas que deterioran la durabilidad de concreto
- Describir los primordiales ataques físicos y químicos que disminuyen la durabilidad del concreto
- Identificar las principales patologías que ocasionan los ataques físicos y químicos
- Mostrar la información de las investigaciones consideradas más relevante, disponible actualmente en nuestros medios, sobre el tema de la durabilidad del concreto.
- Compilación de documentaciones e investigaciones mediante una revisión bibliográfica a través de la labor del semillero de investigación.



3. JUSTIFICACIÓN

Los efectos negativos en términos económicos debido a las lesiones que causan los diversos factores que disminuyen la durabilidad del concreto de una estructura, ocasionando consecuencias que pueden llegar a ser perjudiciales de forma estética y estructural. La patología del concreto se define como el estudio sistemático del proceso característico de las enfermedades, defectos, daños que pueden sufrir el concreto, sus causas, consecuencias y posibles reparaciones³.

El concreto puede sufrir durante su vida, un deterioro y degradación que altera su estructura interna y externa de los elementos afectando su comportamiento. Los diferentes factores que afectan son: el medio ambiente, área geográfica, condiciones de servicio, características del material, carbonatación, ataque de sulfatos, ataque químico, ataque de agua de mar, ataque de ácidos, desgaste, meteorización, erosión, ciclos de congelación-descongelación, los álcalis del cemento que son reacciones químicas con los agregados, la corrosión, la erosión y los cambios de temperatura.

Es por ello, que se ve la importancia de recopilar información, de esta manera, establecer cómo influyen los diversos agentes en las estructuras de concreto y poder relacionar con las afecciones analizadas en los diferentes casos de Colombia. Asimismo, la necesidad de identificar, conocer, catalogar y recopilar las probables causas de las patologías más frecuentes, el cual responde a un incremento en el conocimiento de estas modificaciones.

Esta investigación de recopilación de datos tiene dos ámbitos, en primer lugar el académico que procura fomentar al máximo el interés en investigaciones sobre ingeniería civil, en sus diferentes ramas y participando en los semilleros de investigación. En segundo lugar el metodológico que se pretende transferir conocimientos mediante la recolección y compilación de estudios.

³ VALDÉS KRIEG, Adriana. Durabilidad del Concreto: Conceptos y Sustentabilidad, México, IMCYC, (2017). <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php/portada/731-durabilidad-del-concreto-conceptos-y-sustentabilidad>





4. ALCANCE Y LIMITACIONES

4.1 ALCANCE

El alcance en este estudio, se desea proporcionar información al lector de las posibles patologías que ocasionan los primordiales problemas de la durabilidad del concreto en las estructuras. De igual manera, se mostrara un análisis de los diferentes estudios, tesis, ensayos, publicaciones, artículos e investigaciones desarrolladas en las instituciones y empresas de los distintos países.

4.2 LIMITACIONES

Se detecta limitaciones, porque hay muchos factores que reducen la durabilidad del concreto, por lo que afecta la estructura interna y externa de los elementos, reduciendo la vida útil de la estructura. Por lo tanto se consideran algunos como: medio ambiente, condiciones de servicio, proceso constructivo, características del material, ataque de sulfatos, ataque de ácidos, ataque químico, ataque físico, ambientes químicamente agresivos, abrasión, erosión, ciclos de congelación-descongelación, reacciones químicas con agregados, corrosión y cambios de temperatura.



5. SEGUNDA PARTE: MARCO TEÓRICO

5.1 DURABILIDAD DEL CONCRETO

La durabilidad en las estructuras de concreto es la característica principal, por lo tanto debe tener la calidad, capacidad y resistencia para soportar condiciones de servicio con bajos costos de mantenimiento durante su vida útil. El ACI-201 (1997) define la durabilidad, como “La capacidad de resistir el tiempo, los ataques químicos, corrosión o cualquier otro proceso de deterioro. El concreto duradero conservará su estructura, calidad y condiciones de servicio iniciales después de ser expuesto al medio ambiente” (ACI, Sección Centro y Sur de México, 1996).

La durabilidad depende no solo del diseño de la mezcla, sino también del entorno de exposición, los materiales y las condiciones de trabajo. En este sentido, no existe un concreto "duradero" en sí mismo, porque las propiedades físicas y químicas que se pueden satisfacer en algunos casos no necesariamente lo hacen "duradero" en diferentes condiciones. El tema de la durabilidad es un tema complejo que depende de cada situación de exposición, condiciones de servicio y proceso de construcción.

El doctor Bryant Mather, un precursor en la investigación en la tecnología del concreto, enfatizado en el área de la durabilidad del concreto, indica en sus trabajos: “Está científicamente comprobado que el comportamiento incorrecto de las estructuras de concreto se debe a especificaciones técnicas insuficientes o estas especificaciones son correctas, pero no se siguen en obra.”.

A medida del desarrollo tecnológico del concreto se han descubierto diferentes factores que ocasionan lesiones, estético o estructurales en las diferentes infraestructuras, por causas físicas, químicas o formación de productos expansivos, con orígenes de diferente índole, afectando al concreto interna y externamente ocasionando diversas patologías.





5.2 PATOLOGÍAS DEL CONCRETO

Del Rosal⁴, La patología del concreto se define como un estudio sistemático de los procesos y características de las enfermedades, defectos y daños que puede sufrir el concreto. Por diferentes causas o factores ya sean físicos o químicos que producen posibles deterioros en las estructuras de concreto en diversas condiciones de servicio, así ocasionando diferentes grados alteraciones o daños en su estructura incluyendo manchas, cambios de color, hinchamientos, grietas, pérdidas de masa u otros.

El deterioro es la pérdida de propiedades y características a lo largo del tiempo, por lo que la durabilidad es un principio de diseño en la ingeniería y construcción.

El concreto fabricado con materiales apropiados, proporcionados y una buena consolidación garantiza la durabilidad de la estructura sin embargo, dado a que puede sufrir defectos o daños que modifican su estructura interna y externa así disminuyendo la vida útil de la estructura.

El daño al concreto puede ser causado por agentes externos e internos, en el desarrollo de esta monografía son clasificados en químicos y físicos u otros factores ligados al proceso constructivo y las características del material.

5.3 FACTORES LIGADOS A LA CONSTRUCCIÓN Y LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Uno de los factores más ligados a la durabilidad del concreto es el proceso constructivo y las características idóneas de sus materiales, dado que es el inicio de las condiciones de servicio de la estructura de su vida útil, expuesta a las diferentes condiciones climáticas o ambientales, por lo tanto, los diferentes procedimientos constructivos como lo es: la colocación del acero de refuerzo y encofrado, el vertimiento del concreto al interior del encofrado, el óptimo vibrado del

⁴ DEL ROSAL, Juan Antonio. Durabilidad y Patología del Concreto. México, Revista Construcción y Tecnología, (2017).



concreto y el correcto curado del concreto, son las actividades más relevantes en la durabilidad de la estructura.

También las características idóneas de los materiales de calidad en términos de resistencia y durabilidad, las condiciones de exposición a las que están sometidos los materiales: clima, condiciones de servicio, eventualidades por almacenamiento, las posibles reacciones químicas de los agregados con los diferentes componentes.

5.4 FACTORES QUE AFECTAN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO

Los factores que afectan la durabilidad son diversos y debido a las diferentes condiciones de exposición, el grado de deterioro aumenta, lo que resulta en una estructura mórbida, acortando la vida útil y aumentando la inversión económica. Son muchos los factores primordiales que dañan la durabilidad del concreto, se dividen en dos clases: los factores externos que se encuentran en las condiciones de servicio, medio ambiente, carbonatación, ataque de sulfatos, ataque químico, erosión y ciclos de congelación-descongelación.

Los factores internos se encuentran dentro del mismo concreto, como el álcali del cemento que son reacciones químicas con los agregados. Aun así, los factores de mayor impacto en provocar daños y patologías en el concreto así deteriorando la durabilidad del concreto son:

- Ataque Físico: Erosiones Y Heladas
- Ataque Químico: Ácidos, Sulfatos, Ambiente Químicamente Agresivo Y Las Reacciones Químicas De Los Agregados.
- Corrosión De Metales En El Concreto.

5.4.1 ATAQUE FÍSICO

5.4.1.1 Erosión

Hay dos formas de erosión en el concreto: abrasión y cavitación. Ambas formas son fracturas típicas en las obras hidráulicas, donde el agua a alta velocidad produce un desgaste



superficial en la estructura, aunque el desgaste también ocurre en el pavimento que sufre un paso continuo de vehículos

5.4.1.2 Congelamiento Y Descongelación (Heladas)

El proceso se considera como el factor de intemperismo (desintegración o alteración a través de procesos por temperaturas que descienden con frecuencia por debajo de los cero grados). Estos procesos son inducidos o modificados por el aire, el agua o el clima y forma parte de uno de los factores más destructivos en el concreto, debido al aumento de volumen del agua al convertirse en hielo dentro de la pasta. (PUENTE, 2007) Para que este fenómeno cause verdaderos estragos en el concreto tiene que ocurrir un ciclo repetitivo conocido como congelación-descongelación. El cual ocurre cuando los poros están prácticamente saturados y ocurre el fenómeno de la congelación, luego con el aumento de la temperatura se produce el deshielo, concerniente este proceso no ocurre con frecuencia en edificaciones, pero si es muy frecuente en puentes, canales y presas.

5.4.2 ATAQUE QUÍMICO

El ataque químico en el concreto ocasiona el mayor daño en la estructura y también es el que presenta mayor dificultad para resolver; generalmente los áridos y sobre todo el cemento, sufren esta erosión de ahí la importancia del entorno. Para cualquier ataque químico que se produzca el agua debe existir en forma líquida o gaseosa, porque el agua es la responsable de la disolución de los componentes agresivos. Otras condiciones para que se produzca este tipo de ataques es que la sustancia agresiva sea transportada hasta que entre en contacto con la sustancia que debe reaccionar. (BERTOLINI, 2004) La procedencia de las distintas sustancias que atacan al concreto provienen principalmente de diversas sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, atacando de fuera hacia adentro, por ejemplo: en el suelo que erosiona la cimentación, líquidos agresivos que atacan las tuberías o el ambiente industrial que afecta la estructura, todas son erosionadas desde el exterior, de la misma forma dentro del concreto se destaca la reacción entre el álcali del cemento y la sílice de algunos agregados reactivos.



5.4.2.1 Ataque Ácidos

El efecto del ácido sobre el concreto endurecido es convertir los compuestos cálcicos (hidróxido cálcico, silicato cálcico hidratado y aluminato cálcico hidratado) en sales cálcicas que pueden destruir el concreto. Debido a las notables características alcalinas de la pasta de cemento, es causada por el hidróxido cálcico producido por la hidratación del silicato. A causa de los diferentes tipos de ataques ácidos que forman las mencionadas sales cálcicas

Estas sales suelen ser solubles y su eliminación conduce a un aumento de la porosidad del concreto, lo que hace que las superficies más grandes sean vulnerables a la erosión. La velocidad de erosión de los ácidos en el concreto depende del PH que tengan (cuando son inferiores a 4,5, se consideran muy agresivos) y de la solubilidad de la sal cálcica que resulta, cuanto menos solubles sean las sales más fuertes será el efecto pasivante de las sales precipitadas.

Por otro lado la sal cálcica es soluble, la velocidad de reacción cuando fluye la solución es mayor que la velocidad de reacción cuando está estancada. (PUENTE, 2007) Según la naturaleza del ácido, distinguimos:

Ácidos inorgánicos

Ácidos orgánicos

5.4.2.2 Ataque De Sulfatos

El sulfato concentra su poder de ataque sobre el cemento y producen un fuerte componente de expansión, que conduce a la destrucción del concreto. El mecanismo de acción es el siguiente: en presencia de agua, los iones sulfato reaccionan con el aluminato tricálcico (C_3A) del cemento dando silfo aluminato tricálcico, generalmente llamado etringita.

La característica de la etringita es que su volumen es del 250 % y el agregado se afloja debido al daño al cemento antes mencionado, lo que provoca una fuerte expansión y desintegra



el concreto. Esto puede causar grietas irregulares, permitiendo la entrada de sulfatos y de ataques posteriores.

La degradación del concreto se inicia desde la superficie con un cambio de coloración, apareciendo grietas entrecruzadas, ya que a medida que el concreto superficial se dobla debido a la tensión, su espesor aumenta con la estratificación del concreto superficial. La reacción de expansión de la etringita provoca la destrucción de la capa de cobertura de concreto, exponiendo así la armadura y el riesgo ha aumentado debido a la posible corrosión de las barras de acero.

5.4.2.3 Ambiente Químicamente Agresivo

Para que ocurra la agresión, el ambiente químicamente agresivo debe existir en la solución a una cierta concentración y también puede optar por ingresar a la estructura de la pasta debe tener un cierto flujo de líquido concentrado dentro de un cierto período de tiempo, es necesario mantenerlo el tiempo suficiente para que ocurra la reacción.

Sin embargo, algunos reactivos aumentarán la posibilidad de deterioro, por ejemplo: los efectos físicos provocan cambios de volumen; cambios de humedad, cambios de temperatura y cambios en la calidad del concreto. Hay algunos factores generales que aumentan la posibilidad de deterioro, como alta temperatura, alto flujo, alta absorción, mal curado y los ciclos de humedecimiento y secado.

El ambiente agresivo habitual consiste en agua, aire y suelo contaminados en contacto con estructuras de concreto.

5.4.2.4 Reacciones Químicas En Los Agregados

Esta reacción ocurre cuando los minerales silíceos del agregado son atacados por hidróxidos alcalinos derivados de los óxidos de sodio y potasio. Formando un gel que al absorber agua sufre una fuerte expansión, la cual es impedida por la pasta endurecida del cemento, que genera una fuerte tensión que hace que el concreto se agriete. Además el deterioro del concreto comienza con pequeñas grietas en la superficie distribuidas irregularmente (grietas





en mapa) y luego se desintegran por completo. Por otra parte la expansión general se desarrolla en la dirección de menor resistencia, lo que resulta en grietas superficiales paralelas hacia adentro (planas) que se extienden hacia adentro y grietas paralelas a las trayectorias de las tensiones de compresión en el elemento de compresión. (PORTO QUINTIAN, 2005) Por los consiguiente, otras manifestaciones típicas son hinchazón local y gotas gelatinosas que se filtran a la superficie.

Un tipo de estas reacciones es la Lixiviación; “Es una forma leve de irregularidad que sucede cuando el agua diluye los componentes en el concreto”. El cemento portland hidratado contiene entre 25 % y un 30 % de hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, que es soluble en agua, y es probable que este componente, será lixiviado desde el concreto. El hidróxido de calcio se diluye más en agua fría que en caliente, el agua que proviene de los arroyos de las montañas o de las represas es más severo. La lixiviación crea una apariencia arenosa en la superficie de concreto expuesta de recubrimiento del canal, desagüe o tubería, además si el agua se filtra en las grietas o juntas, erosionando el concreto internamente.

El concreto poroso con una alta relación agua-cemento, la lixiviación puede eliminar suficiente hidróxido de calcio, reduciendo así la resistencia del concreto. Sin embargo, habitualmente esto es solo un problema de apariencia.

Un segundo tipo de esta reacciones es la reacción álcali-agregado (RAA); Es un fenómeno que ataca el concreto endurecido elaborado con determinados áridos sensibles, esta situación estará expuesta al medio ambiente durante varios años, ante la presencia de óxidos de sodio y potasio (normalmente denominado álcalis), se forma un gel alrededor de las partículas gruesas, que se expande gradualmente hasta destruir la estructura interna del concreto provocando que la estructura se agriete y se desintegre. (Pasquel, E. RAA el VIH del concreto, 2009) puede pasar hasta 5 años antes de que esta patología comience a manifestarse, así una vez activo este proceso, la estructura se deteriora gradualmente y aumenta con el tiempo.

Reacción álcali-sílice (RAS): La reacción álcali-sílice da como resultado la formación de un gel de silicato de sodio. Una vez formado, el gel absorbe el agua, lo que conduce a un aumento de volumen y por lo tanto la presión en el concreto, lo que procede al agrietamiento y





deterioro del concreto. Además, el exceso de agua y ciertos minerales juegan un papel significativo en la expansión del concreto.

Reacción álcali-carbonato (RAC): La reacción álcali-carbonato es una interacción entre los álcalis del cemento portland y algunas rocas carbonatadas presentes en ciertos agregados, especialmente la dolomita calcítica y las calizas dolomíticas, concurrente en ciertos agregados que pueden causar una expansión o agrietamiento del concreto.

5.4.3 CORROSIÓN DE METALES EN EL CONCRETO

El concreto es un material de alta alcalinidad ($\text{pH} > 12.5$), alta resistividad eléctrica, es uno de los métodos ideales para proteger el acero introducido en la estructura por que representa una barrera protectora contra la corrosión. Sin embargo, si estas condiciones de protección se modifican por condiciones internas o externas, se producirá un proceso de corrosión electroquímico, generando compuestos de óxidos de hierro, que triplican el volumen original del hierro, destruyendo el concreto al hincharse y generar fuerzas internas.

Dependiendo del uso que queramos dar, en el concreto se pueden incluir una serie de metales, pero la realidad es que el acero es el metal más utilizado desde el desarrollo del concreto armado y sus múltiples aplicaciones.





6. TERCERA PARTE: ESTADO DEL ARTE

El análisis del estado del arte que se realiza en esta monografía, teniendo en cuenta la investigación realizada a nivel internacional, nacional y regional, se ha investigado cómo los agentes y factores, mencionados anteriormente, influyen en la durabilidad del concreto.

6.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

“DURACON: Influencia de la Acción del Medio Ambiente en la Durabilidad del Concreto. Parte 2. Resultados de Chile después de 5 años de Exposición”⁵

Objetivo: Resultados obtenidos en Chile luego de una exposición de 5 años a muestras de concreto.

Procedimiento: Este estudio presenta la información obtenida en Chile en el marco del proyecto internacional, siendo así en la investigación consideró tubos de ensayo armado y sin armar expuestos al medio marino (Valparaíso) y urbano (Santiago) durante al menos 5 años. Por este motivo, se diseñaron y caracterizaron probetas con relación agua/cemento de 0,45 y 0,65 determinando las características de compresión y tracción, módulo elástico, resistividad, absorción capilar, absorción total y porosidad. Se evalúa por el potencial de corrosión del acero y se mide la profundidad de carbonatación en el concreto para establecer estado crítico de corrosión.

Resultados y discusión: La información obtenida caracteriza los diferentes tipos de concreto utilizados en estudio suelen estar dentro del rango de valores aceptados por la norma chilena, con una compactación y elasticidad aceptable. Entre ellos, se confirmó que un incremento en la relación agua/cemento condujo a un aumento de la porosidad, especialmente un

⁵ R. Vera, M. V. DURACON: influencia de la acción del medio ambiente en la durabilidad del concreto., Chile, Revista de la construcción, (2009). <https://docplayer.es/89685417-Impacto-del-ambiente-tropical-en-la-durabilidad-de-las-estructuras-de-concreto-armado.html>



crecimiento de la absorción, una disminución de la resistividad además de cambios potenciales de corrosión y reacción por contaminantes atmosféricos químicamente agresivos.

Conclusión: Las barras de refuerzo muestra corrosión en ambiente determinado, lo que dependerá del clima y las condiciones contaminantes del lugar expuestos, la calidad y el revestimiento del concreto, y los resultados después de la exposición a la atmosfera durante 5 años muestra que la relación de agua/cemento de 0,45 puede ser el acero de refuerzo proporciona una mejor protección contra la corrosión en medio marino y los entornos urbanos debido a la menor absorción y porosidad total del concreto y una mayor resistencia a la tracción y compresión.

“Efecto de los Residuos Mineros en la Durabilidad del Concreto, el Caso de Soluciones Ácidas Sulfuradas”⁶

Resumen: Este estudio abarca el impacto de los residuos de minerales sulfurosos en Bolivia, provenientes de las operaciones minero metalúrgicos, que producen soluciones de ácido sulfúrico cuando entra en contacto con el agua y oxígeno. Además de causar otros daños al medio ambiente, estas soluciones acidas causan contaminación de grandes áreas y deterioro severo y corrosión de las estructuras de concreto, porque cuando interactúan con los componentes del cemento, ocurren reacciones químicas de expansión y de sustitución. Estos entornos también favorecen el desarrollo de sulfobacterias, lo que acelera la formación de soluciones ácidas y agrava el problema.

En este trabajo se utilizaron probetas para analizar las áreas contaminadas en muestras de laboratorio y la formación de etringita y taumasita, que es la principal causa del deterioro de la estructura de concreto.

Desarrollo experimental: Se utilizaron dos muestras con de relación a/c de 0,65 y 0,45 para evaluar la resistencia a los sulfatos del hinchamiento del concreto, ya que las pruebas

⁶ MONTENEGRO BRAVO, J. C. Reporte Metalurgico y de Materiales - Efecto de los Residuos Mineros en la Durabilidad del Concreto, el Caso de Soluciones Ácidas Sulfuradas. Bolivia Institut, (2008)
http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2010-04072008000100006&script=sci_arttext&tlng=pt.





realizadas antes de la evaluación del hinchamiento tenía como objetivo comprobar periódicamente la resistencia al sulfato del concreto.

Tomando el Método ASTM C-1012 como referencia, la muestra se sumergió en una solución diluida de sulfato de sodio al 5 % y se sumergió en la solución de drenaje de roca ácida producida por pirita. El drenaje obtenido corresponde a la composición de la muestra de perforación de suelo correspondiente al llamado Playón Tarapaya en Potosí, el cual se encuentra fuertemente contaminado por relaves y remociones de minerales sulfurosos

Resultados y discusión: Después de exponer la muestra a una solución de sulfato de sodio al 5 % y una solución de drenaje de suelo contaminado durante 6 meses, el resultado observado fue una muestra de 0,65 a/c en una solución de sulfato de sodio al 5% por otra parte el sodio casusa pequeñas grietas también un ligero deterioro en el borde del cilindro y la muestra de 0.45 a/c no tuvo cambios visibles ni cambios concretos.

Conclusión: En el caso de las soluciones de sulfato de sodio, se ha demostrado que la resistencia al ataque de los sulfatos aumenta cuando se utiliza la relación agua/cemento más baja en el concreto.

6.2 INVESTIGACIÓN NACIONAL

“Reactividad Álcali-Agregado (RAA): Experiencias En Presas Colombianas, Análisis Comparativo De Principales Variables Que Intervienen En El Fenómeno”⁷

Resumen: Este documento incluye información disponible en el medio ambiente, relacionada con el fenómeno de reactividad de los agregados alcalinos, especialmente en el concreto que constituye estructuras como presas. Por lo consiguiente se identificaron las principales variables implicadas en el fenómeno, los síntomas más relevantes, las técnicas de determinación de potenciales reactivos y los métodos de prevención y/o tratamiento de los

⁷ MELO JIMENEZ, Leidy Johanna. Reactividad Álcali-Agregado (RAA): Experiencias En Presas Colombianas, Análisis Comparativo De Principales Variables Que Intervienen En El Fenómeno, Bogotá, (2014). Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/47230/1/leidyjohannamelojimenez.2014>



efectos provocados por el RAA. Además, se presenta el análisis de dos estudios de caso, incluyendo dos represas en Colombia. Se analiza las variables identificadas, los resultados obtenidos y las diferentes soluciones aportadas para paliar la reactividad en el tiempo.

Objetivo: A través de la revisión bibliográfica, recopilar y analizar la información obtenida durante la construcción de dos presas ubicadas en diferentes áreas con características arquitectónicas similares para establecer los problemas del fenómeno más avanzado (RAA) de Colombia y los mecanismos para prevenir o responder a los problemas.

Muestras: Dos presas situadas en Guajira y Bucaramanga

Metodología: Análisis de la información de las características de cada infraestructura, los diferentes ambientes y los diferentes materiales y aditivos empleados en la mezcla.

Resultados y Conclusión: Para estas dos muestras, el calor de hidratación se controló enfriando la mezcla antes de colocarla (incluida la adición de minerales). La temperatura promedio es mayor, por lo que propicia la aparición del fenómeno. Por otra parte, de lo anterior se puede concluir que para este caso de estudio la relación a/c es muy baja, pero por razones de humedad se considera el riesgo de aprovechamiento del agua, de esta forma se puede reducir la cantidad de cemento, lo que reducirá proporcionalmente la alcalinidad. En comparación con otros, esto se convierte y reafirma la eficacia y economía que puede representar esta adición comparada con los demás. Sin embargo, considerando el impacto del uso de cenizas volantes, es muy importante controlar si se mantiene suficiente resistencia a lo largo del tiempo

6.3 INVESTIGACIÓN REGIONAL

Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de termopaipa⁸

⁸ AGUDELO MORENO D. E., ESPINOSA TORRES B. G. Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa. Trabajo de Grado. **Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería.** Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. (2017).



Resumen: En este estudio, el propósito es analizar y observar la durabilidad y desempeño compresivo de las cenizas volantes agregadas en la central térmica de Paipa Boyacá en concreto, el plazo es de 72 días. Para el diseño de la mezcla de concreto se utiliza el método A.C.I (American Concrete Institute) 211.1 “hormigón normal”, que se resume en la dosificación del diseño de la mezclas; a su vez se basa en la norma ASTM (American Society of Testing Materials) C33 “Especificación Normalizada para Agregados para Concreto”, que explica el proceso de optimización del diseño de lotes de hormigón hechos de cilindros. El porcentaje de cenizas volantes se divide en 10%, 20%, 25% y 30% en total, y luego se comprime a los 7, 28, 56 y 72 días. Después de compendio de los datos, se analizó que luego de curar por unos días, estas muestras mostraron un aumento de resistencia, se observó que usar ceniza en un porcentaje alto no era factible porque absorbía una gran cantidad de agua y la mezcla homogénea se convertía en mezcla seca, por lo tanto, se convierte en un material menos maleable.

Objetivo: Analizar la durabilidad y la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con cenizas volantes TERMOPAIPA; observar y evaluar las propiedades mecánicas de la parte volumétrica utilizada en el diseño de mezclas de concreto.

Metodología: En una primera fase, iniciaron el proyecto con un relevamiento preliminar, que recogió datos sobre el tema a procesar, información obtenida de las centrales térmicas del país, y realizó el estado de las cenizas volantes y su adición a la mezcla de concreto; seleccionaron la termoeléctrica de Paipa Boyacá. Luego en la siguiente etapa, las muestras de cenizas volantes continuaron utilizando el método A.C.I, mezclas de diseño estándar ASTM y NTC, y se prepararon en el laboratorio de suelos de la Universidad Católica de Colombia en la ciudad de Bogotá D.C. después en la tercera etapa, comenzaron a contar el número de días de falla (7, 28, 56 y 72 días); finalmente se completaron la prueba de laboratorio; con los datos recolectados, los analizaron con informes reales.

Conclusiones y recomendaciones: Concluyeron que al realizar todas las pruebas de compresión de laboratorio en el protocolo de investigación, puede funcionar de manera efectiva y en el porcentaje especificado, y la compatibilidad de los materiales puede funcionar al nivel óptimo para mezclas de concreto.





Con el fin de reducir la contaminación de las cenizas volantes al medio ambiente, se recomienda realizar más investigaciones sobre este material así obtener y descubrir los beneficios de la ingeniería civil a nivel nacional e internacional.



7. CUARTA PARTE: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez planteada la pregunta de investigación, se determinan sus objetivos y se puede asumir la base teórica que guía su significado para indicar el tipo de datos a estudiar, se seleccionó el método y la técnica que hizo posible obtener la información requerida.

Se realizó el Marco Metodológico. Para ello Arias⁹, en otras palabras es una estructura de sistema de recopilación, clasificación y análisis de información, que puede interpretar los resultados según el problema investigado.

7.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Dado que el objetivo de la monografía es analizar y describir los primordiales problemas de la durabilidad del concreto una revisión general, se utilizará recolección documental; esto conlleva a determinar que la investigación de diseño no experimental.

A partir de la investigación de Hernández, Fernández y Baptista¹⁰, hay que mencionar, además que la investigación propone un diseño no experimental. Es decir, “el propósito de esta investigación es observar la ocurrencia de fenómenos y luego analizarlos”.

Estos mismos autores señalaron que los diseños de investigación no experimentales transversales y longitudinales “recopilan datos en un solo momento o durante un período de tiempo”.

7.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Así como los objetivos trazados, este trabajo se elabora sobre la base de la metodología de métodos cualitativos, porque es el método que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

9 ARIAS, Fidias. Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica, 6ª ed. Editorial Espíteme, (2012), <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>

10 HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación 5a ed.). México: McGraw-Hill. (2010).





Este planteamiento cualitativo no busca explicaciones sino que utilizar la recolección y el análisis para luego generar una teoría a partir de los resultados, este enfoque “cuando el objetivo es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos circundantes, profundizando así sus visiones, interpretaciones y significados” Hernández, Fernández y Batista¹¹.

7.3 TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

Mercado¹² Se refiere a la técnica de investigación como la síntesis bibliográfica como “el fundamento de toda investigación”, donde realiza la recopilación de información de libros, trabajos y revistas relacionados con el tema, a partir de dos aspectos: el general y el particular, registrando la información en fichas de trabajo bibliográfico.

La técnica de investigación que se utilizó en esta investigación fue la sistematización bibliográfica, el cual se seleccionaron información de libros, revistas, documentaciones, monografías y tesis, referentes al estudio, tomando en cuenta los que representan gran importancia para el tema investigado

7.4 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Sabino¹³ Considera que la herramienta de la hoja de trabajo bibliográfica es en principio: "Cualquier recurso que utilicen los investigadores para procesar fenómenos y extraer información de ellos. De esta manera, la herramienta en sí integra todo el trabajo de investigación previo: seleccionando datos correspondientes a indicadores, De acuerdo con las variables o conceptos utilizados, se resume el aporte del marco teórico”. Con base en eso el instrumento utilizado para recopilar la información, fue una matriz bibliográfica y una analítica, elaborada del siguiente modo:

- La matriz bibliográfica, es un instrumento elaborado en el programa Microsoft Excel, donde se hizo el resumen del material obtenido de las documentaciones, investigaciones,

¹¹ HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, P. (2010). Metodología de la investigación 5a ed.). México: McGraw-Hill.

¹² MERCADO, Salvador. ¿Cómo hacer una tesis? México: Limusa ,2006, p. 63.

¹³ SABINO, C. (2002). El proceso de investigación. Caracas: Panapo.





revistas, artículos, etc. Incorporando los siguientes ítems: título, autor, objetivo, año, resumen, conclusiones, nivel académico, tipo de material, URL, centro de documentación y país.

- La matriz analítica, de igual forma, fue un instrumento elaborado en el programa Microsoft Excel, pero en este caso, se seleccionaron solamente los textos que se consideraron importantes para el trabajo de grado a través de la labor de un semillero de investigación.

7.5 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

Los instrumentos de recopilación de datos de las investigaciones internacionales, nacionales y regionales, también se trazaron los objetivos de esta investigación, así diferenciando los primordiales problemas de la durabilidad del concreto realizando una revisión general por lo consiguiente se muestra los resultados obtenidos. De modo que son varios los factores que afectan la durabilidad, por las diferentes condiciones de exposición ocasionan patologías en la estructura así disminuyendo su vida útil.



8. QUINTA PARTE: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Teniendo presente la recopilación de las investigaciones internacionales, nacionales y regionales, los objetivos trazados de esta investigación y diferenciando los primordiales problemas de la durabilidad del concreto realizando una revisión general, tal como se muestra los resultados obtenidos:

8.1 AFECTACIONES PRIMORDIALES QUE SE PUEDEN DESARROLLAR EN UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO

Son varios los factores que afectan la durabilidad por las diferentes condiciones de exposición, ocasionan patologías en la estructura disminuyendo su vida útil. Por ende los factores primordiales que deterioran la durabilidad del concreto son de diversas clases, causas, orígenes y se dividen en dos categorías: los factores externos e internos además otro factor influyente en la afectación de la durabilidad del concreto es el cambio abrupto del clima, el diseño, los materiales de pésima calidad y el mal proceso constructivo como: el encofrado, refuerzo, el vertimiento del concreto, el vibrado, el curado, entre otros; que en varias ocasiones es por el desconocimiento de los factores nombrados anteriormente ocasionan un deterioro mayor con consecuencias económicas de montos significativos y en algunos casos poniendo en riesgo la vida.

A pesar de que existen varios aditivos creados para optimizar la durabilidad del concreto en diversas condiciones. Aun así, con los desarrollos en tecnología del concreto, no se ha podido desarrollar ningún tipo de mezcla o aditivos que no se vea afectado por los diferentes agentes o factores físicos y químicos que deterioran de forma interna o externa la durabilidad del concreto, ocasionando diferentes grados de alteraciones o daños en su estructura incluyendo manchas, cambios de color, hinchamiento, fisuras, pérdidas de masa u otros.

8.2 SÍNTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.

Todas las investigaciones relacionadas con los factores primordiales que deterioran la durabilidad del concreto, coinciden con los resultados que estas producen. Sin embargo, se





siguen realizando análisis, para poder prevenir o disminuir dichos efectos luego se hizo una síntesis de algunos de los estudios plasmados de forma concreta en el estado del arte donde se dio a conocer la información de las investigaciones consideradas más relevante, disponible actualmente en nuestros medios, sobre el tema de la durabilidad del concreto.

8.3 COMPARACIÓN DE LAS AFECTACIONES ESTUDIADAS A NIVEL NACIONAL Y REGIONAL

Son pocas las investigaciones o monografías, referentes a las afectaciones de la durabilidad del concreto a nivel nacional y regional. Se analizaron estos dos casos de investigación, el primero debido a la reactividad álcali-agregado, especialmente en el concreto que compone estructuras como presas. Por lo tanto, recolectaron y analizaron la información obtenida durante la construcción de dos presas ubicadas en diferentes áreas con características arquitectónicas similares así determinaron las principales variables que causaron el problema y los mecanismos para prevenir o dar respuesta al problema.

El segundo la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de termopaipa. El propósito de esta investigación es analizar y observar la durabilidad y comportamiento compresivo de las cenizas volantes agregadas en la central térmica de Paipa Boyacá en concreto, en un período de 72 días, también observaron que a los pocos días de curado, estas muestras mostraron un aumento de la resistencia, pero luego observaron que usar cenizas en un porcentaje alto no era factible porque absorbía una gran cantidad de agua y una mezcla homogénea se convierte en una mezcla seca y por tanto se convierte en un material menos maleable.

Los primordiales problemas son causados por factores físicos y químicos. Asimismo, por factores relacionados con el proceso constructivo, características de los materiales, diversidad climática, área geográfica, diferentes condiciones de servicio, carbonatación, ataque de sulfatos, ataque químico, erosión y ciclos de congelación-descongelación. Los factores internos se encuentran en el hormigón como el álcali del cemento, que reaccionan químicamente con el agregado. Aun así, agrede de forma química y física, provocando daños en la estructura, dando lugar a condiciones patológicas y fragilidad de la carga.





9. SEXTA PARTE: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Este trabajo se concibió a través de la labor del semillero de investigación y dado a esas incógnitas, se recolectó información de documentaciones e investigaciones. Con la realización de una matriz bibliográfica, se simplificaron los datos recolectados, logrando realizar un resumen para facilitar el estudio detallado.

La investigación realizada determina que existen factores primordiales que disminuyen la durabilidad que producen patologías, dando a conocer que las afectaciones en las estructuras por causas de ataques físicos y químicos que generan vulnerabilidad en la estructura en un lapso de tiempo; además, los diferentes factores ligados al proceso constructivo también al medio ambiente por lo que aumentan el deterioro de patologías, así disminuyendo la durabilidad y la vida útil de la estructura.

De los casos estudiados, se analizó los diferentes cambios que le ocurren al concreto por los diversos factores, sean internos o externos, afectando tanto su apariencia estética, estructural ocasionando patologías, la disminución de la durabilidad y descenso de la vida útil de la infraestructura. Por otra parte se compendió esta información con el fin de minimizar y conocer las afecciones que genera los diferentes factores, así lograra un impacto económico bajo previniendo algunos factores y estableciendo un manteniendo preventivo y adecuado.

Mediante el estado del arte, se recolectó información de investigaciones de estudios a nivel internacional, nacional y regional. Asimismo con los instrumentos de recolección de datos se realizó una matriz bibliográfica, se sintetizaron los datos recolectados, logrando realizar un compendio para facilitar el análisis detallado del mismo.

Los casos estudiados, se compararon con lo que se evidencia los primordiales problemas de la durabilidad del concreto, el grado de alteración en las estructuras, afectando tanto su apariencia, resistencia y sus propiedades físicas y químicas.





Con el fin de minimizar las afecciones que generan las reacciones químicas en los agregados y el ambiente químicamente agresivo, ya que estas no se pueden modificar completamente debido a las características del material y la zona, es necesario realizar un seguimiento para controlar los ataques físicos y químicos

El concreto debe soportar los ataques físicos y químicos, para ello existen diferentes aditivos creados a fin de mejorar la durabilidad del concreto, bajo diferentes condiciones, estos maximizan la resistencia del concreto e incrementan la vida útil de las estructuras, proporcionando máxima protección, manteniendo la integridad estructural y estética a largo de los años.

RECOMENDACIONES

- Los aditivos sean certificados por fabricantes reconocidos, para contar con una buena calidad.
- Realizar más investigaciones sobre los componentes del concreto, los beneficios para las obras civiles a nivel internacional, nacional y regional.
- Realizar una investigación estadística, donde se calcule el nivel y el grado de afección de los diferentes agentes que interrelacionan con las estructuras de las zonas de estudio que indiquen el tipo de mantenimiento que se debe realizar y la frecuencia, según las condiciones de los cambios climáticos.
- Realizar pruebas de laboratorio, donde se evalúen las características del material
- Investigar sobre los diferentes factores ambientales y estaciones del año que pueden incrementar el deterioro de la durabilidad del concreto en las diferentes estructuras.



10. REFERENCIAS

- ACI Sección Centro y Sur de México (1996). Guía para la durabilidad del concreto. Suplemento Mexicano del Informe del Comité ACI 201. Guía del Consumidor de Concreto Profesional.
- ACI 201.2R. (2008). Guide to Durable Concrete. Report ACI 201R, United States, American Concrete Institute.
- NTC 5551. (21 de 12 de 2007). Concreto. Durabilidad de estructuras de concreto. Bogotá: ICONTEC.
- NTC 121. (05 de 05 de 1982). Ingeniería civil y arquitectura. Cemento portland. Especificaciones físicas y mecánicas. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC (Anteproyecto de norma ICONTEC C04. 184/90). Agua para la elaboración de hormigón y morteros de cemento hidráulico. Bogotá, Colombia.
- AGUIRRE, A., & MEJÍA DE GUTIERREZ, R. (2013). Durabilidad del concreto armado expuesto a condiciones agresivas, *Materiales de Construcción*, 63(309), 7-38. Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/issue/view/159>
- AGUDELO MORENO A. A., ESPINOSA TORRES B. G. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14479/4/Documento%20Ceniza%20volante%20TERMOPAIPA.pdf>
- ARIAS, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6a ed.). Editorial Episteme. Obtenido de <https://ebevidencia.com/wp->





content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACI%C3%93N-6ta-Ed.-
FIDIAS-G.-ARIAS.pdf

BAVARESCO DE PRIETO, A. M. (2013). Proceso Metodológico en la investigación (Como hacer un diseño de investigación). Imprenta internacional; 6a. ed.; Maracaibo, Venezuela.

BAVARESCO DE PRIETO, A. M. (1997). Las Técnicas de la Investigación. Manual para la elaboración de tesis, monografías, informes. Editores: Vicerrectorado de La Universidad del Zulia, Editorial Universitaria, Servicios Bibliotecarios de La Universidad del Zulia; 6a. ed.; Maracaibo, Venezuela.

BERNAL, C. A. (2010). Metodología de la Investigación, 3ª Edición, Pearson Educación de Colombia.

BERTOLINI, L., CARSANA, M., GASTALDI, M. (2011) Corrosion assessment and restoration strategies of reinforced concrete building of the cultural heritage. págs. 146-154

CUBAS GÁLVEZ, J. L. (2019). Mejoramiento del Concreto $f'c$ 210 kg/cm² y mortero 1:5 adicionando aditivos Chema, distrito de Víctor Larco Herrera, Trujillo, La Libertad. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38588/cubas_gj.pdf?sequence=1

D.PARKER, D. (1998). "Sulphate attack hits M5 bridges". New Civil Engineer.

DEL ROSAL, J. A. (2017). Durabilidad y Patología del Concreto. Revista Construcción y Tecnología, p. 14-15.

GARZÓN, W. (2013). Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado. Bogotá, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

GÓMEZ CORTES, J. G. (2003) "Durabilidad del Concreto". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. En revisión. Bogotá.



- HERNÁNDEZ CASTAÑEDA, O. (2006). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. Ingeniería, investigación y tecnología.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, P. (2010). Metodología de la investigación 5a ed.). México: McGraw-Hill.
- MACHACA, C., WILBER, D. (2017). Incidencia de los aditivos incorporados de aire en la resistencia del concreto en climas de baja temperatura de la provincia el Collao - 2017. Juliaca, Perú: Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.
- MADRIGAL, C., GUEVARA, G., PIZARRO, M. Efecto de la variación agua/cemento en el concreto.
- MATTILA, J., CIGNA, C., NÜRNBERGER, R., WEYDERT, R., & SEITZ, E. (2003). Corrosion of steel in reinforced concrete structures, COST Action 521, Final Report, European Communities, Luxembourg.
- MERCADO, S. (1990). ¿Cómo hacer una tesis?, México, Limusa.
- MEHTA, P. K., & INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO. (1998). Concreto: Estructura, propiedades y materiales, México: IMCYC
- MELO JIMENEZ, L. J. (2014). Reactividad Álcali-Agregado (RAA): Experiencias En Presas Colombianas, Análisis Comparativo De Principales Variables Que Intervienen En El Fenómeno. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Artes. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/47230/1/leidyjohannamelojimenez.2014>
- MIGUÉLEZ, R. C. (2018). Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil. PDF Free Download. <https://docplayer.es/amp/90845066-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-civil.html>



- MONTENEGRO BRAVO, J. C. (2008). Reporte Metalúrgico y de Materiales - Efecto de los Residuos Mineros en la Durabilidad del Concreto, el Caso de Soluciones Ácidas Sulfuradas. Bolivia Institut für. http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2010-04072008000100006&script=sci_arttext&tlng=pt.
- NIÑO HERNANDEZ, J. R. (2010). Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá D.C: Asocreto.
- PASQUEL, E. RAA el VIH del concreto. (2009). RAA el VIH del concreto. Lima, Perú: Centro de Investigación Tecnológica del Cemento y el Concreto CITEDEC.
- PUENTE, C. E. (2007). PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN MAMPOSTERÍA Y HORMIGONES.
- PORTO QUINTIAN, J. M. (2005). Manual de Patologías en las Estructuras de Hormigón Armado. I, 103. Ingemecánica. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn401.html>
- PRESIDENCIA DEL ACI Sección Centro y Sur de México. (2012). Instituto de Ingeniería, UNAM. <http://www2.iingen.unam.mx/esmx/Publicaciones/GacetaElectronica/GacetaNoviembreDiciembre/Paginas/PresidenciadelACISeccionCentroySurdeMexico.aspx>
- OSORIO, J. D. (2018, 26 diciembre). AGREGADOS EN EL CONCRETO. Comunidad 360. Obtenido de (<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/agregados-en-el-concreto>)
- ARGOS. (2011). Obtenido de 360 en Concreto.
- R. VERA, M. V. (2009). DURACON: influencia de la acción del medio ambiente en la durabilidad del concreto. Parte 2. Resultados de Chile después de 5 años de exposición. Revista de la construcción, 13-23. Obtenido de http://www7.uc.cl/ccivil_revista/revista/rev14/REVISTA_14.pdf



- R. VERA, M. V. (2009). Efecto del Ambiente sobre la Durabilidad de la Armadura (DURACON). Revista de la construcción, obtenido de <https://docplayer.es/89685417-Impacto-del-ambiente-tropical-en-la-durabilidad-de-las-estructuras-de-concreto-armado.html>
- RIVA, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. Perú: Aciperú.
- RIVERA, G. (2010). CONCRETO SIMPLE. Valle del Cauca: Universidad del Cauca.
- SABINO, C. (2002). El proceso de investigación, Caracas: Panapo.
- SABINO, C. (2006). Cómo hacer una tesis (2a ed.), Caracas: Panapo.
- SANCHEZ DE GUZMAN. D. (1996). Tecnología del concreto y del mortero. 3 ed. blandhar editores Ltda, Bogotá D.C.
- SILVA, O. J. (2019). DURABILIDAD DEL CONCRETO: DEFINIENDO LA FRASE. Comunidad 360. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/durabilidad-del-concreto-definiendo-la-frase>
- TECNOLOGÍA DE CONCRETO. (2015). Tecnología del concreto. Obtenido de <http://tecnocreto.blogspot.com/2015/04/semana-i-tecnologia-de-concreto.html>
- VALDÉS KRIEG, A. (2017). Durabilidad del Concreto: Conceptos y Sustentabilidad, México, IMCYC.
- VALBUENA LEGUÍZAMO, H. (2006). Petrografía de concretos hidráulicos con adición de ceniza volantes de TERMOPAIPA. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Facultad de Ciencias.