

SEMILLERO DE INVESTIGACION: “ALTERACIONES QUE PRODUCEN EL  
CICLO HIELO – DESHIELO Y LOS ATAQUES POR SULFATO EN EL  
CONCRETO”

JENNIFER DIAZ MALAGÓN

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

SEMILLERO DE INVESTIGACION: “ALTERACIONES QUE PRODUCEN EL  
CICLO HIELO – DESHIELO Y LOS ATAQUES POR SULFATO EN EL  
CONCRETO”

JENNIFER DIAZ MALAGÓN

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

Director, Ing JUAN RICARDO PÉREZ CUERVO  
I.C., I.T.V., Esp., Mg

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
TUNJA  
2019

Nota de Aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Tunja, julio de 2019

## DEDICATORIA

***Va dedicado principalmente a Dios, por haberme dado la vida, ser mi inspirador y mi guía, darme fuerza y poder llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.***

***A mis padres, por ser mis mejores amigos, apoyarme desinteresadamente, y ser mis pilares de vida en el camino que he recorrido.***

***A mi director, que con su amplia experiencia y conocimientos me orientó al correcto desarrollo y culminación con éxito esta monografía.***

***A todos mis amigos y familiares, que aportaron un granito de arena para cumplir una de las etapas de mi vida.***

## AGRADECIMIENTO

***Agradezco infinitamente a Dios, por brindarme una vida, salud, fortaleza capacidad y sabiduría. En fin, por todas sus bendiciones.***

***Agradezco a mis padres, que siempre han estado cuando los he necesitado, en los buenos y malos momentos.***

***Agradezco a todos mis compañeros, amigos y familiares, que me han animado en este largo camino, soportando y comprendiendo con paciencia, la dedicación que requiere formarse como Ingeniero Civil.***

*¡Muchas gracias!*

## Contenido

### RESUMEN

### INTRODUCCIÓN

|       |                                                                                            |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN                                                   | 21 |
| 1.1   | DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA                                                             | 21 |
| 2.    | OBJETIVOS                                                                                  | 24 |
| 2.1   | OBJETIVO GENERAL                                                                           | 24 |
| 2.2   | OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                                                      | 24 |
| 3.    | JUSTIFICACION                                                                              | 25 |
| 4.    | ALCANCE Y LIMITACIONES                                                                     | 27 |
| 5.    | CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO                                               | 28 |
| 5.1   | ESTADO DEL ARTE                                                                            | 28 |
| 5.2   | INVESTIGACIONES INTERNACIONALES                                                            | 28 |
| 5.2.1 | ATAQUES POR SULFATOS                                                                       | 28 |
| 5.2.2 | ATAQUES POR CICLOS DE HIELO – DESHIELO                                                     | 30 |
| 5.3   | INVESTIGACIONES NACIONALES                                                                 | 33 |
| 5.3.1 | ATAQUES POR SULFATOS                                                                       | 34 |
| 5.4   | INVESTIGACIONES LOCALES                                                                    | 36 |
| 5.4.1 | INFLUENCIA DE LOS CICLOS HIELO-DESHIELO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO (CASO TUNJA)        | 36 |
| 5.4.2 | DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE DE LA IGLESIA LAS NIEVES DE LA CIUDAD DE TUNJA DE BOYACÁ | 38 |

|     |                                                                                                 |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.  | MARCO TEÓRCIO                                                                                   | 40 |
| 6.1 | TECNOLOGÍA DEL CONCRETO                                                                         | 40 |
| 6.2 | CEMENTO PÓRTLAND                                                                                | 40 |
| 6.3 | AGUA PARA EL CONCRETO                                                                           | 41 |
| 6.4 | AGREGADOS                                                                                       | 42 |
| 6.5 | PROPIEDADES DEL CONCRETO                                                                        | 42 |
| 6.6 | DURABILIDAD DEL CONCRETO                                                                        | 47 |
| 6.7 | PATOLOGÍA DEL CONCRETO                                                                          | 49 |
| 6.8 | ATAQUES POR SULFATOS                                                                            | 49 |
| 6.9 | ATAQUES POR CICLOS DE HIELO – DESHIELO                                                          | 51 |
| 7.  | CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO                                                                | 54 |
| 7.1 | DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN                                                                      | 54 |
| 7.2 | ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN                                                                     | 55 |
| 7.3 | TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS                                                                | 55 |
| 7.4 | INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS                                                             | 55 |
| 7.5 | TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS                                                              | 56 |
| 8.  | CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN                                                               | 58 |
| 8.1 | AFECTACIONES QUE PUEDEN OCURRIR EN UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO                                   | 58 |
| 8.2 | ATAQUES POR CICLOS DE HIELO-DESHIELO, Y ATAQUES DE LOS SULFATOS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO. | 61 |
| 8.3 | SÍNTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LOS ATAQUES A LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.                | 62 |

|                                                                                       |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 8.4 COMPARACIÓN DE LAS AFECTACIONES ESTUDIADAS EN LOS CASOS<br>DEL MUNICIPIO DE TUNJA | 62      |
| 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES                                                     | 64      |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS                                                            | ¡ERROR! |
| <b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>                                                          |         |

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                             | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Concreto según la resistencia                                                      | 43   |
| Tabla 2. Influencia de las condiciones medioambientales sobre los componentes del concreto. | 48   |
| Tabla 3. Tipos de afectaciones físico – químico                                             | 60   |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                           | Pág. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Esquema de la ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado                                               | 41   |
| Figura 2. Resistencia a compresión en función de la relación a/c                                                          | 46   |
| Figura 3. Incremento de los poros capilares en la pasta de cemento hidratada, al aumentar la proporción de agua de mezcla | 46   |
| Figura 4. Relación experimental entre la porosidad y la resistencia a compresión de diversas pastas de cemento.           | 47   |
| Figura 5. Ataque por sulfato en el concreto                                                                               | 50   |
| Figura 6. Actividad del concreto durante el ciclo de hielo – deshielo.                                                    | 52   |
| Figura 7. Tipos de afectaciones en una estructura de concreto                                                             | 59   |

## **LISTA DE ANEXOS CD**

Anexo 1. Análisis caso de estudio ciclo de hielo – deshielo, Tunja Boyacá

Anexo 2. Análisis caso de estudio, Puente de la Iglesia Las Nieves, Tunja Boyacá

Anexo 3. Cuadro resumen de revisión bibliográfica

Anexo 4. Cuadro de Matriz analítica de contenido

## GLOSARIO

**ADHERENCIA QUIMICA:** adhesión entre materiales disímiles como resultado de una reacción química <sup>1</sup>

**ADITIVO:** producto químico que se dosifica en baja proporción en el concreto, para modificar alguna de sus propiedades y adecuarlo al fin que se desine. <sup>2</sup>.

**AGUA:** la razón de que los cementos sean hidráulicos es que estos tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella, de tal manera que el agua como material dentro del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes<sup>3</sup>.

**AIRE:** cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa (aire naturalmente atrapado) el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto.<sup>1</sup>

**AIRE INCLUIDO:** burbujas de aire intencionalmente incorporadas en el mortero o al Hormigón durante el mezclado; tienen un diámetro entre 10µm y 1000µm (1mm) y son de forma esférica o casi esférica<sup>4</sup>

**AIRE OCLUIDO:** cantidad de aire residual, propio de una mezcla después de su compactación. Se presenta en forma de burbujas de aire en el hormigón, que no han sido intencionalmente incorporadas y que son más grandes, por lo general de forma irregular, y de menor utilidad que aquellas de aire incluido; y de tamaño de 1 mm o mayor.<sup>2</sup>

**ATAQUE POR SULFATOS:** este fenómeno se genera cuando el concreto se encuentra expuesto a aguas subterráneas, lagos, pozos o suelos que contienen

---

<sup>1</sup> MONTANI, Rick. La carbonatación: enemigo olvidado del concreto [en línea] Bogotá [citado: 19, agosto, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>>

<sup>2</sup> SANCHEZ, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Colombia. Blandhar Editores Ltda, 1996,p.22.

<sup>3</sup> SANCHEZ, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Colombia. Blandhar Editores Ltda, 1996,p.22.

<sup>4</sup> QUIROZ, Mariela y SALAMANCA, Lucas. Tecnología del hormigón. Bolivia, 2006, p.21.

iones de sulfatos. Estos pueden penetrar el concreto y reaccionar con los componentes del concreto causando reacciones químicas.<sup>5</sup>

**CRBONATACIÓN:** es un proceso bien comprendido que ha sido investigado y documentado perfectamente. En concreto que no contiene acero de refuerzo, la carbonatación es, generalmente, un proceso de pocas consecuencias. Sin embargo, en el concreto reforzado, este proceso químico aparentemente inocuo, avanza lenta y progresivamente hacia adentro desde la superficie expuesta del concreto, y asalta al acero de refuerzo causando la corrosión. Aunque la carbonatación es una causa de la corrosión menos importante que los cloruros, no por ello es menos seria en términos del daño que provoca y del dinero que cuesta remediar sus efectos<sup>6</sup>

**CEMENTO:** el cemento que normalmente se utiliza es cemento portland hidráulico, el cual tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que le dan capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar<sup>7</sup>

**CICLO DE HIELO- DESHIELO:** la temperatura ambiental disminuye a valores por debajo de los 0°C, el agua contenida en los poros del concreto se congela, causando un incremento en volumen produciendo esfuerzos de tensión, que originan grietas en el concreto.<sup>8</sup>

**CONCRETO:** el concreto es un material de construcción que se crea mezclando áridos y arena con un agente aglutinante (normalmente cemento) y, si es necesario, con aditivos. Esta mezcla, que se utiliza en los emplazamientos de construcción, puede tomar una gran variedad de formas. Las características de un tipo concreto de hormigón pueden variar notablemente en función de la elección del cemento, de la proporción entre éste y el árido que se utilice, y de la inclusión de aditivos. También repercute en su calidad y apariencia el modo en que se utilice el hormigón y el tratamiento que reciba su superficie. El concreto es una pieza reconstituida a la que, en ocasiones, se denomina "piedra líquida"<sup>9</sup>

---

<sup>5</sup> MONTANI, Rick. La carbonatación: enemigo olvidado del concreto [en línea] Bogotá [citado: 19, agosto, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>>

<sup>6</sup> MONTANI, Rick. La carbonatación: enemigo olvidado del concreto [en línea] Bogotá [citado: 19, agosto, 2019]. Disponible en internet: <URL: <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>>

<sup>7</sup> SANCHEZ, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Colombia. Blandhar Editores Ltda, 1996,p.221-259.

<sup>8</sup> GARZON, William estudio de durabilidad al ataque de sulfato del concreto con agregado reciclado, Bogota, Colombia:Universidad Nacional de Colombia. 2013

<sup>9</sup> GARCIA, Ana Luisa. El concreto, En Arqhys Arquitectura, [En línea] [citado: 19, agosto, 2019] Disponible en internet: <URL: <http://www.arqhys.com/contenidos/concreto-construccion.htm>>

**CONCRETO DE ALTA RESITENCIA:** este es un concreto con resistencia a la compresión a 28 días superiores a 420 kg/cm<sup>2</sup>. Su uso logra reducir las dimensiones de los elementos estructurales, incrementando el área de servicio por niveles. <sup>10</sup>

**CONSISTENCIA:** grado de fluidez de una mezcla, determinado de acuerdo con un procedimiento estándar (ej. Cono de Abrams) <sup>11</sup>

**CURADO:** proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales del fraguado y/o endurecimiento del hormigón. <sup>6</sup>

**DOSIFICACIÓN:** proporción, en peso o en volumen, de los distintos materiales que integran una mezcla. <sup>6</sup>

**DURABILIDAD:** es la cualidad que posee el concreto de soportar las condiciones para las cuales fueron diseñados, sin sufrir deterioros durante su vida útil prevista <sup>12</sup>

**EFLORESCENCIA:** conversión espontánea en polvo, de diversas sales al perder el agua de cristalización, manifestada por manchas blanquecinas en la superficie del mortero u hormigón <sup>12</sup>.

**ESTRUCTURA POROSA DEL CONCRETO:** es el sistema conformado por todos los poros contenidos y su distribución en el interior de su masa. <sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> ALAS, José. Comportamiento del hormigón con inhibidor de corrosión en el amasado [en línea]. Tesis para optar al título de ingeniero constructor. Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería. Escuela de construcción civil. 2003. p. 12. [Consultado: 19 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmficis161c/pdf/bmficis161c.pdf>

<sup>11</sup> NORMAS TÉCNICAS PERUANAS. Cementos. Determinación de la consistencia normal 3ª. Ed, NTP 334.074. Lima: Indecopi. 2004. p. 22

<sup>12</sup> ALAS, José. Comportamiento del hormigón con inhibidor de corrosión en el amasado [en línea]. Tesis para optar al título de ingeniero constructor. Universidad austral de Chile. Facultad de ciencias de la ingeniería. Escuela de construcción civil. 2003. p. 12. [Consultado: 19 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmficis161c/pdf/bmficis161c.pdf>

**FRAGUADO:** cambio del estado fluid al estado rígido de una pasta de cemento, mortero o concreto. Implica pérdida de elasticidad.<sup>13</sup>

**GRIETA:** abertura en el concreto de magnitud importante que puede ser el inicio de una falla estructural.<sup>14</sup>

**HORMIGÓN:** un material compuesto por varios materiales que consiste esencialmente de un medio aglutinante dentro del cual se encuentran partículas o fragmentos de agregado, por lo general una combinación de agregado fino y grueso; en el hormigón de cemento Portland, el aglutinante es una mezcla de cemento Portland y agua, con o sin aditivos.<sup>13</sup>

**PASTA DE CEMENTO:** una mezcla plástica de cemento hidráulico y agua, tanto antes como después de haber fraguado.<sup>13</sup>

**PATOLOGIA DEL CONCRETO:** es la parte de la durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto.<sup>13</sup>

**POROSIDAD:** relación entre el volumen de los poros y el volumen aparente del cuerpo.<sup>13</sup>

**PUZOLANA:** material natural o artificial amorfo, silicioso capaz de reaccionar con la cal que libera el cemento durante su hidratación para mejorar las propiedades del concreto.<sup>13</sup>

**REFRENTADO:** material que se adiciona en el proceso de preparación de probetas destinadas al ensayo de compresión, para asegurar que sus bases sean lisas, planas y normales al eje principal, con el fin de obtener la mejor coincidencia posible con las piezas de apoyo y carga de la prensa de ensayo y una distribución uniforme de tensiones durante la aplicación de la carga.

---

<sup>13</sup> RIVERA, Gerardo concreto simple capitulo 6 resistencia del concreto

<sup>14</sup> CORRAL, Jose, patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón, origen y prevención

**RELACIÓN AGUA-CEMENTO (A/C):** es la relación entre la masa de agua, excluyendo la absorbida por los agregados, a la masa de cemento Portland en el hormigón, mortero, o lechada, tomada como decimal y abreviada a/c o A/C.<sup>15</sup>

**RESISTENCIA:** es la habilidad para resistir esfuerzos y de ahí que se puede considerar de cuatro maneras: compresión, tracción, flexión y corte<sup>16</sup>

**RETRACCIÓN:** las variaciones de volumen debido a la hidratación del cemento y a las variaciones de humedad se conocen con el nombre de retracción y puede presentarse mientras el hormigón está plástico y también cuando está endurecido<sup>17</sup>

**SEGREGACIÓN:** deshomogeneización de una mezcla fresca de morteros o concreto. Tendencia del agregado grueso a separarse de la mezcla de concreto en el transporte o vaciado. Produce serias dificultades en la colocación y en la compactación, debido a lo cual las estructuras resultan defectuosas<sup>18</sup>

**SULFATO:** sales o azufre, abundantes en los suelos y aguas naturales, así como en los desechos industriales, domésticos o municipales. Estos compuestos pueden dañar la durabilidad del concreto. <sup>18</sup>

**TENSIÓN MÁXIMA DE ROTURA:** carga máxima por unidad de superficie, soportada por la probeta cuando se le aplica una carga de compresión, de dirección paralela a las fibras de la madera. <sup>13</sup>

**TIEMPO DE FRAGUADO:** tiempo requerido por una mezcla fresca de cemento y agua de un cierto grado de consistencia, para pasar de un estado plástico a otro de cierta rigidez, determinado por un ensayo específico (ej. Aguja de Vicat). <sup>13</sup>

---

<sup>15</sup>MADRIGAL, Carolina, GUEVARA , Génesis, PIZARRO, Mariannys Efecto de la variación agua/cemento en el concreto

<sup>16</sup> TERREROS, Luis y CARVAJAL, Iván. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo [en línea]. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad católica de Colombia .facultad de ingeniería. Programa de ingeniería civil. 2016. p.12. [Consultado: 19 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3%81NICAS%20DE%20UN%20CONCRETO%20CON%20VENCIONAL%20ADICIONANDO%20FIBRA%20DE%20C%C3%81%C3%91A.pdf>

<sup>17</sup> SOTO, Gastón. Tecnología del hormigón [en línea]citado: 19, agosto, 2019] Disponible en internet: <URL: <https://slideplayer.es/slide/1632298/>>

<sup>18</sup> ARGOS, CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO EN OBRA. Colombia

TRABAJABILIDAD: la trabajabilidad o manejabilidad es la capacidad que el concreto tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna, está representado por la facilidad a la compactación, como también el mantenerse como una masa estable, deformarse continuamente sin romperse y fluir o llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe.<sup>10</sup>

## RESUMEN

En Boyacá, como en Colombia y el mundo, los factores ambientales varían acorde a características geográficas, climáticas, localización, hidrografía, suelo, entre otros. Algunas de ellas, van generando afectaciones en la durabilidad del concreto. Durante los últimos años, se han realizado investigaciones al respecto, donde cada una de estas, han obtenido algunas soluciones al problema que los aqueja. Teniendo esto en cuenta, se ve la necesidad de recopilar esta información, para elaborar una clasificación, analizar y comprender dichas alteraciones, acorde con lo que se ha estudiado en el departamento en mención.

El objetivo general de la presente investigación es analizar las distintas investigaciones realizadas de las alteraciones que producen el ciclo hielo-deshielo y los ataques por sulfatos en la durabilidad del concreto, enfocándose en el municipio de Tunja del departamento de Boyacá. Para cumplir con esta finalidad, se utilizó una metodología descriptiva-documental con enfoque cualitativo, basándose en el estado del arte como medio de recolección de datos, a través de tesis, artículos, entre otros, los cuales fueron estudiados, tomando información relevante que fue colocada en una matriz bibliográfica (ver anexo).

Luego de analizar la investigación recopilada, se determinó que el concreto al ser atacado por el sulfato, presenta fisuración, desprendimiento y pérdida de resistencia, los cuales ocasionan daños considerables en la estructura. En cuanto al hielo-deshielo, se produce una expansión de los poros del concreto, produciendo hinchamiento y desprendimiento del mismo, concordando ésta situación con los estudios realizados en la zona local. Para dicha afectación, se recomienda utilizar el cemento adecuado, según las características de la zona, de igual forma, se debe emplear el volumen de agua adecuada en la mezcla, ya que gran cantidad de agua, disminuye la resistencia del concreto. Al usar aditivos, éstos deben ser de calidad y certificados.

**Palabras claves:** DURABILIDAD, CONCRETO, SULFATO, HIELO-DESHIELO

## INTRODUCCIÓN

La capacidad del concreto para resistir las condiciones para las cuales está diseñado sin deterioro durante un largo período de años se conoce como durabilidad.

La excepcional durabilidad del concreto es una razón importante por la cual es el material de construcción más utilizado en el mundo. Pero las limitaciones materiales, las prácticas de diseño y construcción y las condiciones de exposición severas pueden deteriorar el concreto, lo que puede provocar problemas estéticos, funcionales o estructurales. El concreto puede deteriorarse por una variedad de razones, y el daño del concreto a menudo es el resultado de una combinación de factores.

Ahora bien, dos grandes agentes que arremeten de forma química y física las propiedades del concreto, es el ataque por sulfatos y los ciclos de hielo – deshielo. El ataque de sulfato es un proceso de degradación químico-mecánica que puede conducir a expansiones diferenciales de material que producen el tipo de fisuración conocido como "desprendimiento" de concreto, pérdida de resistencia e incluso la desintegración completa del material bajo condiciones severas condiciones de ataque. Las principales condiciones que deben cumplirse son la existencia de un medio rico en sulfatos, una alta permeabilidad (o difusividad) del hormigón y la presencia de un ambiente húmedo, lo que favorece la difusión general de sulfatos

El deterioro convencional por hielo—deshielo en los materiales de cemento es causado por la acción de las heladas internas y generalmente se caracteriza por una reducción de la rigidez resistencia, generando micro grietas y escalado superficial.

Por lo antes descrito, se presenta esta monografía, estructurada por cuatro capítulos: Capítulo I donde se da una descripción de la problemática de la investigación, generándose interrogantes que serán respondidas al ejecutar los objetivos planteados, teniendo objetivo principal, Analizar las distintas invstigaciones realizadas de alteraciones que producen el ciclo hielo – deshielo y los ataques por sulfatos en la durabilidad del concreto, enfocándose en el municipio de Tunja del departamento de Boyacá.

Capítulo II, que abarca lo relacionado con la revisión bibliográfica y estado del arte, se redacta los antecedentes históricos y bibliográficos y la aproximación conceptual tales como concreto, durabilidad del concreto, afectaciones al concreto y algunos casos referenciales.

Luego se encuentra el Capítulo III, que se refiere básicamente a la metodología a utilizar, se presenta el tipo de investigación, que en éste caso será descriptiva documental con un enfoque cualitativo. En el Capítulo IV se realiza el análisis y discusión de los resultados obtenidos, para posteriormente, finalizar con las conclusiones y recomendaciones, allí se darán sugerencias pertinentes a la investigación, que ayuden a mejorar la problemática estudiada.

## **1. CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA**

El concreto es una mezcla de cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial. Este material de construcción es el más extensamente utilizado, por varias razones, entre ellas porque posee una larga resistencia a la acción del agua sin sufrir un serio deterioro, también puede ser moldeado para dar una gran variedad de formas y tamaños gracias a la trabajabilidad de la mezcla, cohesividad, resistencia y durabilidad. Al respecto, la empresa Cemex, manifiesta: “La aparición del concreto ha sido un factor considerable para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente. Edificios, calles, avenidas y carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del más amplio rango de tamaños y variedad de características, nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza, donde realizar nuestros más variados anhelos: un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir”<sup>19</sup>

La característica más importante a largo plazo de una estructura, es la durabilidad del concreto; por ende, contratistas, arquitectos e ingenieros quieren aumentar el tiempo de servicio de sus estructuras y buscan nuevas maneras de mejorar la durabilidad del concreto que diseñan, entregan y colocan.

El concreto debe soportar la corrosión, los ciclos de hielo y deshielo, los químicos agresivos, el ataque de sulfatos, la abrasión, la erosión, los cambios de temperatura y la reacción alcali-agregado, para esto existen diferentes aditivos diseñados para mejorar la durabilidad del concreto en cualquier aplicación y bajo cualquier condición, estos maximizan la resistencia del concreto a los elementos ambientales e incrementan la vida en servicio de las estructuras, proporcionando máxima protección y manteniendo la integridad estructural y estética prolongando su existencia. Aun con los avances de la tecnología del concreto, no se ha podido fabricar ningún tipo de mezcla que no se vea afectada por los diferentes ataques a los que se ven sometidas las estructuras.

Para el caso del concreto de cemento Portland, el comité ACI Guide to Durable Concrete, define a la durabilidad como “su habilidad para resistir a la acción del

---

<sup>19</sup> CEMEX CONCRETO. Manual de Constructor. México, 2015, p. 202.

clima, a los ataques químicos, a la abrasión o cualquier otro proceso de deterioración”<sup>20</sup> . El concreto con alta durabilidad deberá mantener su forma original, calidad y propiedades de servicio cuando esté expuesto a las condiciones de medio ambiente donde se encuentra el proyecto de construcción.

En Boyacá, como en todo Colombia y el mundo, los factores ambientales varían acorde a características geográficas, climáticas, localización, hidrografía, suelo, entre otros. Por lo tanto, las construcciones con estas estructuras, van generando afectaciones en la resistencia del concreto. En el caso específico del ciclo de hielo-deshielo en la zona, ocurre una situación puntual, las partículas de hielo que se depositan dentro del concreto, crean micro fracturas, que luego al descongelarse, generan mayores depósitos de hielo, al repetir el proceso, el hielo vuelve a entrar a la estructura en mayor cantidad, ocasionando que el concreto se quiebre.

Durante los últimos años, se han realizado investigaciones acerca de la durabilidad del concreto y sus alteraciones, cada una de ellas con diversos enfoques. Es allí, donde se ve la necesidad de recopilar esta información, para elaborar una clasificación, analizar y comprender dichas alteraciones, acorde a lo que se ha estudiado en el departamento de Boyacá. Sin embargo, a pesar de todos esos estudios, no se ha logrado mejorar o eliminar totalmente esas afectaciones en los concretos. Lo que trae como consecuencia, el deterioro de las estructuras por diferentes agentes externos (sulfatos, ciclos de hielo - deshielo).

En consecuencia, la presente investigación tiene como propósito analizar las alteraciones que producen el ciclo de hielo – deshielo y los ataques por sulfatos en la durabilidad del concreto, enfocándose en el municipio de Tunja del departamento de Boyacá, con la finalidad de suministrar información útil, a través de la compilación de investigación relacionada a este tema comparada con la realidad del ciudad en estudio, y así proveer de un fundamento claro a tomar en cuenta para que las empresas constructoras y fabricantes de concreto puedan mejorar sus estándares y aumentar la calidad de los materiales, de tal manera que las estructuras logren durar más tiempo sin ser afectadas por los elementos adversos.

Por lo tanto, una vez realizado el planteamiento de la problemática de estudio, se hace necesario realizar las preguntas de la investigación; para ello Bavaresco, señala que “Las mismas serán el soporte de su formulación hipotética. Es a partir de este momento, cuando su investigación se hace más concreta y precisa...”<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> ACI 201.2R-2008. Guide to Durable Concrete. Michigan, U.S.A.: American Concrete Institute.2008

<sup>21</sup> BAVARESCO, Aura. Las Técnicas de la Investigación.8va ed. Zulia, Venezuela: Imprenta Internacional C.A.1979,p.57

En ese sentido, los interrogantes planteados en el estudio, son los siguientes ¿cuáles son los principales tipos de afectaciones que pueden ocurrir en una estructura de concreto?, ¿cómo es el comportamiento del concreto frente a los diferentes ataques a su durabilidad?, ¿qué estudios se han ejecutado a nivel internacional del tema ataques a la durabilidad del concreto? y ¿Qué se ha observado en las construcciones de concreto del municipio de Tunja, basandose en lo estudiado en esta monografía? Para dar respuesta a las interrogantes del estudio se determinan los siguientes objetivos de investigación.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar las distintas investigaciones realizadas de alteraciones que producen el ciclo hielo – deshielo y los ataques por sulfatos en la durabilidad del concreto, enfocándose en el municipio de Tunja del departamento de Boyacá.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Esquematizar los principales tipos de afectaciones que pueden ocurrir en una estructura de concreto.
- Sintetizar la información consultada de los ataques por ciclos de hielo-deshielo, y sulfatos en las estructuras de concreto.
- Comparar las afectaciones estudiadas en los casos que se observan en el municipio de Tunja, con lo sintetizado en este estudio.

### 3. JUSTIFICACION

Cuando se estudia la durabilidad del concreto Silva <sup>22</sup> manifiesta que existen diversos factores determinantes para la durabilidad de una estructura de concreto, como el diseño estructural, materiales y proceso constructivo. Por otro lado, la patología del concreto se define como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios.

Se entiende por patología a aquella parte de la durabilidad que se refiere a los signos, motivos posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto<sup>23</sup>. El concreto puede sufrir, durante su vida, un deterioro que altera su estructura interna y comportamiento. El deterioro, es la degradación de los atributos de un material, de un elemento constructivo y de un sistema constructivo. La degradación es la pérdida de propiedades y características en el tiempo, así la durabilidad es un principio de diseño en la ingeniería y construcción.

Así mismo, la justificación del estudio, está dada por los daños que ocurren en una estructura de concreto, según lo indica <sup>24</sup>. Los agentes que afectan la durabilidad del hormigón son muy variados y pueden ser divididos en dos tipos.

- Los agentes externos son los que se encuentran en el medio ambiente o se deben a condiciones de servicio, entre ellos se encuentran los iones de cloruro, el dióxido de carbono, sulfatos, bacterias, abrasión y ciclos de congelamiento y deshielo.
- Los agentes internos se hallan dentro del mismo concreto, como los iones de cloruro incorporados en determinados aditivos y los álcalis del cemento que reaccionan con agregados potencialmente reactivos.

Es por ello, que se hace necesario compilar información, de ésta forma, determinar cómo influyen los diversos agentes en las estructuras de concreto, y poder compararla con las afecciones observadas en el Departamento de Boyacá.

---

<sup>22</sup> SILVA, Omar. Durabilidad de Concreto: Definiendo la frase. 360 en Concreto, 2015, p. 25-28.

<sup>23</sup> DEL ROSAL, Juan. Durabilidad y Patología del Concreto. Revista Construcción y Tecnología, 2017, p. 14-15.

<sup>24</sup> VALDÉS, Adriana. Durabilidad del Concreto: Conceptos y Sustentabilidad. Revista Construcción y Tecnología, 2017, p.

Del mismo modo, la importancia de la investigación está dada por la necesidad de identificar, clasificar y compilar las posibles causas de las patologías más comunes, el cual responde a un mayor conocimiento de estas alteraciones.

Esta investigación tiene dos ámbitos, uno es el ámbito pedagógico que pretende desarrollar al máximo el interés en investigaciones de próximos semilleros, en cuanto al ámbito metodológico se pretende elevar la capacidad de transferir conocimientos mediante recolección y síntesis de investigaciones.

## **4. ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **4.1 Alcance**

En cuanto al alcance en esta investigación, se desea proveer información al lector de las posibles afectaciones a la durabilidad del concreto. Del mismo modo, se mostrará un análisis de los diferentes estudios, artículos e investigaciones realizadas en diversos países a nivel mundial, comparándolo con algunos casos del municipio de Tunja, del departamento de Boyacá.

### **4.2 Limitaciones**

Se encuentra la limitante, que existen múltiples variables que también afectan la durabilidad del concreto, tanto internas (propiedades físicas y químicas de los diferentes tipos de concretos) como externas (diferentes factores ambientales que afectan en diversas zonas dentro del mismo Departamento de Boyacá), pero en éste caso solo se tratarán ataques de hielo-deshielo y por sulfatos.

## 5. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

### 5.1 ESTADO DEL ARTE

El análisis del estado del arte que se realiza en esta monografía, se agrupa en dos tipos: los ataques por sulfato y los ataques por ciclos de hielo – deshielo. Tomando en cuenta investigaciones realizadas a nivel internacional, nacional y local, donde se han realizado estudios referentes a cómo los agentes externos, mencionados anteriormente, influyen en la durabilidad del concreto.

### 5.2 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

- 5.2.1 ATAQUES POR SULFATOS

“Efectos del sulfato introducido internamente en las propiedades del concreto de la edad temprana: Monitorización acústica activa y simulación de dinámica molecular.”<sup>25</sup>

**Objetivo:** Monitoreo de la evolución en edad temprana del concreto fresco mezclado con iones de sulfato solubles.

**Conceptos destacados:**

Ataque de sulfato: Es el mecanismo de deterioro más complicado de concreto, los iones de sulfatos resultan con una repercusión estructural notable este ataque es interno, deriva de un proceso fisicoquímico, que conduce a la variación dimensional, aumento de tensiones internas y agrietamiento del concreto. Dichas grietas en el concreto proporcionan más caminos para la entrada de otros iones peligrosos lo que acelera la degradación de las estructuras de concreto. Los riesgos de daños internos al concreto se producen en zonas donde es inevitable utilizar el agua salada y agregados que contienen sulfatos (materia prima disponible).

---

<sup>25</sup> JINRUI, Zhang, et al. Efectos del Sulfato introducido internamente en las propiedades del concreto de la edad temprana: Monitorización acústica activa y simulación de dinámica molecular. *Revista El Sevier*, 2018, p. 1014-1024.

**Metodología:** En primer lugar, *mezcla de concreto*; se realiza la mezcla con diferentes concentraciones de sulfato (0.2%, 0.4% y 2.0%). En segundo lugar, *técnica acústica activa*; el principio de funcionamiento de este sistema de monitoreo es utilizar ondas acústicas para detectar el ajuste y proceso de endurecimiento de materiales de concreto fresco, dos sensores se colocan en el concreto fresco recién fundido a una distancia fija; con estos sensores se busca calcular la velocidad de onda longitudinal y el módulo elástico dinámico equivalente que varía en el día 1, al transformarse en estado sólido. En tercer lugar, se realiza la simulación de dinámica molecular donde se observa la influencia del sulfato en el proceso de hidratación del concreto, como también la influencia del sulfato sobre el concreto endurecido. Por último, se realizan estudios por dos métodos, SEM (microscopía electrónica de barrido) y estudios de difracción de rayos (XRD).

**Resultados:** Los resultados experimentales de la monitorización acústica activa revelan claramente la aceleración. La sal de sulfato introducida conduce a valores más altos de índices de propiedades mecánicas en edades tempranas (por ejemplo, 1 día), pero las propiedades mecánicas más pobres del concreto endurecido a la edad de 28 días.

**Conclusiones:** Los iones de sulfato introducidos no solo dañan la matriz de cemento debido a la sobreexpansión de la formación de ettringita, también debilitan la resistencia de carga del enlace químico iónico-covalente en el gel C-S-H. El método acústico activo revela los efectos del sulfato introducido en la evolución temprana del concreto.

Por otra parte, se tiene la investigación. “Deterioro del hormigón por sulfato. Un caso de estudio”<sup>26</sup>

**Objetivo:** Evaluación y monitoreo de muestras concretas como un caso de estudio de la región de Greater Noida, utilizando SEM (microscopía electrónica de barrido) y XRD (estudios de difracción de rayos).

**Muestra:** Se selecciona donde hay condiciones expuestas a causa del desconchado de la cubierta o mezcla inadecuada. Dichas condiciones son eflorescencias blancas en la losa y paredes del tanque de agua del albergue. También grietas visuales en las paredes laterales. Parte del área de columnas de la plataforma de la torre de enfriamiento estaba mal afectados por el agua, debido a la

---

<sup>26</sup> APOORV,C, et al. Deterioro del hormigón por sulfato. Un caso de estudio. Revista El Sevier,2018, p. 17952-17957.

entrada de cloruro por lo que las barras de refuerzo estaban en condiciones expuestas y muy afectadas por la corrosión.

**Metodología:** Se prepara la muestra de la estructura de concreto de diferentes lugares para ser estudiado por medio del método DRX (difracción de rayos ) y por otro lado, otras muestras para estudiarse por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) con el fin de identificar estructuras cristalinas y análisis químico. Seguidamente se realizan las muestras de agua de 1 litro de tres lugares diferentes del sitio para verificar el pH, la conductividad, el cloruro y sulfato del agua para detectar el efecto en las estructuras.

**Resultados:** Para la prueba en XRD, se determina que el 100% de los minerales de cemento de cuarzo y óxido de silicio están presentes en la muestra de concreto de CSH (silicato de calcio hidratado). En la prueba SEM, se observa que hay presencia de CSH gel y portlandita o calcita, también se observa el 7.6% de sulfato de aluminio y sodio lo que acelera el ataque el sulfato y causa la formación de ettringita muestra recolectada en la columna de la plataforma de la torre de refrigeración. En la muestra de agua se observa que hay presencia de mirabilita, entonces, se puede concluir que todos los minerales tienen contenido de sulfato que reduce el contenido de agua y aumenta el volumen de los poros del hormigón.

**Conclusiones:** Los iones químicos presentes en el concreto cuando están en contacto con el agua, son la causa principal del deterioro de las estructuras de concreto. La fase de ettringita está presente en la muestra de la columna de la plataforma de la torre de refrigerante que destruye la pasta C-S-H. El concreto se derrumbará continuamente en esta ubicación, debido a esto se dañará la estructura. Los minerales de sulfato de sodio, como la thenardita, la mirabilita y el silicato de aluminio, están contenidos en forma cristalina, estos provienen de un sulfato de sodio saturado, generando una alta presión de cristalización en los poros del concreto, lo que supone un mayor daño para los materiales.

## **ATAQUES POR CICLOS DE HIELO – DESHIELO**

“Análisis no destructivo del estado de degradación en morteros bajo la acción de ciclos hielo-deshielo”<sup>27</sup>

**Objetivo:** Evaluación de diferentes morteros, con distinto grado de daño por la acción de ciclos de hielo-deshielo.

### **Conceptos destacados:**

Aspecto determinante del proceso de durabilidad del concreto: es la aparición de grietas en el material debido fundamentalmente a efectos medioambientales. Estas grietas reducen las propiedades mecánicas del cemento y permiten la penetración de fluidos en los mismos, y en consecuencia, se disminuye de forma dramática la vida media del cemento y la vida útil de estos materiales.

Deterioro asociado a ciclos de hielo – deshielo: el deterioro mecánico del mortero está relacionado con su naturaleza porosa y con el aumento de un 9% en volumen que experimenta el agua cuando se convierte en hielo. Este incremento de volumen producido no puede ser asumido por el material, cuya resistencia a tracción es superada, y las grietas aparecen para liberar las tensiones producidas. Durante el proceso de congelación el agua sufre incremento de volumen y durante el enfriamiento se produce un proceso de difusión, por lo que es conveniente la existencia de un número suficiente de poros que no estén saturados, para permitir que la expansión se produzca sin deterioros.

**Muestra:** Diferentes morteros con y sin adición de cenizas volantes, sometidos a 56 ciclos de hielo – deshielo. Se utilizaron dos tipos diferentes de cenizas volantes.

**Metodología:** Fabricación de probetas de morteros con adición de cenizas (Ceniza 1, pérdida al fuego comprendida entre el 5% y el 7%; y Ceniza 2, pérdida al fuego menor (P.F.) del 5%). Se realiza el ensayo de hielo y deshielo de acuerdo con las siguientes condiciones: Acondicionamiento de probetas antes del ensayo (curadas bajo agua durante 7 días) y Ciclo de hielo-deshielo (periodo de congelación de 16 horas y descongelación de 8).

---

<sup>27</sup> MENÉNDEZ, Espezanza; DE FRUTOS, Jose y ANDRADE, Cid. *Análisis no destructivo del estado de degradación en morteros bajo la acción de ciclos hielo - deshielo*. Madrid, España: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.2009.

**Resultados:** resultan de importancia dos factores: la temperatura mínima que se alcanza y la frecuencia de ocurrencia de los ciclos, hay que destacar por una parte el aspecto de daño superficial que puede observarse y, por otra parte, la evaluación del daño interno que se produce en el interior del material. Se tomaron en cuenta tres características: Absorción de agua, el aumento de la absorción de agua es debido a la formación de fisuras y a la rotura de la red porosa del mortero. Cambio de longitud, puede considerarse una medida indirecta del daño interno, ya que el resultado de la longitud final afecta a todo el conjunto del material, en una dirección determinada. Modificación del Módulo Dinámico Relativo (RDM), se considera como una medida del daño interno producido por efecto de los ciclos de hielo-deshielo, ya que es un indicador de la formación progresiva de fisuras y huecos en la masa del mortero.

**Conclusiones:** Con las diferentes técnicas aplicadas, se demuestra, que los morteros con cenizas más porosas (pérdida al fuego entre 5% y 7%) y mayor contenido, son las que presentan un mayor grado de deterioro, mientras que los fabricados con cenizas más densas y con menor contenido están menos deterioradas.

También, se tiene la investigación, “Incidencia de los aditivos incorporadores de aire en la resistencia del concreto en climas de baja temperatura de la provincia el Collao - 2017”, **Tesis Publicada - Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez**, Juliaca, Perú, 2017, pp. 122.<sup>28</sup>

**Objetivo:** Evaluar la incidencia de los aditivos incorporadores de aire en la resistencia del concreto a la compresión en climas de baja temperatura de la Provincia el Collao 2017.

### Conceptos destacados:

---

<sup>28</sup> MACHACA, Colque y WILBER, Dante. *Incidencia de los aditivos incorporadores 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. 2017

Durabilidad del concreto: se define como la habilidad de resistir el intemperismo, ataque químico, abrasión y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro en la estructura.

Congelamiento y descongelamiento en la durabilidad del concreto: este ataque al concreto se produce en lugares con temperaturas bajas (menores a 0°C) en donde el concreto se vuelve vulnerable a daños, debido a la congelación del agua que es absorbida dentro de sus poros capilares, ya que ésta incrementa su volumen en un 9% generando presiones. Si los esfuerzos producidos por estas presiones internas exceden la resistencia a la tensión de la pasta ó agregado, generan agrietamiento y deterioro de la pasta, en un proceso que puede, por ciclos sucesivos, tornarse dañino por renovación del medio agresivo, pudiendo llegar a la destrucción parcial o total del concreto.

**Metodología:** se realiza una producción de concretos con un cemento específico y dos tipos de aditivos incorporadores de aire (Sika – Aer y Chema entrampaire), con dosis mínimas, promedio y máximo. Se hace el control de calidad de concreto fresco y endurecido. Para luego realizar el curado del concreto, tanto por inmersión como en la intemperie, identificándose las muestras y por último realizar la rotura de briquetas, y sacar conclusiones.

**Conclusiones:** A mayor cantidad de aire menor es la resistencia obtenida. El promedio aritmético de tres ensayos a los 28 días es mayor a la resistencia del diseño de 210kg/cm<sup>2</sup> ya que al incluir 0.02%, 0.07% y 0.12% del aditivo incorporador de aire **Sika Aer** la resistencia obtenida es de 272.62kg/cm<sup>2</sup>, 248.88kg/cm<sup>2</sup>, 238.80kg/cm<sup>2</sup>. El promedio aritmético de tres ensayos a los 28 días es mayor a la resistencia del diseño de 210kg/cm<sup>2</sup> ya que al incluir 0.01%, 0.13% y 0.25% del aditivo incorporador de **Chema Entrampaire** la resistencia es 231.47kg/cm<sup>2</sup>, 224.86kg/cm<sup>2</sup>, 220.16kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.3 INVESTIGACIONES NACIONALES

## ATAQUES POR SULFATOS

“Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas” <sup>29</sup>

**Objetivo:** revisar el estado del conocimiento con respecto a la durabilidad del concreto enfatizando en los fenómenos que afectan su durabilidad y generan la corrosión del acero de refuerzo.

### Conceptos destacados:

Fenómenos que afectan la durabilidad del concreto: Clasificación: físicos, causados por la exposición a cambios ambientales extremos tales como ciclos de hielo/deshielo o cambios artificiales como la exposición al fuego; químicos, causados por ataques por ácidos y/o sulfatos, agua, o reacción álcali-árido; biológicos y estructurales, presencia de bacterias, sobrecargas, ciclos de cargas, ente otros.

Ciclos de hielo – deshielo: cuando la temperatura ambiental disminuye a valores por debajo de 0 °C, el agua que se encuentra contenida en los poros del hormigón se congela, causando un incremento en volumen del orden del 9%. Como consecuencia, se presentan esfuerzos de tensión, que originan grietas y delaminación del concreto, o en casos más graves, una completa desintegración.

Ataques por sulfatos: este fenómeno se genera cuando el concreto 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 disminución 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 concreto; cuando esto sucede la permeabilidad del concreto incrementa, permitiendo así la entrada de otros agentes que pueden acelerar el deterioro.

**Conclusiones:** esta revisión bibliográfica muestra que la durabilidad del concreto armado está influenciada por distintos factores, algunos de ellos relacionados al material y otros de carácter ambiental, agentes que deben ser considerados en el momento del diseño y construcción de la estructura. Uno de los agentes que influye

---

<sup>29</sup> AGUIRRE, Ana y MEJÍA DE GUTIERREZ, Ruby. Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, 2013, p. 7-38.

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. Por otra parte, los factores que contribuyen a la resistencia del concreto al congelamiento son la relación agua/cemento, el grado de saturación de los poros del hormigón, el curado, la proporción de aire incorporado y los áridos. Así, para mejorar la resistencia se debe tener en cuenta una baja relación agua/cemento, un curado prolongado y un porcentaje de aire incorporado.

Por otro lado el . “Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado”.<sup>30</sup>

**Objetivo:** determinar el efecto que tienen sobre el concreto con agregados gruesos reciclados agentes agresivos, específicamente los sulfatos, que puedan afectar la vida útil de este.

**Muestra:** concreto con agregado reciclado en una solución de sulfato del 5%.

### **Conceptos destacados:**

Ataque químico al concreto, el ión sulfato aparece en mayor o menor proporción en todas las aguas libres subterráneas. El contenido de ión sulfato de las aguas subterráneas es considerable en los terrenos arcillosos, constituyendo uno de los más importantes alimentos de los vegetales. La acción de los sulfatos se produce sobre el hidróxido de calcio y fundamentalmente sobre el aluminato de calcio C3A y el ferro aluminato tetra cálcico C3FA. El ataque del sulfato se manifiesta con una exudación de apariencia blanquecina y agrietamiento progresivo que reduce al concreto a un estado quebradizo y hasta suave. El ataque por sulfatos es uno de los mas peligrosos para el concreto, el agente agresivo comienza por atacar los granos de Clinker hidratados, la pasta de cemento sufre cierta expansión, se torna blanda y por último se agrieta.

**Metodología:** se realiza la determinación de las propiedades físicas de los agregados por medio de granulometrías para agregados reciclados y naturales, gruesos y finos. Se realizan los ensayos de densidad y absorción. Se realiza la prueba de masa unitaria (masa compactada y masa suelta). Se realiza la prueba de presencia de materia orgánica. Luego se realiza el diseño de mezcla para las diferentes muestras, por ultimo se ejecuta la prueba de compresión.

---

<sup>30</sup> GARZÓN, William. *Estudio de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto con agregado reciclado*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.2013.

**Conclusiones:** para las muestras con reemplazos del 100% del agregado reciclado, se obtuvieron mezclas con menores asentamientos y por lo tanto menor trabajabilidad. Durante el proceso de fundida de las muestras se tomaron unas plaquetas con el material sobrante del concreto. Aunque fue sin dimensiones normalizadas, se evidenció, que los concretos con agregados reciclados, presentan efectos de retracción más notables que los concretos con agregados naturales. Se evidenció la mayor absorción de los agregados reciclados de concreto. El porcentaje de reemplazo de agregados naturales por agregados reciclados afecta la resistencia a la compresión de las muestras. Para todas las mezclas que se curaron en la solución del 5% de sulfato, se evidencio un incremento, en promedio de la resistencia a los 28 días del 9.5%, teniendo como referencia, que el incremento mas considerable de esta resistencia se presentó en la muestra (100% RAR, A/C 0.58, RCV 0%), donde se evidenció un incremento porcentual de la resistencia en un 24.8%. Esto reafirma que los concretos con agregados reciclados con relaciones A/C mas altas pueden presentar mejores comportamientos, ante el ataque de la solución de sulfatos, con relaciones A/C que no necesariamente sean bajas.

#### 5.4 INVESTIGACIONES LOCALES

- **INFLUENCIA DE LOS CICLOS HIELO-DESHIELO EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO (CASO TUNJA)**

“Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (caso Tunja)”<sup>31</sup>

**Objetivo:** Análisis de afectación de un agente de deterioro del concreto, conocido como ciclo hielo-deshielo, que se presenta en Tunja en época de heladas.

**Conceptos destacados:**

Estructura porosa del concreto: es el sistema conformado por todos los poros contenidos y su distribución en el interior de su masa. Los parámetros fundamentales relacionados con el transporte de sustancias al interior de los poros: la porosidad fundamental y la distribución del tamaño de los poros; este último

---

<sup>31</sup> PÁEZ, Diego; LEAL, Vicente y RESTREPO, Maria. Influencia de los ciclos hielo - deshielo en la resistencia del concreto (Caso Tunja). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 2009, p. 95-110

condiciona el tipo y velocidad de mecanismo de transporte. Según el tamaño de los poros del concreto se clasifican en macroporos, poros capilares y microporos.

- Durabilidad del concreto: está definida como la capacidad que tiene éste para resistir las acciones del entorno, medio ambiente que lo rodea, que le pueda generar cualquier proceso de deterioro.
- Mecanismos de daños y acciones físicas: son aquellas de las que se derivan los cambios volumétricos que experimenta el concreto en cualquiera de sus estados, debido a los cambios de humedad y/o de temperatura, y variaciones en la masa, que se ven reflejados principalmente en cambios en el peso unitario, la porosidad, permeabilidad y hermeticidad.
- Ciclo hielo - deshielo: es un fenómeno cíclico de congelamiento y descongelamiento del agua contenida en los poros del concreto endurecido en períodos de tiempo determinados. Constituye uno de los agentes agresores más destructivos del concreto, ya que involucra y afecta tanto la pasta y los agregados individualmente como en conjunto.

**Muestra:** se elaboró un grupo de 24 probetas cilíndricas de concreto manejando dos variables de experimentación aparte del ambiente, que fueron la variación en el tipo de curado y en la relación agua-cemento.

**Metodología:** simulación del proceso de forma acelerada, con períodos de hielo en la noche y de deshielo en el día, durante un tiempo continuo, en los que se manejaron dos ambientes: uno artificial (refrigerador – temperatura baja) y uno natural (ambiente).

**Resultados:** la variación de la resistencia a la compresión de probetas afectadas frente a las probetas patrón con R a/c: 0,5 fue de 7,8%, 8,8% y 13,7% para las probetas sin curar, curadas en obra y curadas en laboratorio, respectivamente. - La variación de la resistencia a la compresión de probetas afectadas frente a las probetas patrón con R a/c: 0,7 fue de 13,5%, 15,1% y 17,9% para las probetas sin curar, curadas en obra y curadas en laboratorio, respectivamente.

**Conclusiones:** según los resultados de resistencia a la compresión obtenidos frente a los tipos de curado, la variación no es muy grande, lo que indicaría que no

es necesario un buen proceso de curado, pero sería una concepción errónea ya que aunque se alcance la resistencia diseñada, en el aspecto físico se ocasionaría el inicio de un deterioro por la aparición de fisuras, que afectarían su durabilidad. La afectación del ciclo es considerable a edad temprana del concreto, con un deterioro físico acentuado en condiciones de alta humedad (probetas con curado por inmersión-curado en laboratorio).

- **DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO DEL PUENTE DE LA IGLESIA LAS NIEVES DE LA CIUDAD DE TUNJA DE BOYACÁ**

“Diagnóstico patológico del puente de la Iglesia Las Nieves de la ciudad de Tunja”,<sup>32</sup>

**Objetivo:** elaborar el diagnóstico patológico que presenta la infraestructura del puente de la Iglesia las Nieves, de la ciudad de Tunja, teniendo en cuenta que la arquitectura hace parte del patrimonio histórico, cultural y religioso del centro histórico de Tunja.

**Muestra:** puente de Iglesia las Nieves, Tunja.

**Metodología:** se realizó en tres grandes etapas que son: 1.- Historia clínica: es una recopilación de información general y específica de la construcción; 2.- diagnóstico, determinación de los indicios sobre las posibles causas de las diferentes lesiones y 3.- intervención: dar pautas para la intervención, en diferentes aspectos tales como materiales, técnicas y procedimientos para mitigar los daños encontrados.

**Resultados:** se hace una descripción general y específica de la edificación seleccionada, como lo es: localización, antecedentes, análisis general de entorno, datos específicos de la edificación, para posteriormente realizar el diagnóstico donde se observó lo siguiente: el nivel de daño de la estructura en cada una de las partes del puente, identificación de las lesiones más relevantes y reconocimiento de las mismas; se realizaron unos ensayos no destructivos al ladrillo como el color, dimensionamiento, absorción, densidad aparente, resistencia a la compresión. Luego de esto, se plantean algunas alternativas de intervención.

---

<sup>32</sup> JAIME, Isaura y LÓPEZ, Neyda. *Diagnóstico patológico del Puente de la Iglesia Las Nieves de la Ciudad de Tunja*. Boyacá, Colombia: Universidad Santo Tomás. 2017

**Conclusiones:** los principales problemas que se encuentran en la mampostería del puente de la iglesia las nieves son las alteraciones producidas por los agentes atmosféricos, favorecido por las variaciones climáticas, presentando humedad, erosión, desprendimientos, acumulación de suciedad; la aparición de eflorescencias o criptoeflorescencias, microfisuraciones, disgregación, grietas, escamaciones, erosiones y pulverización, adicionalmente se presentas ataques químicos y físicos.

En los anexos se muestran fichas resumidas de los casos de estudio en el municipio de Tunja. (Ver anexos 1 y 2)

## **6. MARCO TEÓRCIO**

### **6.1 TECNOLOGÍA DEL CONCRETO**

Según la asociación colombiana de productos de concreto ASOCRETO y NIÑO<sup>33</sup>, el concreto puede ser definido como la mezcla de un material aglutinante (normalmente cemento Portland Hidráulico), unos materiales de relleno (agregados) y agua que al endurecer, forma un sólido compacto y adquiere propiedades de carácter mecánico, físico y químico; así mismo se ha convertido en un material de construcción más ampliamente utilizado a nivel mundial, usado como elemento estructural y no estructural.

Dentro de los elementos que componen un concreto existe una por una pasta o pegante la cual es la mezcla de cemento, agua, aire (naturalmente atrapado o intencionalmente incorporado).

### **6.2 CEMENTO PÓRTLAND**

Según Niño<sup>25</sup>, el cemento Portland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. Llamado así por la similitud con una piedra que abunda en Portland, Inglaterra.

Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación.

Hoy en día se fabrican diversos tipos de cemento para satisfacer diferentes necesidades y para cumplir con propósitos específicos, los cuales están enunciados y clasificados en la norma técnica colombiana (NTC121) de la siguiente manera: tipo UG (cemento hidráulico para construcción general), tipo ART (cemento de alta resistencia temprana), tipo MRS (cemento de moderada resistencia a los sulfatos), tipo ARS cemento de alta resistencia a los sulfatos), tipo MCH ( cemento de moderado calor de hidratación), tipo BCH (cemento bajo calor de hidratación). <sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> NIÑO, Jairo. Tecnología del Concreto. *Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Bogotá, Colombia: Asocreto.2010.

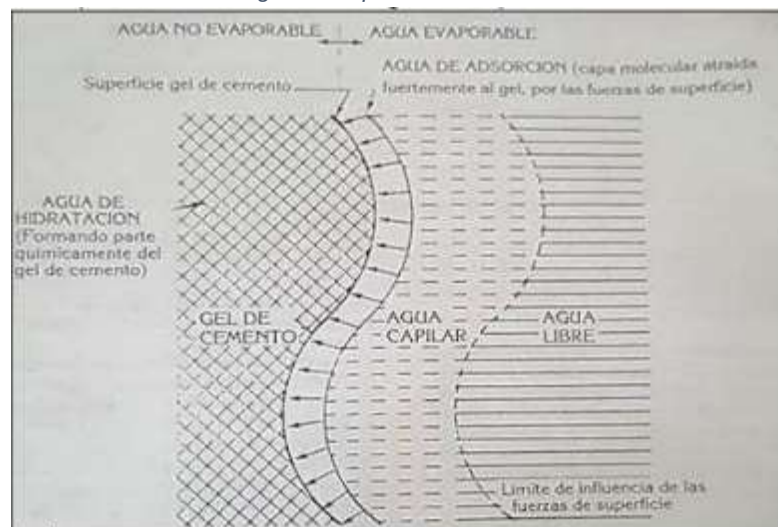
<sup>34</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ingeniería civil y arquitectura. Cemento pórtland. Especificaciones físicas y mecánicas, NTC 121. Bogotá D.C.: El Instituto.1982

### 6.3 AGUA PARA EL CONCRETO

Es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto debido a que desempeña una función vital en estado fresco y endurecido. Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia. En cuanto a la adición durante el curado del concreto, no solamente su cantidad es fundamental, sino también su calidad química y física.

El agua en el concreto reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, de la misma manera hay una cantidad que se evapora, pero no se encuentra libre en su totalidad como se observa en la figura 1.

Figura 1. Esquema de la ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado



Fuente: Libro Tecnología del concreto y del mortero, (1996)

Así mismo existe agua libre que se encuentra afuera de la influencia de las fuerzas de superficie de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad <sup>35</sup>

<sup>35</sup> SÁNCHEZ, Diego. *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá: Blandhar Editores Ltda.1996.

Según Bernal<sup>36</sup> las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el concreto y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes. Las causas más frecuentes de manchas son: el hierro o la materia orgánica disuelta en el agua.

## **6.4 AGREGADOS**

Los agregados son el mayor constituyente del concreto, generalmente componen más del setenta por ciento (70%) del material en un metro cubico de concreto y son los que hacen que este sea un material económico de construcción Sánchez<sup>26</sup> Rivera<sup>37</sup> Niño<sup>25</sup>. En combinación con esta proporcionan resistencia mecánica, al hormigón en estado endurecido y controlan los cambios volumétricos que normalmente tienen lugar durante el fraguado del cemento.

Según Niño <sup>25</sup>, la calidad de los agregados está determinada por el origen, por su distribución granulométrica, densidad, forma y superficie. Se han clasificado en agregado grueso y agregado fino, fijando un valor en tamaño de 4,76 mm a 0,075 mm para el fino o arena y de 4,76 mm en adelante para el grueso. Frecuentemente, la fracción de agregado grueso es subdividida dentro de rangos, tales como, 4,76 mm a 19 mm para la gravilla y de 19 mm a 51 mm para la grava.

También afirma que, para obtener un buen concreto, es necesario que la mezcla de arena y grava logre una granulometría que proporcione masa unitaria máxima, puesto que con esta condición el volumen de los espacios entre partículas es mínimo y por consiguiente la cantidad de pasta necesaria para pegarlas y para llenar los espacios entre ellas será mínimo, lo cual dará lugar a una mezcla de mejores condiciones técnicas y además, económicas.

## **6.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO**

Según Sánchez <sup>26</sup> el concreto posee diferentes propiedades durante el proceso de cambio, este se va manifestando cuando hay disminución gradual de la fluidez y manejabilidad, existen tres etapas fundamentales y esenciales; en la primera en donde el concreto es un material blando y maleable, la segunda etapa es el tiempo de fraguado o endurecimiento del concreto, en este se evidencia el incremento progresivo de la rigidez y la tercera etapa corresponde al endurecimiento que lo conduce a la adquisición de propiedades mecánicas y de otra índole, cuyo

---

<sup>36</sup> BERNAL, Jaime. *El Agua del Concreto* [en línea]. [Citado: 19, agosto, 2019]. Disponible en internet: <URL:<http://elconcreto.blogspot.com.co/2009/01/el-agua-del-concreto.html>>

<sup>37</sup> RIVA, Enrique. *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Perú: Aciperú.2010.

desarrollo suele representarse mediante la evolución de la resistencia a compresión.

**Propiedades del concreto fresco.** Según Niño <sup>25</sup> las propiedades en estado fresco del concreto deben permitir que se llene adecuadamente las formaletas, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

- Trabajabilidad o manejabilidad.
- Ensayo de asentamiento.
- Segregación.
- Exudación o sangrado.
- Masa unitaria.
- Contenido de aire.
- Contenido de agua.

**Propiedades del concreto endurecido.** Un concreto en estado endurecido las propiedades mecánicas son las principales exigencias para un adecuado funcionamiento de un concreto Sánchez<sup>26</sup> Riva<sup>28</sup> y Niño<sup>25</sup> dicen que no solo la capacidad mecánica para soportar esfuerzos hace a un concreto adecuado para la construcción, sino que además se debe generar una composición idónea, que lo haga apto para resistir con éxito durante toda la vida útil las acciones detrimentes inherentes a las condiciones en que opera la estructura, que pueden generar deterioro prematuro del concreto.

Resistencia a la compresión. Según Sánchez<sup>26</sup> la gran mayoría de estructuras de concreto son diseñadas bajo la suposición de que este resiste únicamente esfuerzos de compresión, por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad (Tabla 1), y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.

*Tabla 1. Concreto según la resistencia*

| CONCRETO SEGÚN LA RESISTENCIA      |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
|                                    |                            |
| CONCRETO                           | RESISTENCIA MPa            |
| Concreto normal                    | $\leq 42$                  |
| Concreto de alta resistencia       | $> 42 \text{ y } \leq 100$ |
| Concreto de ultra alta resistencia | $> 100 \text{ Mpa}$        |

Fuente: Libro Tecnología del concreto (2010).

- Resistencia a la tracción. Por su naturaleza, el concreto es bastante débil a esfuerzos de tracción, esta propiedad conduce generalmente a que no se tenga en cuenta en el diseño de estructuras normales. La tracción tiene que ver con el agrietamiento del concreto, a causa de la contracción inducida por el fraguado o por los cambios de la temperatura, ya que estos factores generan esfuerzos internos de tracción; Sánchez<sup>26</sup> Riva<sup>28</sup> y Niño<sup>25</sup>
- Resistencia a la flexión. Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción. Este factor es fundamental en estructuras de concreto simple, como las losas de pavimentos Sánchez<sup>26</sup> Riva<sup>28</sup> y Niño<sup>25</sup>.
- Resistencia a cortante. La resistencia del concreto a esfuerzos cortantes es baja, sin embargo, generalmente es tomada en cuenta por los códigos de diseño estructural. Este tipo de esfuerzos es importante en el diseño de vigas y zapatas, en donde se presentan en valores superiores a la resistencia del concreto Sánchez<sup>26</sup> Riva<sup>28</sup> y Niño<sup>25</sup>.
- Determinantes de la resistencia. Según Riva,<sup>28</sup> los determinantes de la resistencia de un concreto en condiciones normales son:
  - La marca, tipo, antigüedad, superficie específica y composición química del cemento.
  - La calidad del agua.
  - La dureza, resistencia, perfil, textura superficial, porosidad, limpieza, granulometría, tamaño máximo y superficie del agregado.
  - La resistencia de la pasta.
  - La relación a/c (agua-cemento).
  - La relación material cementante-agregado.
  - La relación del agregado fino al agregado grueso.

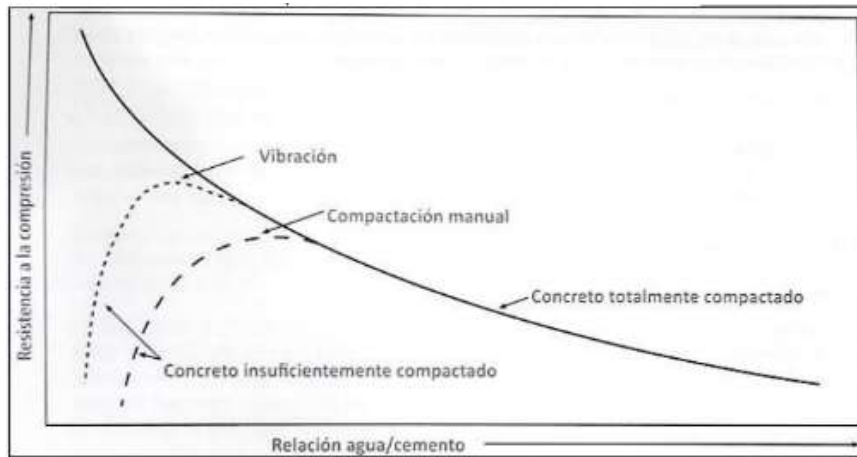
- La relación de la pasta a la superficie específica del agregado.
  - La resistencia por adherencia pasta-agregado.
  - La porosidad de la pasta.
  - La relación gel-espacio.
  - El fraguado.
  - El curado
  - La edad del concreto
  - Las condiciones del proceso de puesta en obra.
- Resistencia de los Agregados. Para una resistencia adecuada del concreto los agregados deben cumplir requisitos de calidad y unas características tales como
    - Textura y forma. Las partículas de agregado con textura rugosa o de carácter angular forman concretos más resistentes que otras redondeadas o lisas, debido a que hay mayor trabazón entre los granos gruesos y el mortero.
    - Granulometría. Una masa de agregados cuya granulometría sea continua, permite elaborar mezclas de alta capacidad, mucho más densas y por lo tanto se consiguen mayores resistencias.
    - Resistencia. Este factor y la rigidez propia de los granos de agregado influyen en la resistencia del concreto.
    - Influencia del tamaño máximo. Para un concreto normal, existe un rango amplio en los volúmenes máximos que pueden usar para una misma resistencia, esencialmente con igual contenido de cemento. Únicamente se requiere de mayor cantidad de hormigón si se utilizan agregados de tamaños pequeños.

Relación Agua-Cemento. Es la porción de agua en masa, sin incluir el líquido adsorbido por los agregados, sobre la cantidad de hormigón en masa Sánchez<sup>26</sup> Riva<sup>28</sup> y Niño<sup>25</sup>.

A baja cantidad de agua en relación al cemento, superior su firmeza a la compresión, menor fluidez o trabajabilidad y mayor durabilidad y a mayor agua en relación al cemento es menor su resistencia a la compresión, mayor fluidez o trabajabilidad y menor durabilidad, como se muestra en la figura 2, en donde se observa que, para una relación a/c menor, mayor es la resistencia pero también depende de la forma de compactación. Al ser menor la cantidad de agua con relación al cemento posee menor cantidad de poros y vasos capilares que se forman

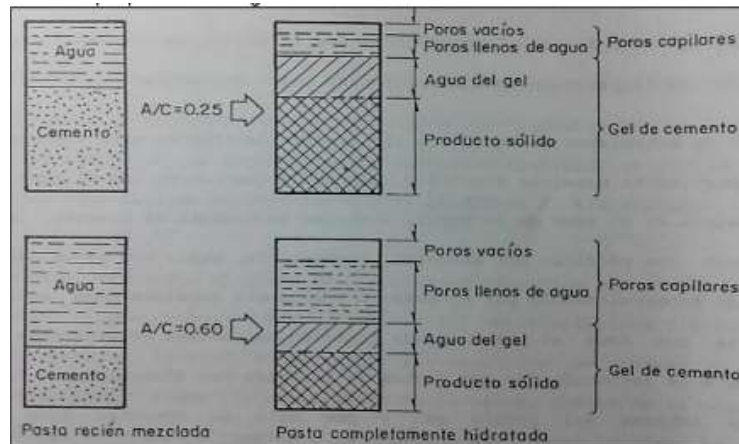
durante su evaporación, como se muestra en la figura 3, de la misma forma al tener menor porcentaje de porosidad mayor es la resistencia a compresión, como se indica en la figura 4.

Figura 2. Resistencia a compresión en función de la relación a/c



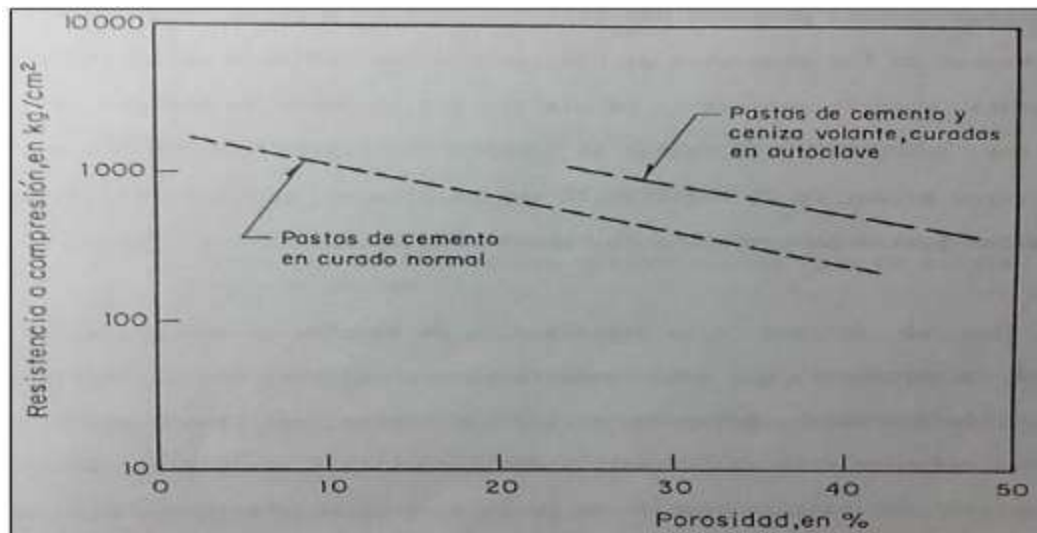
Fuente: Libro Tecnología del concreto (2010)

Figura 3. Incremento de los poros capilares en la pasta de cemento hidratada, al aumentar la proporción de agua de mezcla



Fuente: Manual de tecnología del concreto (1994)

Figura 4. Relación experimental entre la porosidad y la resistencia a compresión de diversas pastas de cemento



Fuente: Manual de tecnología del concreto (1994).

## 6.6 DURABILIDAD DEL CONCRETO

Según Niño<sup>25</sup> y de acuerdo con el comité 116 del ACI, esta característica es la habilidad para resistir la acción del medio ambiente, los ataques químicos, la abrasión y otras condiciones de servicio, de tal manera que sus características y propiedades se mantengan a lo largo de su vida útil.

Las condiciones a las que está expuesto un concreto llegan a ser de origen químico, físico o biológico, los cuales pueden afectar la durabilidad del hormigón.

- Ataques químicos. Debido a ácidos, sulfatos, reacción álcali-agregado y carbonatación del elemento.
- Ataques físicos. Debido a congelamiento-deshielo, humedecimiento y secado, abrasión y fuegos
- Ataques biológicos. Debido a la vegetación, microorganismos y agentes derivados de la descomposición orgánica.

Tabla 2. Influencia de las condiciones medioambientales sobre los componentes del concreto.

| INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES MEDIOAMBIENTALES SOBRE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO                                                                     |                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FUENTE                                                                                                                                                | COMPONENTE MAS AFECTADO EN ORDEN DE IMPORTANCIA                                                       |
| <u>Ataque químico</u><br>1.- Ataque por ácidos<br><b>2.- Ataque por sulfatos</b><br>3.- Reacción álcali - agregado<br>4.- Carbonatación del cemento   | 1.- Pasta<br><b>2.- Pasta</b><br>3.- Agregado<br>4.- Pasta                                            |
| <u>Ataque físico</u><br><b>1.- Congelamiento - deshielo</b><br>2.- Humedecimiento - secado<br>3.- Cambios de temperatura<br>4.- Abrasión<br>5.- Fuego | <b>1.- Pasta, agregados</b><br>2.- Pasta<br>3.- Pasta, agregados<br>4.- Pasta, agregados<br>5.- Pasta |

Fuente: Libro Tecnología del concreto (2010).

Valdez<sup>16</sup> dice que la durabilidad es la capacidad que tienen las estructuras de concreto reforzado de conservar inalteradas sus condiciones físicas y químicas durante su vida útil cuando se ven sometidas a la degradación de su material por diferentes efectos de cargas y sollicitaciones, las cuales están previstas en su diseño estructural. Dicho planteamiento debe estipular las medidas adecuadas para que la construcción alcance la vida útil establecida en el proyecto, teniendo en cuenta los estados ambientales, climatológicos y el género de edificio a construir. Las precauciones indicadas en la etapa de proyecto suelen ser muy eficaces y reducen posibles gastos posteriores.

Algunos conceptos a tomar en cuenta al abordar la durabilidad del concreto son:

- Vida prevista: se trata del período para el que una estructura fue diseñada y construida a fin de satisfacer los requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de durabilidad, de comportamiento y de seguridad.
- 
- Vida útil: período previsto para que un mecanismo de daño o un agente agresor de inicio al deterioro del concreto habiéndose vencido la barrera de protección, pero sin que haya iniciado el debilitamiento de la estructura.
- 
- Vida útil de servicio: período considerado desde la ejecución de la estructura hasta que se complete un nivel aceptable de deterioro.

- Vida útil total: período que comprende desde la ejecución hasta un colapso total de la estructura.
- Vida útil residual: es el tiempo en que a partir de la fecha de supervisión la estructura aún puede desempeñar sus funciones.

## 6.7 PATOLOGÍA DEL CONCRETO

Del Rosal<sup>15</sup>, define la patología del concreto como el estudio sistemático de los procesos y características de las “enfermedades” o los “defectos y daños” que puede sufrir el concreto, sus causas, sus consecuencias y remedios. Se entiende por Patología a aquella parte de la Durabilidad que se refiere a los signos, causas posibles y diagnóstico del deterioro que experimentan las estructuras del concreto.

El deterioro es la degradación de los atributos de un material, de un elemento constructivo y de un sistema constructivo. La degradación es la pérdida de propiedades y características en el tiempo, así la durabilidad es un principio de diseño en la ingeniería y construcción. Los concretos constituidos con materiales apropiados convenientemente proporcionados y bien consolidados, aseguran la durabilidad de las construcciones. El concreto puede sufrir, durante su vida, defectos o daños que alteran su estructura interna y comportamiento. Algunos pueden ser congénitos por estar presentes desde su concepción y/o construcción; otros pueden haberlo atacado durante alguna etapa de su vida útil; y otros pueden ser consecuencia de accidentes. Los síntomas que indican que se está produciendo daño en la estructura incluyen manchas, cambios de color, hinchamientos, fisuras, pérdidas de masa u otros.

El daño al concreto puede ser causado por agentes externos, en el desarrollo de esta monografía son clasificados en químicos y físicos o ambientales. El efecto químico producido por el sulfato, y el ambiental producido por el ciclo de hielo-deshielo, ambos afectan de forma negativa la durabilidad del concreto.

## 6.8 ATAQUES POR SULFATOS

Rivera<sup>38</sup> afirma que las sales en estado sólido no atacan al concreto, pero cuando se encuentran en solución pueden reaccionar con la pasta de cemento endurecido. Algunas arcillas contienen, por ejemplo, álcalis y sulfatos de calcio y de magnesio, y las aguas freáticas con este tipo de arcilla son una solución de sulfatos. Por lo

---

<sup>38</sup> RIVERA, Gerardo. *CONCRETO SIMPLE*. Valle del Cauca: Universidad del Cauca.2010.

tanto, puede haber un ataque al cemento, al reaccionar el sulfato con la  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y con el  $\text{C}_3\text{A}$ .

La rapidez de ataque del sulfato incrementa al elevarse la concentración de la solución, pero más allá de una concentración alrededor del 0.5% de  $\text{MgSO}_4$ , o del 1% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  la rapidez con que aumenta el ataque es menor. Una solución saturada de  $\text{MgSO}_4$  causa graves deterioros en el concreto aunque con una relación agua/cemento baja, esto tiene lugar solamente después de 2 o 3 años.

Además de la concentración de sulfatos, el grado de agresión al concreto, depende también de la velocidad con que el sulfato removido por la reacción con el cemento puede ser reemplazado. Por lo tanto, para estimar el peligro del ataque de sulfatos, debe conocerse el movimiento del agua freática. En el momento que el concreto está expuesto a la presión de agua sulfatada por un lado, la rapidez de ataque será máxima. Asimismo, la saturación seguida del secado, produce deterioro rápido. Por otra parte, cuando el concreto se encuentra totalmente bajo tierra, sin cauce alguno de agua freática las condiciones son menos severas.

El concreto atacado por sulfatos tiene un aspecto blanquecino y característico. El daño suele iniciarse en los bordes y los ángulos, va seguido por agrietamientos y descascamientos progresivos que reducen el hormigón a un estado frágil o incluso blando.

*Figura 5. Ataque por sulfato en el concreto*



*Fuente: (ARGOS , 2011)*

La vulnerabilidad del concreto a sulfatos puede reducirse con el empleo de cemento con mínima cantidad en aluminato tricálcico ( $C_3A$ ). Con los cementos tipo 2 y 5 de bajo contenido de  $C_3A$  los problemas de variación de volumen y formación de grietas serán menores que con los demás tipos, por lo tanto, la acción de los sulfatos tendrá una importancia menor. La oposición al ataque de los sulfatos mejora también mediante la adición o sustitución parcial del cemento con puzolanas. La resistencia del concreto al ataque de sulfatos depende igualmente de su impermeabilidad.

La resistencia del concreto al ataque de sulfatos puede determinarse en el laboratorio, mediante la inmersión de muestras en una solución de sulfato de sodio o de magnesio o bien una mezcla de los dos. Al humedecer y secar sucesivamente se acelera el daño, debido a la cristalización de las sales en los poros del concreto. Los efectos de exposición pueden estimarse por la pérdida de resistencia de la muestra, por los cambios en su módulo de elasticidad, su expansión, su detrimento de masa o incluso con una inspección visual.

## **6.9 ATAQUES POR CICLOS DE HIELO - DESHIELO**

Según el boletín<sup>39</sup> una de las causas principales de la degradación del concreto en regiones frías es el efecto provocado por los ciclos hielo-deshielo. La transición del hielo al deshielo está acompañada por cambios dimensionales y cambio de la tensión interna, pudiendo causar la pérdida de la capacidad resistente del concreto.

En ambientes sujetos a grandes variaciones de temperatura, que nos llevarán a ciclos de hielo-deshielo, el concreto será susceptible al descascarillado y al daño microestructural interno.

En los países de clima continental el daño por ciclos repetidos de hielo-deshielo es causa frecuente del deterioro del hormigón. Este problema se ve incrementado por el uso de las sales fundentes empleadas en los pavimentos.

---

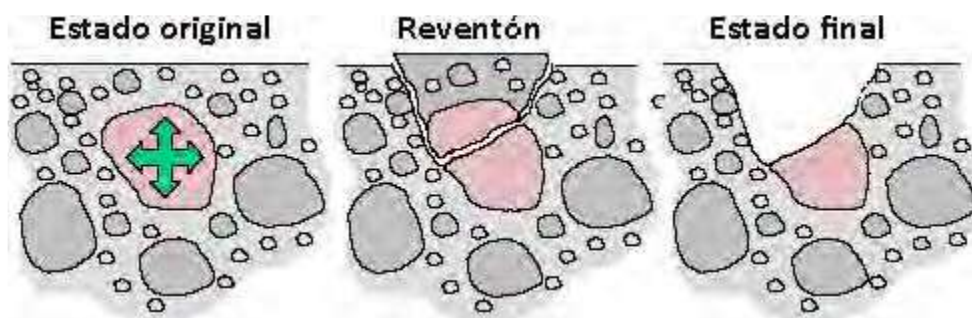
<sup>39</sup> BOLETIN TÉCNICO. (s.f.). *Hormigón sometido a ciclos Hielo - Deshielo*.

## Congelación del concreto

El agua líquida aumenta su volumen en un 9% al congelarse, transformándose en hielo. Como la red capilar del concreto contiene agua, al bajar la temperatura se producirá la congelación de la disolución interna del hormigón.

Aumenta el volumen del líquido de la red capilar crea tensiones mecánicas sobre las fases sólidas finalmente fisura el concreto. La temperatura de congelación del agua pura es de  $0^{\circ}\text{C}$ , el hormigón, en cambio, se congela a temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ . Incluso para un 100% de saturación de agua, la dilatación se produce por debajo de  $-5^{\circ}\text{C}$

Figura 6. Actividad del concreto durante el ciclo de hielo – deshielo.



Fuente: Boletín técnico 10007

Cuanto menor sea el diámetro del poro “más unida” está la molécula a la fase sólida y resultará “más difícil congelarla” ya que se requieren temperaturas más bajas.

No toda el agua de un concreto es congelable. Cuanto más baja sea la temperatura, mayor será la proporción de líquido que se encuentra congelado, pero, dentro de un intervalo práctico de temperaturas, siempre existe parte del agua del hormigón que está en estado líquido.

Cuando la temperatura disminuye: se congelan primero los poros de mayor diámetro y posteriormente los más pequeños. El agua no tiene hacia donde expandirse porque los orificios de gran tamaño ya están congelados, esto creará tensiones mecánicas en los agujeros de menor calibre y su fisuración.

Por otro lado, Rivera<sup>29</sup> señala que los efectos adversos producidos por congelación y deshielo son unos de los problemas principales de la durabilidad. El deterioro

puede ser producido por la propagación del agua de la pasta, la dilatación de algunas partículas del agregado o la combinación de ambas.

La inclusión de aire mejora la resistencia a este tipo de deterioro. La dilatación destructiva del agua de la pasta durante la congelación la absorbe el concreto con aire incluido, las burbujas de aire de la pasta son equivalentes a cámaras en las que se disipa la fuerza expansiva. Cuando se congela el concreto expuesto a la humedad durante un largo tiempo, lo suficiente como para saturar algunas partículas del agregado (en particular del agregado grueso), pueden generarse presiones hidráulicas destructivas. El agua desalojada de estas partículas del agregado, durante la formación del hielo, no puede escapar con suficiente rapidez a través de la pasta que lo rodea y así evitar que se produzca esta presión. Sin embargo, bajo casi todas las condiciones de exposición a la intemperie, una pasta de buena calidad, con baja relación agua/cemento, puede impedir que las partículas del agregado se saturen.

Si la pasta contiene aire, este puede alojar las pequeñas cantidades en exceso de agua que son expulsadas del agregado, protegiendo así al concreto de los daños producidos por la congelación y la fusión.

## 7. CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Una vez formulado el problema de investigación, delimitados sus objetivos y asumidas las bases teóricas que orientan el sentido de la misma de manera precisa, a fin de indicar el tipo de datos que se quiso indagar, se seleccionó el método y la técnica que hizo posible obtener la información requerida. A fin de cumplir con este importante aspecto inherente a todo proceso de investigación, se elaboró el Marco Metodológico. Para ello Arias<sup>31</sup>, explica que este es como el “Conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas”<sup>40</sup> En otras palabras, es la estructura sistemática para la recolección, ordenamiento y análisis de la información, que permite la interpretación de los resultados en función del inconveniente que se investiga.

### 7.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación presenta un diseño de tipo descriptiva-documental. Basado en Bizquera<sup>41</sup> el cual menciona que, en una investigación descriptiva: “No se manipula ninguna variable. Se limita a observar y describir los fenómenos. Se incluyen dentro de la investigación descriptiva a los estudios de desarrollo, estudios de casos, encuestas, estudios correlacionales, estudios de seguimiento, análisis de tendencias, series temporales, estudios etnográficos, investigación histórica” etc. (p.65)

Mientras que Bernal<sup>42</sup> expresa que una investigación documental “consiste en un análisis de la información escrita sobre un determinado tema, con el propósito de establecer relaciones, diferencias, etapas, posturas o estado actual del conocimiento respecto al tema objeto de estudio” (p.111).

Dado que el objetivo de la monografía es analizar las distintas investigaciones realizadas de alteraciones que producen a la durabilidad del concreto, específicamente por ataques del ciclo de hielo – deshielo y por sulfatos, enfocándose también en el municipio de Tunja, Boyacá, se utilizará recolección documental; esto conlleva a determinar que la investigación es de tipo descriptiva – documental.

---

<sup>40</sup> ARIAS, Fidias. *Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Espíteme, 2006, p.16.

<sup>41</sup> BISQUERRA. *Introducción conceptual al análisis multivariable*. Barcelona: P.P.U, 1989, p.65.

<sup>42</sup> BERNAL, Cesar. *Metodología de la Investigación*. Colombia: Pearson Educación de Colombia Ltda, 2010, p.111.

## 7.2 Enfoque de la investigación

El presente trabajo está elaborado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cualitativo, puesto que este es el que mejor se adapta a las características y necesidades de la investigación.

El planteamiento cualitativo no busca explicaciones sino análisis para luego generar una teoría a partir de los resultados, este enfoque “se selecciona cuando el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos que los rodean, profundizando en sus puntos de vista, interpretaciones y significados” Hernández, Fernández y Batista<sup>43</sup>

## 7.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Mercado<sup>44</sup> Se refiere a la técnica de recolección de datos como “el fundamento de toda investigación”, donde realiza la recopilación de información de libros y trabajos relacionados con su tema, a partir de dos aspectos: el general y el particular, registrando la información en tarjetas bibliográficas.

La técnica de recolección de datos que se utilizó en esta investigación fue la revisión bibliográfica o análisis de documentos, el cual se seleccionaron revistas, documentaciones, monografías y tesis, referentes al estudio, tomando en cuenta los que representan gran importancia para el tema investigado

Para Bernal,<sup>33</sup> un análisis de documentos “es una técnica basada en fichas bibliográficas que tienen como propósito analizar material impreso”.

## 7.3 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Sabino<sup>45</sup> Argumenta que un instrumento de recolección de datos es, en principio: “Cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información. De este modo, el instrumento sintetiza en sí toda la labor previa de investigación: resume los aportes del marco teórico al seleccionar

---

<sup>43</sup> HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ y BATISTA. *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. 2014.

<sup>44</sup> MERCADO, Salvador. *¿Cómo hacer una tesis?* México: Limusa Noriega Editores, 2006, p. 63.

<sup>45</sup> SABINO. *El proceso de Investigación*. Caracas: Panapo Editor. 1992

datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto, a las variables o conceptos utilizados”.

El instrumento utilizado para recopilar la información, fue una matriz bibliográfica y una analítica, elaborada de la siguiente manera:

1.- La matriz bibliográfica, es un instrumento elaborado en el programa Microsoft Excel, donde se hizo el compendio del material obtenido, incorporando los siguientes ítems: número, título, autor, año, resumen, tipo de material, centro de documentación y país.

2.- La matriz analítica, de igual forma, fue un instrumento elaborado en el programa Microsoft Excel, pero en este caso, se colocaron sólo los textos que se consideraron importantes para el estudio, filtrándose como se presenta a continuación:

- Cuatro (04) estudios a nivel internacional, incluyendo dos (02) relacionados al ataque por sulfato, y dos (02) al hielo-deshielo.
- Dos (02) estudios a nivel nacional, que tratan de la durabilidad del concreto, enfocados hacía el efecto que produce el sulfato y el hielo-deshielo.
- Dos (02) estudios a nivel local, que se han realizado anteriormente, basados en las afectaciones tratadas en ésta investigación, a esta última, se le elaboraron fichas con el estudio de caso (ver anexo poster).

#### **7.4 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS**

Luego de la recolección de información, se dio lectura del material seleccionado en el estudio del arte, extrayendo la información que se consideró pertinente para la investigación.

Al tener toda la información disponible, se procedió a realizar el análisis, tomando en cuenta las consecuencias que producen las afectaciones estudiadas en cada caso, y se dieron a conocer las posibles soluciones que se determinaron en los estudios. Luego se compararon con los propios observados en la zona de Tunja, Boyacá.

Finalmente se recomendaron posibles soluciones y actividades previas al diseño de mezcla para el municipio de Tunja.

## **8. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

Tomando en cuenta la documentación recolectada, de los estudios realizados previamente a nivel internacional, nacional y local, se dio respuesta a los objetivos planteados en esta investigación, desglosando cada una de las afectaciones en la durabilidad del concreto, presentando a continuación los resultados obtenidos:

### **8.1 AFECTACIONES QUE PUEDEN OCURRIR EN UNA ESTRUCTURA DE CONCRETO**

Los daños y deterioros en el concreto son numerosos y de variados orígenes, químicos y físicos, incluyendo otras causas como errores de diseño, mala ejecución durante la construcción o efectos del envejecimiento.

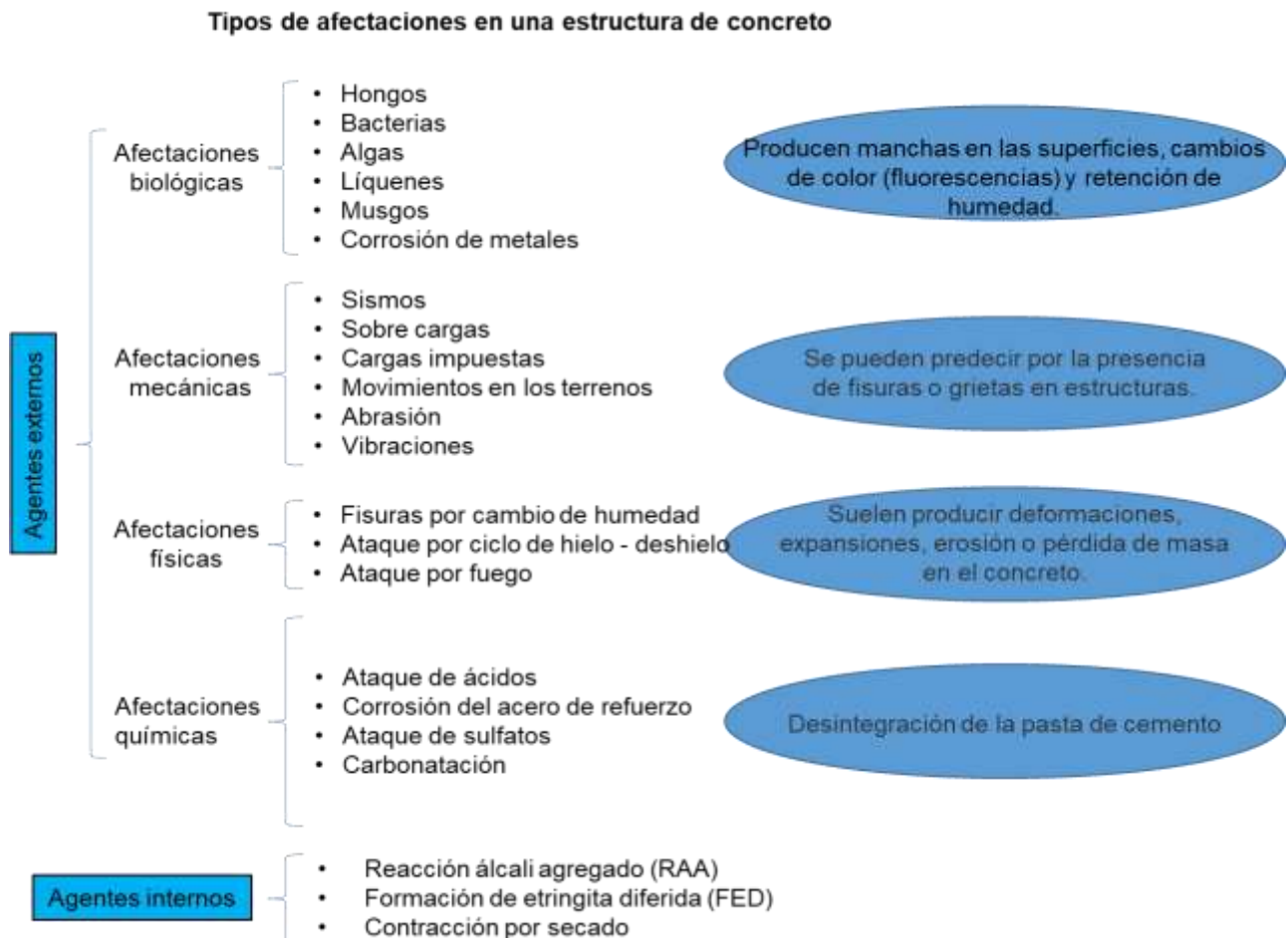
Generalmente, la principal causa de defectos en la construcción, se debe a la carencia de personal calificado en las fases que comprende la realización del proyecto. Muchas veces el desconocimiento, la negligencia, la falta de supervisión y control, la escasez de mano de obra especializada o la rapidez exigida para el cumplimiento de los trabajos, impiden la correcta ejecución de las obras, afectando negativamente el resultado final y originando consecuencias que pueden llegar a ser inaceptables.

Por otro lado, los materiales a utilizar en la construcción, en especial de edificaciones importantes, deben ser óptimos, que cumplan con requisitos mínimos de calidad, que sean apropiados para resistir las cargas de diseño y las condiciones del medio ambiente, que perduren en el tiempo durante la vida útil de la obra, que no sean culpables de fallas en las estructuras. Si cualquier característica del material no es la apropiada, resultará más fácil que aparezca alguna lesión o patología en el elemento, y por lo tanto, su durabilidad será menor.

Los agentes externos son factores que afectan notablemente el concreto, son aquellos provenientes del medio en el cual se encuentre el elemento, que implican el ingreso de fluidos agresivos que se encuentran en su ambiente circundante.

Ahora bien, para determinar los defectos mas comunes, a nivel de deterioro causado por los diferentes factores que influyen de forma negativa en una estructura, tomando en cuenta múltiples estudios, se esquematizó de la siguiente manera.

Figura 7. Tipos de afectaciones en una estructura de concreto



Fuente: El autor (2019)

Siguiendo el orden de ideas, se hizo una descripción de cada uno de los daños causados en el concreto a nivel general de los agentes físicos y químicos, ya que en éstos se encuentran inmersos los ataques por sulfato y por el ciclo de hielo-deshielo, presentándose de forma conceptual en la siguiente tabla:

Tabla 3. Tipos de afectaciones físico - químico

| TIPOS DE AFECTACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ORIGEN QUÍMICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| CORROSION INDUCIDA POR CLORUROS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CARBONATACIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ATAQUES POR SULFATOS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | REACCIÓN ÁLCALI - ÁRIDO (ASR)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | OTRAS FUENTES DE ATAQUE (AGUA DE MAR O AGUA LIMPIA)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Penetración en el concreto, hasta la armadura, llegando a producir la corrosión de dicho componente (acero de refuerzo), causando una gran pérdida de sección con serias implicaciones estructurales.                                                                                                                                                   | El concreto está casi siempre en contacto con el aire, y por lo tanto, dependiendo de la localización de la estructura, expuesto a menores o mayores niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Esta produce la disminución del pH del concreto desde 13, cuando es nuevo y no carbonatado, hasta 9 después del proceso, allí se producirá la corrosión, llevando a fisuración y desprendimiento del recubrimiento de hormigón.                                                                      | Surgen cuando sulfatos adicionales penetran en el hormigón o cuando hay adición posterior de sulfatos. Ocurre de una manera heterogénea y muy posterior (después de meses o incluso años). Estas reacciones expansivas pueden producir también fisuración, desprendimientos del concreto y pérdida de resistencia, puesto que ocurren cuando el hormigón ya está endurecido y es un cuerpo rígido. | En la primera etapa, los álcalis que provienen principalmente del cemento, migran hacia la solución acuosa de los poros y entran en contacto con los áridos reactivos, formando un gel silíceo alcalino. En una segunda etapa de la reacción, este gel silíceo reacciona con la cal libre presente en el hormigón, para formar un nuevo tipo de gel que puede absorber una gran cantidad de agua, y por lo tanto tiene unas grandes propiedades de hinchamiento. Este efecto de hinchamiento genera fuerzas de expansión en el hormigón endurecido. Los modelos típicos de daño por ASR aparecen en forma de una superficie fisurada superficialmente con formas caprichosas. Pero esa fisuración se propaga hacia el interior del hormigón con el tiempo, y la expansión continúa indefinidamente mientras el agua siga absorbiendo gel reactivo. | Su ataque proviene de una reacción más o menos simultánea de sulfatos, cloruros y otros constituyentes del cemento (C3A & Ca(OH)2). El ataque comienza desde la superficie y penetra a lo largo del tiempo hacia el corazón de la estructura. Las áreas con más riesgo en las estructuras marinas son las situadas en la zona de carrera de marea, puesto que la acción mecánica del oleaje se añade a la reacción química, eliminando más hormigón dañado, y suministrando acceso a más cantidad de cloruros (aparte del efecto dañino de los ciclos de sequedad-humedad). |
| ORIGEN FÍSICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| RETRACCIÓN                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | CICLOS HIELO - DESHIELO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DAÑOS POR OTRAS CAUSAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| El principal efecto visual debido a la retracción es la formación de fisuras. Estas fisuras pueden aparecer, o muy pronto después de haber vertido el hormigón (por ejemplo, fisuras de asentamiento, que se producen nada más quitar el encofrado) o después de varios días, semanas o meses, debido al comportamiento a largo plazo de la retracción. | Estos daños se producen por un diseño inadecuado del hormigón, por no contener suficientes poros dispersos en el mismo para suministrar espacio suficiente para que el agua expanda cuando hinche al congelarse. Los principales síntomas de estos daños son el desprendimiento de trozos de hormigón y un aparente hinchamiento de otras partes de la estructura, junto con formación de fisuración superficial. Cuando esto se produzca de una manera extrema, la estructura puede ser casi destruida. |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Hay muchas otras causas que pueden provocar daños en estructuras de hormigón, que pueden incluir daños accidentales (por ejemplo, choques de vehículos), abrasión por tráfico o abrasión por líquidos circulando. Otras causas importantes no detalladas aquí pueden ser el diseño inadecuado del hormigón, la mala ejecución o supervisión en la puesta en obra, los errores de cálculo, la mala colocación de la armadura, los nidos de grava por insuficiente vibración y compactación o los daños resultantes de fuego.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Fuente: El autor (2019)

## **8.2 ATAQUES POR CICLOS DE HIELO-DESHIELO, Y ATAQUES DE LOS SULFATOS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO.**

El medio ambiente puede agredir los materiales de una estructura hasta causar manifestaciones patológicas, de acuerdo con la naturaleza de cada material, dentro de este, se encuentran los ataques por ciclos de hielo y deshielo. Todos los elementos cambian sus dimensiones con cambios en la temperatura ambiental. Además, los materiales permeables también varían de volumen cuando se saturan con agua o cuando se secan. Estos cambios volumétricos pueden generar tensiones en el material que, a su vez, pueden fisurarlo.

Este ataque, constituye un agente de deterioro, que ocurre en zonas con clima donde la temperatura desciende, hasta provocar el congelamiento del agua contenida en los poros capilares del concreto. Provocando una fisuración reiterada y posterior desintegración. Dicho fenómeno, se da tanto a nivel de la pasta de cemento, como en los agregados de manera independiente, de igual manera en la interacción de ambos.

Por otro lado, el ataque por sulfatos, es un agente de tipo químico que afectan la durabilidad, se hallan usualmente en el suelo en contacto con el concreto, en solución en agua de lluvia, en aguas contaminadas por desechos industriales o por flujo en suelos agresivos.

Las reacciones dentro de la pasta del cemento, tienen como resultado un aumento en el volumen del sólido, por lo que el concreto se expande, se fractura y se ablanda; produciéndose una pérdida de adherencia entre la pasta, los agregados y el acero de refuerzo, lo cual conlleva a una disminución en la capacidad estructural del elemento. Además, la porosidad de un concreto agrietado, propicia la entrada de diversas sustancias agresivas que se encuentran en el entorno.

Una vez estudiados y comprendidos los factores mencionados anteriormente, se describe que un ataque al concreto logra acarrear otras afecciones producidas por diferentes agentes, es decir, si hay deterioro debido a los sulfatos, estos permiten el ingreso a bacterias, hongos entre otros; de igual forma puede absorber agua, generando corrosión en la estructura de refuerzo, o ésta al congelarse, desencadena los ataques por ciclo de congelamiento y deshielo.

### **8.3 SÍNTESIS DE ESTUDIOS REALIZADOS SOBRE LOS ATAQUES A LA DURABILIDAD DEL CONCRETO.**

Todas las investigaciones relacionadas a los ataques que se presentan en la investigación, concuerdan con los resultados que estas producen. Sin embargo, se siguen realizando análisis, para poder prevenir o disminuir dichos efectos. Se hizo una síntesis de algunos de los estudios plasmados de forma concreta en el estado del arte. En el anexo 3 y 4, se evidencia la revisión bibliográfica de esta monografía, con datos precisos y resumen de la misma.

### **8.4 COMPARACIÓN DE LAS AFECTACIONES ESTUDIADAS EN LOS CASOS DEL MUNICIPIO DE TUNJA**

Son pocas las investigaciones o monografías realizados referentes al ciclo de hielo y deshielo para estructuras en concreto de la ciudad de Tunja, a pesar de ser un municipio que experimenta bajas temperaturas en la noche y altas en el día. Se realizó un análisis de dos estudios en este sector donde implica las afectaciones a la durabilidad del concreto o de las estructuras.

Una de ellas se realiza al puente de la Iglesia de las Nieves, donde se encuentra que los principales problemas son causados por humedades por aguas lluvias, ya sea por capilaridad, filtración o absorción. También se encuentran las alteraciones producidas por los agentes atmosféricos, favorecido por las variaciones climáticas, presentando humedad, erosión, desprendimientos, acumulación de suciedad, la aparición de eflorescencias o criptoeflorescencias, microfisuraciones, disgregación, grietas, escamaciones, erosiones y pulverización, adicionalmente se presentan ataques químicos y físicos.

Aun así, si no se hace una evaluación del concreto de manera adecuada, puede ser contraproducente a largo plazo, puesto que las causas de daño y deterioro que no se tienen en cuenta en la estrategia de reparación, pueden dar lugar a que ésta falle, o el concreto continúe deteriorándose en otra parte de la estructura. Muchas de las manifestaciones patológicas por exposición ambiental, son grietas superficiales en forma de tela de araña, descascaramientos, desconchamiento y desintegración. Los agrietamientos debidos a reacción alcalina, están acompañados usualmente de exudación de un gel blancuzca de sílice, como se observó en el estudio de este puente.

Del mismo modo, se realizó un análisis a otro estudio elaborado para el sector, pero en esta ocasión, se realizaron a cilindros de concreto en un laboratorio, a fin de un mayor control de variables, simulando los ciclos de hielo y deshielo de la zona. Dicha

investigación obtuvo como resultado que el fenómeno afecta al concreto, tanto cualitativa al igual que cuantitativamente en propiedades físicas y mecánicas: porosidad, absorción, resistencia, y su apariencia física.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo de los dos casos de estudio de la zona, mediante un formato doble carta en anexo N°1 y 2. Expresando allí, similitudes de afectaciones encontradas por el ciclo de hielo y deshielo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Existen factores que producen cambios en la durabilidad del concreto, tanto internos como externos, en esta investigación se esquematizó en su totalidad, enfocándose en los agentes externos, específicamente el ataque por sulfato y por ciclos de hielo-deshielo, conceptualizando y describiendo cada uno de ellos.

A través del estado del arte, se recolectó información documental, tomando en cuenta estudios a nivel internacional, nacional y local. Con ayuda de una matriz bibliográfica, se sintetizaron los datos recolectados, logrando realizar un compendio para facilitar el análisis detallado del mismo.

Los casos locales estudiados, se compararon con lo que se evidencia en la zona, en cuanto al ataque por ciclos de hielo-deshielo, pues el sector presenta bajas temperaturas en horas nocturnas, y altas durante el día, provocando con el paso del tiempo, condiciones dañinas para las estructuras en concreto, afectando tanto su apariencia, como sus propiedades físicas y químicas. En las investigaciones se determinó que un alto contenido de agua dentro de la mezcla de hormigón, origina un mayor porcentaje de deterioro a la estructura.

Con el fin de minimizar las afecciones que genera el ciclo hielo-deshielo, ya que éstas no se pueden eliminar completamente, debido a que la zona donde estamos, predomina este tipo de clima, es necesario diseñar un sistema para manejar las aguas de escorrentía, e impermeabilización, sumado a esto, un mantenimiento continuo evitando la acumulación de suciedad y otros materiales, que puedan obstaculizar la fluidez del agua.

A pesar de ser una zona con presencia de cambios de temperaturas bruscas conocidos como ciclo de hielo- deshielo y en algunos de sus suelos presencia de sulfatos es muy escasa la investigación realizada.

Para reducir las afecciones en el ataque por sulfato, se deben mantener limpias las zonas aledañas, a fin de evitar la acumulación de sustancias nocivas cerca del concreto. De igual forma, contar con un área de protección a nivel del suelo, que funcione como barrera entre este y la estructura.

El concreto debe soportar los ataques por sulfato y los ciclos de hielo- deshielo, para ello existen diferentes aditivos diseñados a fin de mejorar la durabilidad del hormigón en cualquier aplicación y bajo diferentes condiciones, estos maximizan la resistencia del concreto a los elementos ambientales, incrementan la vida útil de las estructuras, proporcionando máxima protección y manteniendo la integridad estructural y estética a largo plazo, se recomienda que dichos aditivos sean certificados por fabricantes reconocidos, para contar con una buena calidad.

## **Recomendaciones**

Para futuras investigaciones y construcciones se puede recomendar:

- Realizar una investigación estadística, donde se midan las afecciones de los diferentes agentes que interactúan en las estructuras de la zona de estudio.
- Investigar los métodos actuales (Electroósmosis) para el mantenimiento y prevención de los agentes que afecten las estructuras.
- Realizar pruebas de laboratorio, donde se evalúen las propiedades químicas del suelo.
- Elaborar manuales para cada estructura en particular, donde se desarrolle una serie de normativas, que indiquen el tipo de mantenimiento que se debe realizar a esta y la frecuencia, según las condiciones climáticas.
- También se debe tomar en cuenta la pendiente de escorrentía en la construcción de nuevas estructuras, debida a que no solo se utiliza para el agua, sino también hielo en la mayor parte de la noche.

## 9. REFERENCIAS

- ACI 201.2R-2008. (2008). Guide to Durable Concrete. Michigan, U.S.A.: American Concrete Institute.
- AGUIRRE, A., & MEJÍA DE GUTIERREZ, R. (2013). Durabilidad del hormigón armado expuesto a condiciones agresivas. *Materiales de Construcción*, p. 7-38.
- APOORV, C., MILIND, M., SACHIN, T., ANKUR, d., URVASHI, S., & AJAY, K. (2018). Deterioro del hormigón por sulfato. Un caso de estudio. *Revista El Sevier*, p. 17952-17957.
- ARGOS . (2011). Obtenido de 360 en Concreto.
- ARIAS, F. (2006). *Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Espíteme.
- BAVARESCO, A. (2006). *Las Técnicas de la Investigación* (8va. Edición ed.). Zulia, Venezuela: Imprenta Internacional C.A.
- BERNAL, C. (2010). *Metodología de la Investigación*. Colombia: Pearson Educación de Colombia Ltda.
- BERNAL, J. (14 de Enero de 2009). *El Agua del Concreto*. Obtenido de En línea: <http://elconcreto.blogspot.com.co/2009/01/el-agua-del-concreto.html>>
- BISQUERRA. (1989). *Introducción conceptual al análisis multivariable*. Barcelona: P.P.U.
- BOLETIN TÉCNICO. (s.f.). *Hormigón sometido a ciclos Hielo - Deshielo*.
- CEMEX CONCRETO. (2015). Manual de Constructor. México: p. 202.
- 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.
- HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ, & BATISTA. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- JAIME, I., & LÓPEZ, N. (2017). *Diagnóstico patológico del Puente de la Iglesia Las Nieves de la Ciudad de Tunja*. Boyacá, Colombia: Universidad Santo Tomás.
- JINRUI, Z., DONGSHUAI, H., REZWANA, H., QUINGHUA, H., & HONGYAN, M. (2018). Efectos del Sulfato introducido internamente en las propiedades del

concreto de la edad temprana: Monitorización acústica activa y simulación de dinámica molecular. *Revista El Sevier*, p. 1014-1024.

MACHACA, C., & WILBER, D. (2017). *Incidencia de los aditivos incorporadores 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.

MENÉNDEZ, E., DE FRUTOS, J., & ANDRADE, C. (2009). *Análisis no destructivo del estado de degradación en morteros bajo la acción de ciclos hielo - deshielo*. Madrid, España: Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio.

MERCADO, S. (2006). *¿Cómo hacer una tesis?* México: Limusa Noriega Editores.

NIÑO, J. (2010). *Tecnología del Concreto. Materiales, propiedades y diseño de mezclas*. Bogotá, Colombia: Asocreto.

NTC. (s.f.). NTC 121. En I. C. CERTIFICACION, *NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 11* (pág. 3).

PÁEZ, D., LEAL, V., & RESTREPO, M. (2009). Influencia de los ciclos hielo - deshielo en la resistencia del concreto (Caso Tunja). *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, p. 95-110.

RIVA, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Perú: Aciperú.

RIVERA, G. (2010). *CONCRETO SIMPLE*. Valle del Cauca: Universidad del Cauca.

SABINO. (1992). *El proceso de Investigación*. Caracas: Panapo Editor.

SÁNCHEZ, D. (1996). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bogotá: Blandhar Editores Ltda.

SILVA, O. (2015). Durabilidad de Concreto: Definiendo la frase. *360 en Concreto*, p. 25-28.

VALDÉS, A. (2017). Durabilidad del Concreto: Conceptos y Sustentabilidad. *Revista Construcción y Tecnología*, p. 17.