

Adición de fibras en aluminio, para construcción de concreto en Cundinamarca.

Fabian Andrés Triana Waldrón

Corporación Universitaria Minuto De Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede / Centro Tutorial Girardot (Cundinamarca)

Programa De Ingeniería Civil

Mayo de 2021

Adición de fibras en aluminio, para construcción de concreto en Cundinamarca.

Fabian Andrés Triana Waldrón

Trabajo de grado Presentado como requisito para optar al título de Ingeniero civil

Asesor(a)

Jairo Yamid Núñez H.

Ingeniero Civil

Corporación Universitaria Minuto De Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede / Centro Tutorial Girardot (Cundinamarca)

Programa De Ingeniería Civil

Mayo de 2021

**Dedicatoria**

Dedico este proyecto a todas las personas que trabajan en obras civiles, desde ingenieros hasta operarios, quienes son los que día a día son conocedores de los cuidados que conllevan una obra civil construida con concreto; ya que con esta propuesta se brinda una opción para mejorar este material de obra, y ser aprovechado de la mejor manera. De igual forma a todos los estudiantes que con sus brillantes ideas quisieran ver estos proyectos hechos realidad.

Fabian Andrés Triana Waldrón

### Agradecimientos

- ✓ **A DIOS:** Primeramente, y en forma de agradecimiento, por haberme puesto en este camino, por mostrarme día a día el valor de la vida y el sentir de las cosas significativas.
- ✓ **A mis padres y hermanos:** La vida me premió con mi gran familia, son ellos el motor, el empuje y la motivación para salir adelante. Nunca olvidaré el gran apoyo que me han brindado en la vida y en mi formación como profesional, y tengo la fe de que será la misma vida quien me dará frutos que con el mayor de los gustos compartiré a su lado.
- ✓ **A Santiago Vega (Q.E.P.D):** Muchas gracias mi buen amigo por haberme involucrado en este gran sueño mutuo de ser ingenieros. Con orgullo, mirando al cielo hoy puedo decir que lo logramos.
- ✓ **A los ingenieros (as) docentes de la Corporación universitaria Minuto de Dios:** Por impartir de la mejor manera todo su conocimiento, por estar siempre prestos a los estudiantes con la mejor actitud, y sobre todo por enseñarme los lineamientos del Minuto de Dios, para ser un gran profesional con sentido y pertenencia social.

Fabian Andrés Triana Waldrón

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Presidente de jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Ciudad, fecha

**Tabla de contenido**

Dedicatoria .....	III
Agradecimientos .....	IV
Lista de ilustraciones.....	IX
Lista de gráficos .....	IX
Lista de tablas.....	IX
Lista de anexos.....	X
Resumen.....	XI
Palabras claves .....	XI
Abstract .....	XII
Keywords .....	XII
Introducción .....	13
1. Planteamiento del problema.....	14
2. Justificación.....	15
3. Objetivos .....	16
3.1 Objetivo general .....	16
3.2 Objetivos específicos.....	16
4. Marco referencial .....	17
4.1 Marco teórico.....	17
4.1.1 Concreto reforzado con fibras.....	17

4.1.2 El aluminio .....	18
4.1.3 Diseño de mezclas de concreto .....	20
4.1.4 Ensayo a compresión.....	23
4.2 Marco conceptual .....	26
4.3 Estado del arte .....	30
4.4 Marco legal.....	32
4.4.1 Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).....	32
4.4.2 NTC 5551 Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto.....	36
4.4.3. INV E – 410 – 13: resistencia a la compresión de cilindros de concreto.....	41
4 Metodología.....	42
5.1 Método, tipo y enfoque de la investigación .....	42
5.2 Diseño comprobatorio .....	42
5.3 Variables e indicadores .....	43
5.4 Procesos y procedimientos.....	43
6 Diseño de mezcla.....	44
6.1 Dosificación de la mezcla de concreto tradicional .....	44
6.1.1 Cantidad de cemento para $1\text{m}^3$ .....	45
6.1.2 Cantidad de agregado para $1\text{m}^3$ .....	45
6.1.3 Cantidad de arena para $1\text{m}^3$ .....	45
6.1.4 Cantidad de agua para $1\text{m}^3$ .....	45

7	Muestras de concreto con fibra de aluminio reciclado. ....	47
7.1	Muestra 1 (concreto tradicional).....	49
7.1.1	Ensayo a la compresión muestra 1 .....	49
7.2	Muestra 2 (concreto con 3% de fibra) .....	50
7.2.1	Ensayo a la compresión muestra 2 .....	50
7.3	Muestra 3 (Concreto con 6% de fibra) .....	51
7.3.1	Ensayo a la compresión muestra 3 .....	51
7.4	Muestra 4 (concreto con 9% de fibra) .....	52
7.4.1	Ensayo a la compresión muestra 4 .....	52
7.5	Muestra 5 (concreto con 12% de fibra) .....	53
7.5.1	Ensayo a la compresión muestra 5 .....	53
8	Presupuesto .....	54
9	Análisis y discusión de resultados .....	55
10	Conclusiones .....	57
11	Recomendaciones.....	58
12	Bibliografía.....	59
13	Anexos.....	62



### Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Valores de modulo elástico del aluminio. ....	19
<b>Ilustración 2.</b> Diseño de mezcla par a pavimento rígido en concreto. ....	21
<b>Ilustración 3.</b> Especímenes cilíndricos de concreto. ....	22
<b>Ilustración 4.</b> factores básicos en el proceso de diseño de una mezcla de concreto. ....	23
<b>Ilustración 5.</b> Materiales para los cilindros de concreto con adición de fibras de aluminio...	48

### Lista de gráficos

<b>Gráfica 1.</b> Vida útil de las estructuras .....	37
<b>Gráfica 2.</b> Factores que afectan la durabilidad del concreto .....	37

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Variables que influyen en el ensayo de compresión del concreto. ....	25
<b>Tabla 2.</b> Categorías y clase de exposición.....	33
<b>Tabla 3.</b> Valores máximos de separación de fisuras .....	41
<b>Tabla 4.</b> Dosificación por volumen para 1 m <sup>3</sup> de concreto tradicional. ....	45
<b>Tabla 5.</b> Dosificación en Kg para 1m <sup>3</sup> de concreto.....	46
<b>Tabla 6.</b> Dosificación de materiales para el volumen de 0,001570 m3 correspondiente a un cilindro. ....	47
<b>Tabla 7.</b> Número de especímenes por dosificación.....	48
<b>Tabla 8.</b> Ensayo a la compresión muestra 1 .....	49
<b>Tabla 9.</b> Ensayo a la compresión muestra 2 .....	50
<b>Tabla 10.</b> Ensayo a la compresión muestra 3 .....	51

<b>Tabla 11.</b> Ensayo a la compresión muestra 4 .....	52
<b>Tabla 12.</b> Presupuesto 1m <sup>3</sup> de concreto tradicional 3000 psi .....	54
<b>Tabla 13.</b> Presupuesto 1m <sup>3</sup> de concreto 3000 psi con 6% de adición de fibra de aluminio ...	54
<b>Tabla 14.</b> Resistencias en PSI según edad de falla.....	55
<b>Tabla 15.</b> Porcentajes de resistencia según edad de falla.....	55
<b>Tabla 16.</b> Comparativo de resistencias y valor de concretos por 1m <sup>3</sup> .....	55

### Lista de anexos

<b>Anexo 1.</b> Materiales empleados para el concreto de 3000 psi con adición de fibras de aluminio. ....	62
<b>Anexo 2.</b> Mezclando los materiales para el concreto de 3000 psi con adición del 3% de fibras de aluminio.....	63
<b>Anexo 3.</b> Vaciando el concreto con 3% de adición de fibras de aluminio, en el cilindro. ....	64
<b>Anexo 4.</b> Cilindros de concreto con el 3% de adición de fibra de aluminio.....	65
<b>Anexo 5.</b> Mezclando los materiales para el concreto de 3000 psi con adición del 6% de fibras de aluminio.....	65
<b>Anexo 6.</b> Vaciando el concreto con 6% de adición de fibras de aluminio, en el cilindro. ....	66
<b>Anexo 7.</b> Cilindros de concreto y adición del 3% y 6% de fibra de aluminio.....	66
<b>Anexo 8.</b> Diseño de mezclas para concreto estructural de 3000 PSI.....	67
<b>Anexo 9.</b> Cilindro de concreto tradicional fallado a los 28 días.....	67
<b>Anexo 10.</b> Cilindro de concreto con 3% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.....	68
<b>Anexo 11.</b> Cilindro de concreto con 6% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.....	68
<b>Anexo 12.</b> Cilindro de concreto con 9% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.....	69

### Resumen

El presente trabajo de investigación se realiza con el objetivo de proponer un diseño una mezcla de concreto con adiciones de fibras de aluminio reciclado que generen más adherencia y resistencia al concreto para mitigar las posibles fallas por fisura a temprana edad, para ser aplicada en sobre pisos de construcciones de obra civil.

Se realiza la dosificación para adicionar las fibras de aluminio reciclado con los siguientes porcentajes: 3%, 6%, 9% y 12%; aplicando el ensayo a compresión de cilindros en el cual se realizan 12 cilindros de concreto y son fallados a los 7, 14 y 28 días; estos resultados se comparan y analizan para conocer el porcentaje óptimo de inclusión alcanzando la mayor resistencia a compresión. La resistencia a compresión deseada es de 3000 PSI.

Se concluye que, el porcentaje de adición de fibras de aluminio reciclado que presentó mejor comportamiento a la resistencia a la compresión a los 28 días fue el de 6% arrojando 3100 PSI. El costo total de 1m<sup>3</sup> de concreto con adición de 6% de fibra de aluminio es de \$352.140, es decir que respecto al concreto tradicional se incrementa en un 31% su valor. Esto quiere decir que al adicionar las fibras de aluminio aporta mayor resistencia que el concreto tradicional, lo cual es un factor positivo para ser aplicado en sobre pisos de construcciones como en parqueaderos, además de esto también se está mitigando la contaminación ambiental.

Palabras claves: concreto, fibras de aluminio, resistencia, reciclaje.

## Abstract

The present research work is carried out with the objective of proposing a design a mixture of concrete with additions of recycled aluminum fibers that generate more adherence and resistance to concrete to mitigate possible failures due to cracks at an early age, to be applied on floors of civil works constructions.

The dosage is carried out to add the recycled aluminum fibers with the following percentages: 3%, 6%, 9% and 12%; applying the cylinder compression test in which 12 concrete cylinders are performed and they are failed at 7, 14 and 28 days; These results are compared and analyzed to know the optimum inclusion percentage reaching the highest compressive strength. Desired compressive strength is 3000 PSI.

It is concluded that the percentage of addition of recycled aluminum fibers that presented better performance to compressive strength at 28 days was 6%, yielding 3100 PSI. The total cost of 1m<sup>3</sup> of concrete with the addition of 6% aluminum fiber is \$ 352,140, that is, its value increases by 31% compared to traditional concrete. This means that by adding aluminum fibers it provides greater resistance than traditional concrete, which is a positive factor to be applied on construction floors as well as in parking lots, in addition to this, environmental pollution is also being mitigated.

**Keywords:** concrete, aluminum fibers, resistance, recycling.

### **Introducción**

Las fibras constituyen un papel de vital importancia como material adherente en la constitución de concreto, ya sean natural o metálica. Éstas representan ventaja tanto económica, como en tiempo de producción al ahorrar costos reemplazando la malla electro soldada y la estructuración de aceros.

La presente investigación tiene como fin, implementar una nueva técnica de desarrollo de este producto, con un material reciclable como lo es el aluminio, teniendo en cuenta que reciclar es buscar un aprovechamiento máximo de un producto el cual, al no tener disposición final, constituye como una fuente de contaminación para el medio ambiente.

El aluminio se puede reciclar la cantidad de veces que se desee, esto lo posiciona como un material fundamental la economía circular, además de ser poco corrosible, contiene una gran conductibilidad de energía.

Para conocer la viabilidad de este proyecto y que a futuro se logre implementar en las obras de construcción civil, se realizarán ensayos a compresión para determinar la resistencia máxima de un concreto con adición de fibras de aluminio.

## 1. Planteamiento del problema

A través de diferentes trabajos realizados en campo laboral, se ha evidenciado el concreto presenta falla de fisura en un tiempo relativamente corto, por ejemplo, el concreto utilizado en sobre piso de parqueadero debido a las cargas de los vehículos. Este problema resulta de gran atención ya que la durabilidad es uno de los factores más influyentes respecto a seguridad e integridad pública; además que, por estas fisuras se puede presentar el ingreso de sustancias nocivas que pueden conllevar al inicio de la corrosión del acero utilizado para la estructura (materiales disueltos contenidos en el suelo, humedad, dióxido de carbono etc.) debido a los diferentes factores que intervienen en este proceso, la dosificación de materiales, el fraguado, las condiciones de exposición del terreno en el cual se va trabajar. Los agentes corrosivos ejercen una fuerza de tensión en el concreto circundante logrando fracturarlo al cabo de cierto tiempo, lo cual representa también afectación en la obra civil. Por ello, nace la necesidad de un material que garantice la vida útil del proyecto y así demostrar de qué manera se puede contribuir a la resistencia y durabilidad del concreto, a través de fibras en aluminio, sin que éste presente fallas.

Uno de los grandes problemas que afronta la estructuración tradicional de refuerzo con acero, es la dificultad y alto precio para su instalación. Para este trabajo se requiere de personal calificado, supervisión constante para que se cumpla con las especificaciones de los planos estructurales, además de ello el cuidado que se debe tener para su preservación, evitando estar expuesto a la intemperie para que no se corra. Todo esto se resume en afectación a la obra en tiempo y dinero, que, en su mayoría de veces, es casi imposible determinar en cuantía numérica.

De igual forma, actualmente es evidente la contaminación a nivel mundial que generan los materiales a los cuales no se les da una disposición final después de haber cumplido una función, en este caso el aluminio.

## 2. Justificación

El profesional de ingeniería civil encuentra en el campo laboral un gran inconveniente al momento de fundir concreto, dicho problema es la falla por fisura, debido a diferentes factores que intervienen en esta práctica, tanto humanos como físicos, químicos, ambientales y la reología del concreto. Teniendo en cuenta que se debe garantizar la funcionalidad total de dicha estructura, no es permitido que presente fallas a temprana edad. Además de ello se tiene presente la gran cantidad de material que se desperdicia en una obra y queda expuesto a la intemperie sin ningún uso ni disposición final, ejemplo de ello es el aluminio, que en grandes cantidades puede llegar afectar seriamente el ecosistema por sus componentes.

Dicho esto, se busca con este proyecto realizar una exhaustiva investigación para conocer la resistencia máxima que alcanza el concreto con el agregado de fibras de aluminio para satisfacer las condiciones de durabilidad sin presencia de fallas, y así mismo mitigar la contaminación del medio ambiente con materiales reciclables que se le puede dar diversas aplicaciones; con el fin de empezar a aplicarse en un futuro en obras civiles.

### 3. Objetivos

#### 3.1 Objetivo general

Proponer una adición de fibras de aluminio reciclado que genere más adherencia y resistencia al concreto para mitigar las posibles fallas por fisura a temprana edad, en las construcciones de concreto implementado de sobre pisos en Cundinamarca.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Implementar la reutilización de materiales reciclables en la construcción, a través de la adición de fibras de aluminio reciclado.
- Determinar la dosificación de material con adición de fibras de aluminio reciclado al 3%, 6%, 9% y 12% para crear muestras de concreto de 3000 psi.
- Calcular la resistencia del concreto de 3000 psi con adición de fibras en aluminio al 3%, 6%, 9% y 12% por medio de ensayos a compresión.
- Comparar cualitativa y cuantitativamente el concreto tradicional vs concreto con adición de fibras de aluminio reciclado, a través de los datos registrados en los ensayos.



## 4. Marco referencial

### 4.1 Marco teórico

#### 4.1.1 *Concreto reforzado con fibras*

Desde los tiempos ancestrales las fibras han estado presentes en materiales que tuvieron usos estructurales similares al concreto como el adobe, la tapia pisada y los morteros de cal entre otros.

Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración) a los elementos. (Sika Colombia S.A.S., 2014, pág. 6)

El uso de las fibras naturales como un componente más en materiales de relleno o aglomerantes, no es así nuevo y se remonta varios siglos atrás. En concreto existen referencias tempranas de experimentación con un refuerzo discontinuo (clavos, segmentos de cable, ganchos) que se remontan a 1910. (Sika Colombia S.A.S., 2014, pág. 6)

**Clasificación de las fibras por material:** Las fibras como refuerzo secundario para concreto en general pueden clasificarse según diferentes consideraciones, hoy en día se pueden clasificar según el tipo de material, de la siguiente manera:

**Fibras metálicas:** Secciones discretas de metal que tienen una relación de aspecto (relación entre la longitud y el diámetro) que va desde 20 hasta 100. Estas fibras son de acero (en general de bajo contenido de carbón).

**Fibras sintéticas:** Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliéstileno, Nylon, Poliéster etc.

**Fibras de vidrio:** Secciones discretas de fibra de vidrio resistentes al álcali.

**Fibras naturales:** Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm, con valores de absorción superiores al 12%. (Sika Colombia S.A.S., 2014, pág. 7)

#### **4.1.2 El aluminio**

Según (Uriarte, 2019), el aluminio es un elemento metálico representado en la tabla periódica con el símbolo 'Al' y el tercer elemento más común de la corteza de nuestro planeta: un 8% de la misma contiene aluminio en diversos compuestos. El aluminio fue aislado por primera vez en 1825 por el físico dinamarqués H. C. Oersted, y es hoy en día el metal más empleado por la humanidad, junto con el hierro.

Se trata de uno de los metales más útiles y más empleados industrialmente por la humanidad, dadas sus propiedades de ligereza, maleabilidad y larga vida, además de resistencia a la corrosión. Se emplea en una enorme variedad de aleaciones para fabricar numerosos utensilios y envases, así como partes de diversa maquinaria. (Uriarte, 2019)

Una de las características más destacables del aluminio es su capacidad de reciclado. Al contrario de lo que ocurre con otros metales, el 100% del material puede ser reutilizado. Asimismo, este proceso de reciclaje puede realizarse casi indefinidamente sobre el mismo material por lo que puede considerarse la vida útil del aluminio prácticamente ilimitada.

Otro de los condicionantes más importantes de este proceso de reciclado es que necesita aproximadamente el 5% de la energía que se utiliza para la obtención del aluminio primario.

Por otra parte, las características y propiedades del material no varían con esta transformación por lo que la calidad del aluminio primario y el reciclado es la misma. (ALU-STOCK, s.f.)

### Propiedades del aluminio

El aluminio es un metal plateado muy ligero. Su masa atómica es 26,9815, tiene un punto de fusión de 660°C y un punto de ebullición de 2.467°C, y una densidad relativa a 2,7 kg/m<sup>3</sup>. Es un metal muy electropositivo y extremadamente reactivo.

Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que lo protege de la corrosión. (ALU-STOCK, s.f.)

#### Ilustración 1. Valores de modulo elástico del aluminio.

Módulo elástico: bulto	76 GPa
Módulo elástico: rigidez	26 GPa
Módulo elástico Young	70 GPa

Nota: Tomado de (ALU-STOCK, s.f.)

### Comportamiento del aluminio

El aluminio y todas sus aleaciones poseen en general un excelente comportamiento frente a todo tipo de agentes externos. Su capa de óxido de alúmina natural, autopasivante, lo protege frente a la corrosión. (ALU-STOCK, s.f.)

El buen comportamiento a la corrosión del aluminio es debido a la presencia permanente sobre el metal de una capa de óxido natural constituido por óxido de aluminio (Alúmina) que le hace pasivo a la acción del medio ambiente.

Aunque de muy pequeño espesor, comprendido entre 50 y 100 Angströms (o sea de 50 a 100 mil millonésimas de metro) la película de óxido constituye una barrera entre el metal y el medio ambiente y se forma instantáneamente desde que el metal entra en contacto con un medio oxidante: el oxígeno del aire, el agua, etc., la estabilidad físico-química de la capa de óxido por tanto tiene una gran importancia sobre la resistencia a la corrosión del aluminio. Ella depende de

las características del medio, uno de los cuales es el pH y también la composición de la aleación del aluminio. (ALU-STOCK, s.f.)

#### ***4.1.3 Diseño de mezclas de concreto***

Desde el siglo XX, el concreto se convirtió en el material de construcción más utilizado en todo el mundo debido a su versatilidad en cuanto a forma, función, y economía, ya que su tecnología hace posible la competencia con construcciones de piedra, madera y acero. (Sanchez De Guzman, 2001)

El concreto este compuesto principalmente de cemento, agregados y agua.

Las propiedades del concreto se estudian con la finalidad de determinar el diseño de la mezcla, en la cual se seleccionan los ingredientes adecuados y las cantidades necesarias para producir un concreto con las propiedades mínimas. (Sanchez De Guzman, 2001)

Al momento de realizar un diseño de una mezcla se deben tener en cuenta varios aspectos fundamentales para que el concreto cumpla con la normatividad y sea apto para su uso. A continuación, se mencionarán las características que debe tener la mezcla de concreto:

#### **Manejabilidad**

Según (Osorio, s.f.), es importante que el concreto se diseñe con la manejabilidad adecuada para la colocación, esta depende principalmente de las propiedades y características de los agregados y la calidad del cemento. Cuando se necesita mejorar las propiedades de manejabilidad, se puede pensar en incrementar la cantidad de mortero.

Según (Huanca, 2006, pág. 3), un concreto apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado con el equipamiento disponible. El acabado que permite el concreto debe ser el requerido y la segregación y sangrado deben ser minimizados. Como regla general el concreto debe ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada

colocación. La cantidad de agua requerida por trabajabilidad dependerá principalmente de las características de los agregados en lugar de las características del cemento.

Esto quiere decir que el diseñador de la mezcla debe garantizar que el concreto tenga una manejabilidad óptima para el uso que se le va a dar en obra, ya que, si este queda mal diseñado tendrá sobre costos en material y mano de obra al momento de estar fundiendo.

*Ilustración 2. Diseño de mezcla para a pavimento rígido en concreto.*



Nota: Tomado de (Osorio, s.f.)

### **Resistencia y durabilidad del concreto**

El concreto es diseñado para una resistencia mínima a compresión. Esta especificación de la resistencia puede tener algunas limitaciones cuando se especifica con una máxima relación agua cemento y se condiciona la cantidad de material cementante. O en algunos casos la relación agua/material cementante se convierte en la característica más importante por tema de durabilidad. (Osorio, s.f.)

(Huanca, 2006) recomienda que: “incluso la mezcla perfecta no producirá un concreto apropiado si no se lleva a cabo procedimientos apropiados de colocación, acabado y curado.”

### **Dosificación de una mezcla de concreto**

Las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con dichas características con los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de prueba y error o el sistema de ajuste y reajuste.

Dicho sistema consiste en preparar una mezcla de concreto con unas proporciones iniciales y calculadas por diferentes métodos. A la mezcla de prueba se le realizan los diferentes ensayos de control de calidad como asentamiento, pérdida de manejabilidad, masa unitaria, tiempos de fraguado y resistencia a la compresión.

Estos datos se comparan con la especificación y si llegan a ser diferentes o no cumplen con la expectativa de calidad se reajustan las cantidades, se elabora nuevamente la mezcla que debe cumplir todos los ensayos de control de calidad, si nuevamente no cumple los requisitos exigidos es necesario revisar los materiales, el método del diseño y nuevamente otra mezcla de concreto hasta ajustar los requisitos exigidos por la especificación. (Osorio, s.f.)

**Ilustración 3.** Especímenes cilíndricos de concreto.

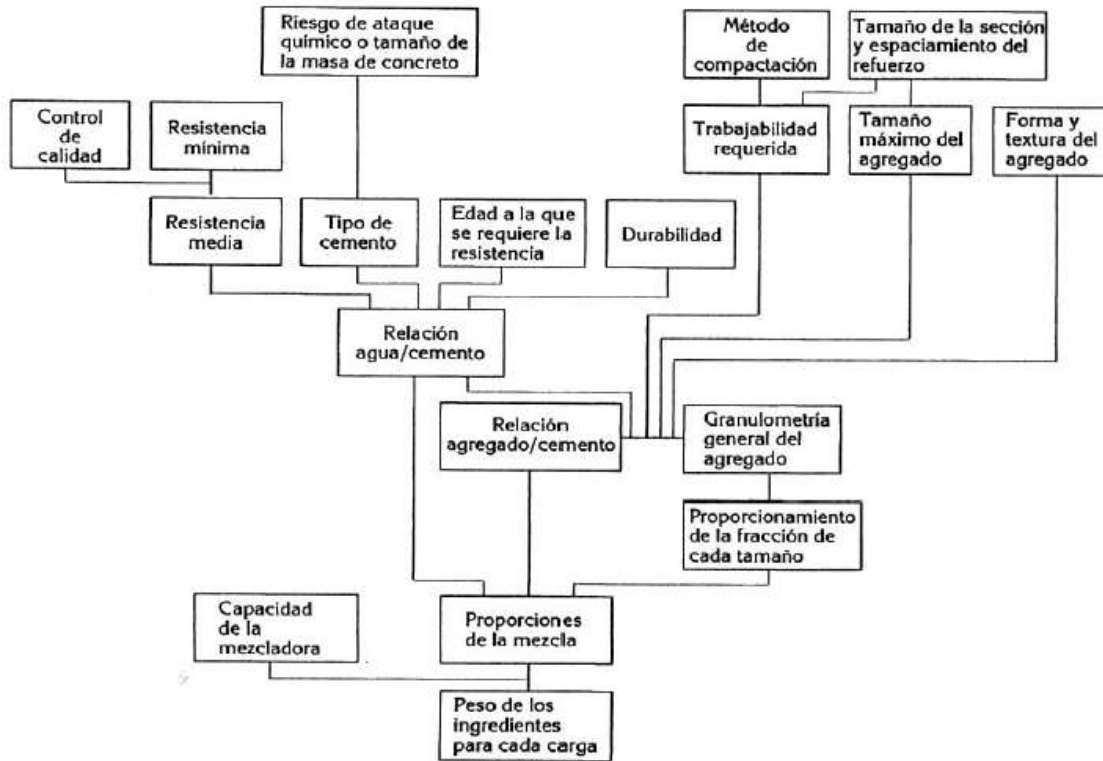


Nota: Tomado de (Osorio, s.f.)

El diseño de mezclas de concreto comprende varios factores entre ellos los materiales a disposición que influyen en gran medida en el desarrollo de un elemento con una resistencia de diseño deseada y requerida. (Giraldo & Ramos)

En la ilustración 4 se relacionan los factores en el proceso de diseño de una mezcla.

**Ilustración 4.** *factores básicos en el proceso de diseño de una mezcla de concreto.*



Nota: Corresponde a la figura 11.1 del libro de (Sanchez De Guzman, 2001, pág. 226)

**4.1.4 Ensayo a compresión**

El control de calidad es el requisito más importante para la ejecución de una obra civil. Es de gran importancia contar con la seguridad que los materiales utilizados cumplan con todas las especificaciones, con esto se logra optimizar costos de materiales y, de igual manera y más importante, cuidar la vida de las personas; por esta razón se realizan los ensayos a la compresión de cilindros de concreto ya que permite tener un alto nivel de confianza respecto a las características físicas y mecánicas de los materiales que se van a utilizar en la obra.

El ensayo de compresión de cilindros es uno de los primeros pasos que se debe tener en cuenta para llevar a cabo el control de calidad de la ejecución de la obra. Este ensayo se basa en

la norma INV E – 410 – 13. El objeto del ensayo se refiere la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tantos cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a  $800 \text{ kg/m}^3$  ( $50 \text{ lb/pe}^3$ ).

(Instituto Nacional de Vías, 2012)

### **Elementos para realizar el ensayo a compresión**

Máquina de ensayo

Equipos: Prensa hidráulica de compresión, escuadra, calibrador, balanza, galga palpadora, refrentado adherido o refrentado no adherido.

### **Paso a paso para compresión de cilindros de concreto**

La resistencia a la compresión de un cilindro, se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen. (Concrelab, 2019)

1. Después de estar los cilindros de concreto en el proceso de curado, sacar los cilindros de este cuarto, teniendo cuidado que no pierdan la humedad.
2. Se debe verificar la perpendicularidad del cilindro usando la escuadra y la galga palpadora.
3. Seguido, medir la longitud y el diámetro del cilindro con el calibrador.
4. Se debe refrentar el mortero con azufre según la NTC 504, después de haber hecho esto, volverlo a almacenar en el cuarto de curado.
5. Ajustar la velocidad de la falla en la prensa hidráulica para iniciar con la compresión del cilindro.
6. En el momento que arroje los resultados, estos deben ser anotados en su respectiva hoja de datos.



7. Los cálculos se realizan basados en la norma INV E – 410 – 13. Después de haberlos realizado, se expide el respectivo informe para su correspondiente análisis y toma de decisión.

La magnitud de las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto depende el adecuado control de los materiales, de la fabricación y de la realización de las pruebas.

Son muchas las variables que influyen en la resistencia de un concreto, las cuales dependen de los materiales, la dosificación, el mezclado y el ensayo. En la tabla 1 se mencionan:

**Tabla 1.** Variables que influyen en el ensayo de compresión del concreto.

Núm.	Causa básica	Causa de la variación	Posibilidad de ocurrencia	Efecto en la resistencia
1 *	MATERIALES Cemento	Tipo y composición	Con diferentes marcas	Considerable variación
2 *		Control en la fabricación	Una sola marca	Puede ser considerable
3 *		Edad y condición	Siempre es posible	Considerable variación
4	Agua	Presencia de sales	Poco frecuente	Generalmente pequeño
5 *		Relación agua-cemento	Depende del control	Gran efecto
6 *	Agregado fino	Reactividad química	Comúnmente no ocurre	Puede ser considerable
7		Partículas variables	Poco frecuente	No generalizado
8		Propiedades no uniformes	Poco frecuente	No generalizado
9		Limpieza	Siempre es posible	Puede ser considerable
10		Forma de partículas	Triturado y natural	No dentro de un mismo tipo
11		Gradación	Siempre se presenta	A través de la manejabilidad
12	Agregado grueso	Reactividad química	Poco común	No apreciable
13		Partículas variables	Depende de la fuente	Generalmente pequeño
14		Propiedades no uniformes	Con material poroso	No generalizado
15 *		Limpieza	Siempre es posible	Puede ser considerable
16		Forma de partículas	Triturado y natural	Puede ser considerable
17		Gradación	Siempre se presenta	A través de la manejabilidad
18		Tamaño máximo	Con diferentes mezclas	A través de la manejabilidad
19	Temperatura	Cemento	Cemento caliente	No apreciable
20		Agua	Climas extremos	No generalizado
21		Agregados	Climas extremos	No generalizado
22	Mezcla	Cambios en pasta-agregados	Variaciones deliberadas	A través de la manejabilidad
23	DOSIFICACION Cemento	Error en el pesaje	Infrecuente	No se puede considerar
24 *		Medido por volumen	No en planta central	Errores ± del 20%
25	Agua	Adicionada directamente	Cuando es a criterio	No es medible
26 *		Contenida en la arena	Muy común	Considerable
27 *		Arena abultada	No es planta central	Puede ser considerable
28 *		Con agregado grueso	Por periodos	Puede ser considerable
29	Agregado fino	Cambios, abultamiento	No en planta central	Errores ± del 20%
30	Agregado grueso	Cambios, operación	Con control limitado	Generalmente pequeño

Item	Causa básica	Causa de la variación	Posibilidad de ocurrencia	Efecto en la resistencia
31 32 * 33 34 35 *	MEZCLADO	Orden de cargue Primera mezcla Mezclar rápido Sobrecargado Tiempo de mezclado	Depende del operador Sólo ocasionalmente Con diferentes plantas Infrecuente Frecuente	Generalmente no importante Puede ser considerable No generalizado No generalizado Variación puede exceder el 30%
36 37 38 39 40 * 41 42 43 * 44 45 46 47 48	ENSAYO Manejo y muestreo de los especímenes Compactación de los especímenes Tamaño y forma de especímenes	Segregación Cambios en los componentes Muestreo Exudación Compactación manual Vibración Golpe Orientación de partículas Tamizado húmedo Tamaño del espécimen Relación altura-diámetro Forma Moldes irregulares	Transporte y manejo Cuando hay retemplado Diferentes sitios Mezclas con poca agua Mezclas secas Sobrevibración Manejo después del fraguado Planos de falla Concreto masivo Moldes no normalizados Moldes no normalizados Cubo o cilindro Moldes no normalizados	Planos de falla Imposible de estimar Puede ser apreciable Generalmente pequeño Considerable, excede el 50% Segregación en los especímenes Inducción de fisuras Partículas planas - 40% Aumenta con el tamizado Decrece con el tamaño Decrece con incrementos de la relación Menor en cubos Carga no axial
49 50 * 51 52 * 53 54 *	Curado de los especímenes	Secado exterior Humedad de curado Temperatura inicial Temperatura Edad Contenido de humedad	Primeras 24 horas No hay curado Condiciones de congelamiento Curado en invierno Comparable a la misma edad Con especímenes secos	Pequeño Decrece considerablemente Infrecuente Variación considerable Incremento continuo 40% de diferencia
55 * 56 * 57	Refrentado de especímenes	Tapas planas Material de refrentado Ejes del espécimen	Falla muy común No apropiado Problema técnico	Concavidad 30%, convexo 50% Puede ser apreciable Generalmente pequeño
58 * 59 * 60	Máquina de ensayo	Cojinete de carga Centramiento Velocidad de carga	Dependiente del laboratorio Dependiente del laboratorio Dependiente del laboratorio	Puede ser considerable Puede ser apreciable Generalmente pequeño

Nota: corresponde a la tabla 10.2 del libro de (Sanchez De Guzman, 2001, págs. 191, 192)

Por esta razón se debe ser muy precavido y minucioso al momento de trabajar con el concreto, porque al mínimo factor puede variar su resistencia.

#### 4.2 Marco conceptual

**Aluminio:** El aluminio es un elemento metálico representado en la tabla periódica con el símbolo ‘Al’ y el tercer elemento más común de la corteza de nuestro planeta: un 8% de la misma contiene aluminio en diversos compuestos. (Uriarte, 2019)

**Concreto:** El concreto es una mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua. Maleable en su forma líquida y de gran resistencia en su estado sólido. (Argos, s.f.)

**Concreto reforzado con fibras:** Es un concreto que se refuerza con fibras, generalmente de acero, pero también de otros materiales, dispersas y orientadas aleatoriamente, donde los

esfuerzos de tensión se distribuyen entre las fibras. En el título C de la norma NSR-10, se presentan unas consideraciones para su cumplimiento. (Amaya & Ramirez, EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO, 2019)

**Corrosión del acero:** La corrosión del acero de refuerzo en las estructuras se da por la destrucción de la capa pasivadora que se forma naturalmente sobre el acero embebido dentro del concreto. Este fenómeno se debe a la alcalinidad del concreto cuando reacciona con sustancias ácidas o la presencia de una cantidad suficiente de cloruros. (360 en concreto, s.f.)

**Curado:** Tratamiento que se da al hormigón, mortero, etc. después de su colocación a fin de mantener húmedas sus superficies, lo cual impide la rápida evaporación del agua de amasado. Esta tarea suaviza la retracción del material y evita su agrietamiento por desecación brusca. (construmatica, s.f.)

**Diseño de mezcla de concreto:** Es un procedimiento empírico, y aunque hay muchas propiedades importantes del concreto, la mayor parte de procedimientos de diseño están basados principalmente en lograr una resistencia a compresión para una edad determinada, así como la manejabilidad apropiada para un tiempo determinado, además se debe diseñar para unas propiedades que el concreto debe cumplir cuando una estructura se coloca en servicio. (Osorio, s.f.)

**Durabilidad:** La durabilidad de una estructura de concreto reforzado es la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas o químicas -o la combinación de ambas- agresivas y así proteger adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el concreto, durante su vida útil total. (ICONTEC, 2007)

**Edad:** Frecuencia en días de ensayo para obtener la resistencia de diseño debe indicarse en los planos o especificaciones de diseño. (concrelab, 2019)

***Ensayo a compresión:*** Es un experimento que se lleva a cabo comprimiendo progresivamente una muestra de material, por ejemplo, hormigón, madera o piedra, conocida como probeta y observando la deformación que produce el esfuerzo o carga de compresión aplicado. (Zapata, 2020)

Un esfuerzo de compresión es producido por dos fuerzas aplicadas a los extremos de un cuerpo con la finalidad de reducir su longitud al comprimirlo. (Zapata, 2020)

***Fisuras en el hormigón (concreto):*** Son roturas que aparecen generalmente en la superficie del mismo, debido a la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de una pieza, se convierte en grieta. (Construmatica, s.f.)

***Fraguado:*** Es el proceso que tiene el concreto de endurecimiento y pérdida de plasticidad. Se desarrolla con el tiempo, mediante diferentes velocidades de reacción un calor de hidratación y esto da origen al endurecimiento y aglutinamiento del agregado. (Amaya & Ramirez, EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO, 2019)

***Reciclaje:*** Es un proceso de transformación mediante técnicas fisicoquímicas o mecánicas cuyo resultado es la obtención de nuevas materias primas a partir de materiales usados o desechados. (Recytrans, 2013)

***Resistencia del concreto:*** La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). (cemex, 2019)

**Reología:** Es la ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales vinculando las relaciones entre esfuerzo aplicado, deformaciones y tiempo. (Zerbino, Barragán, Agulló, García, & Gettu, 2006, pág. 52)

**Reutilizar:** Es toda actividad del hombre para evitar tirar a la basura o desechar productos materiales que pueden volver a ser utilizados con mismos o diferentes fines para los que fue creado. (Gonzalez, s.f.)

**Sobre piso:** Capa de concreto que se realiza sobre el contrapiso para permitir una buena nivelación, corregir irregularidades o crear pendientes.

**Vida útil de servicio:** Periodo que inicia desde la ejecución de la estructura hasta que se completa un nivel evidente de deterioro. La vida útil de servicio coincide con la fase de propagación del daño. En esta etapa se empiezan a evidenciar síntomas de deterioro tales como fisuras, desprendimientos del recubrimiento, manchas de óxido, exposición del agregado, entre otros. Desde el punto de vista de funcionalidad y aspecto estético, para algunas estructuras, el simple hecho de presencia de humedades, descascaramientos del recubrimiento, olores y presencia de hongos, será suficiente para considerar que se agotó el nivel aceptable de deterioro. (ICONTEC, 2007)

**Vida útil del proyecto:** Periodo de tiempo o vida de diseño prevista por el diseñador o el especificador, para el cual ni el tipo de agresión, ni la profundidad alcanzada por el agresor, ni la cuantía de ese agresor en el concreto son suficientes para dar inicio al deterioro del concreto reforzado. La vida útil de proyecto coincide con la fase de iniciación del ataque del medio agresor contra la estructura; durante esta fase alguna barrera protectora es vencida por el agresor, no obstante, no se ha debilitado aún la estructura ni los materiales que la componen. (ICONTEC, 2007)

***Vida útil total:*** Período de tiempo que va desde la ejecución de la estructura hasta su colapso parcial o total. (ICONTEC, 2007)

### **4.3 Estado del arte**

A continuación, se mostrarán las investigaciones realizadas por estudiantes de universidades a nivel internacional y nacional, sobre el uso de las fibras como refuerzo para el concreto.

#### **A nivel internacional**

En primer lugar, se encuentra la tesis nombrada “Análisis de la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de fibras de aluminio reciclado” realizada por Junior Waldir Guerrero Flores en el 2018, en la ciudad de Lima, Perú. El objetivo fue estudiar la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de fibras de aluminio reciclado.

Las fibras de aluminio reciclado tenían las dimensiones: (2mm x 75mm). Elaboraron probetas cilíndricas para hacer ensayadas a resistencia a la compresión con diferentes porcentajes de fibras de aluminio en 0.00%, 0.25% y 0.30%, y en diferentes de edades a los 7,14 y 28 días. En conclusión, la adición del 0.30% tuvo un mejor comportamiento en resistencia a la compresión. (Guerrero Flores, 2018)

En el año 2017, en Quito Ecuador, desarrollaron el trabajo de investigación “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado”, en el cual se compara la resistencia a compresión y flexión de un hormigón común vs un hormigón con fibras de aluminio. Utilizaron dos tipos de fibra de aluminio: tipo industrial obtenida de la empresa CEDAL S.A., esta fibra es producto de los residuos de trituración del aluminio estructural denominada como limalla; y la fibra reciclada a partir de envases de bebidas obtenido de las recicladoras de la ciudad de Quito; utilizados en distintos porcentajes como 0,20%, 0,25%, 0,30% y 0,50% “con el fin de obtener el porcentaje óptimo de inclusión. Se fabricaron

especímenes cilíndricos y vigas de las mezclas de hormigones para ensayar a compresión y flexión. Concluyéndose que, en ambos ensayos, se obtuvo un mejor desempeño del hormigón cuando se empleaba un 0,30% de fibra de aluminio reciclado” (Bonilla & Lascano, 2017)

### **A nivel Nacional**

En el 2019, Santiago Amaya Alarcón y Miguel Ángel Ramírez Zapata de la Universidad Católica de Colombia realizaron una investigación titulada “evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras” cuyo objetivo era comparar el concreto reforzado con fibras frente un concreto normal, mediante ensayos de laboratorio para poder determinar si las fibras mejoran la capacidad a la compresión y flexión.

Ensayaron cilindros a compresión a los 7, 14 y 28 días de curado, los cuales se encontraban reforzados con fibras, el ensayo se realizó con cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de longitud. El ensayo de flexión se les realizó a viguetas de 15x15x50 cm, se realizó a los 14 y 28 días de ser mezclado el concreto.

Utilizaron cuatro tipos de fibras para ser comparadas como refuerzo en el concreto mediante ensayos de laboratorio: fibras de PET, fibras de acero, fibras de vidrio y fibras de cáñamo

En conclusión, Amaya y Ramírez determinaron que las fibras de acero, PET y cáñamo fueron las que más aportaron resistencia y las fibras de PET y cáñamo las que mejor corrigieron la fisuración, presentando una mejor adherencia de los materiales de la mezcla en las muestras con edad de 28 días.” (Amaya & Ramirez, evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, 2019)

#### **4.4 Marco legal**

##### ***4.4.1 Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).***

La NSR 10 en el capítulo C4 “Requisitos de durabilidad” especifica algunos criterios para el diseño de mezclas en concreto:

“Las mezclas de concreto deben ser dosificadas para cumplir con la relación máxima agua-material cementante y otros requisitos basados en la clase de exposición asignada al elemento estructural de concreto”. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

Dependiendo el grado de severidad de la exposición del concreto, la NSR 10 define las condiciones de exposición donde se encuentran las categorías de exposición que están subdivididas en clases de exposición, las cuales se pueden observar en la siguiente tabla:



**Tabla 2.** Categorías y clase de exposición.

**TABLA C.4.2.1 — CATEGORIAS Y CLASES DE EXPOSICIÓN**

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento y deshielo	No es aplicable	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO <sub>4</sub> ) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO <sub>4</sub> ) disuelto en agua, ppm
	No aplicable	S0	SO <sub>4</sub> < 0.10	SO <sub>4</sub> < 150
	Moderada	S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> < 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> < 1500 agua marina
	Severa	S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 0.50	1500 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 10000
	Muy severa	S3	SO <sub>4</sub> > 2.00	SO <sub>4</sub> > 10000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad	
C Protección del refuerzo para la corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	

Nota: Tomado de (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010, pág. 61)

En el capítulo 5.2 “Dosificación del concreto” se establecen las condiciones que debe lograr el concreto que se esté diseñando:

- a) “Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.
- b) Resistencia a exposiciones especiales, según lo requerido en el capítulo C.4.
- c) Conformidad con los requisitos del ensayo de C.5.6”. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

En el capítulo 5.7 “preparación del equipo y lugar” menciona los pasos previos a la colocación del concreto:

- a) “Todo equipo de mezclado y transporte del concreto debe estar limpio;
- b) Deben retirarse todos los escombros y el hielo de los espacios que serán ocupados por el concreto;
- c) El encofrado debe estar recubierto con un desmoldante adecuado;
- d) Las unidades de albañilería de relleno en contacto con el concreto deben estar adecuadamente humedecidas;
- e) El refuerzo debe estar completamente libre de hielo o de otros recubrimientos perjudiciales;
- f) El agua libre debe ser retirada del lugar de colocación del concreto antes de depositarlo, a menos que se vaya a emplear un tubo para colocación bajo agua (tremie) o que le permita la autoridad competente;
- g) La superficie del concreto endurecido debe estar libre de lechada y de otros materiales perjudiciales o deleznales antes de colocar concreto adicional sobre ella.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

En el capítulo 5.8 “mezclado” expone que “todo concreto debe mezclarse hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales y la mezcladora debe descargarse completamente antes de que se vuelva a cargar.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

El numeral C.5.8.3 especifica como se debe mezclar el concreto en obra:

- a) “El mezclado debe hacerse en una mezcladora de tipo aprobado;
- b) La mezcladora debe hacerse girar a la velocidad recomendada por el fabricante;

- c) El mezclado debe prologarse por lo menos durante 90 segundos después de que todos los materiales estén dentro del tambor, a menos que se demuestre que un tiempo menor es satisfactorio mediante ensayos de uniformidad de mezclado, NTC 3318.
- d) El manejo, la dosificación y el mezclado de los materiales deben cumplir con las disposiciones aplicables de NTC 3318.
- e) Debe llevarse un registro detallado para identificar:
  - 1. Numero de tandas de mezclado producidas;
  - 2. Dosificación del concreto producido;
  - 3. Localización aproximada de depósito final en la estructura;
  - 4. Hora y fecha de mezclado y de su colocación”. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

En el capítulo C.5.10 “Colocación” reglamenta que “el concreto debe depositarse lo más cerca posible de su ubicación final para evitar la segregación debida a la manipulación o desplazamiento.

La colocación debe efectuarse a una velocidad tal que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre el refuerzo.

No debe colocarse en la estructura concreto que haya endurecido parcialmente, o que se haya contaminado con materiales extraños.

No debe utilizarse concreto al que después de preparado se le adicione agua, ni que haya sido mezclado después de su fraguado inicial, a menos sea aprobado por el profesional facultado para diseñar.

Una vez iniciada la colocación del concreto, esta debe efectuarse en una operación continua hasta que se termine el llenado del panel o sección, definida por sus límites o juntas predeterminadas, excepto en lo permitido o prohibido por C.6.4.

La superficie superior de las capas colocadas entre encofrados verticales por lo general debe estar a nivel.

Cuando se requieran juntas de construcción, estas deben hacerse de acuerdo con C.6.4.

Todo concreto debe compactarse cuidadosamente por medio adecuados durante la colocación, y debe acomodarse por completo alrededor del refuerzo y de las instalaciones embebidas, y en las esquinas del encofrado.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

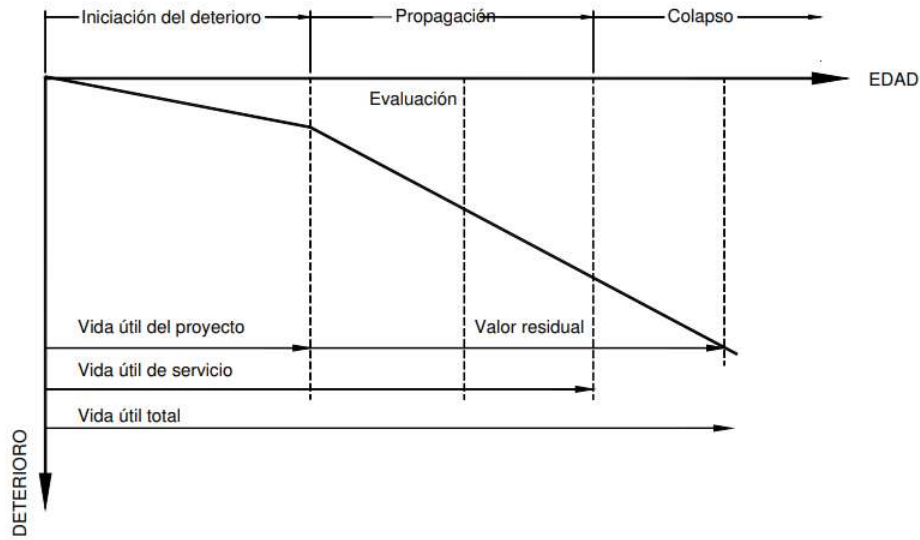
En el capítulo C.5.11 “Curado” establece que “el concreto debe mantenerse a una temperatura por encima de 10°C y en condiciones de humedad por lo menos durante los primeros 7 días después de la colocación.

El concreto de alta resistencia inicial debe mantenerse por encima de 10°C y en condiciones de humedad por lo menos los 3 primeros días.” (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010)

#### **4.4.2 NTC 5551 Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto.**

“Esta norma establece las especificaciones aplicables a concretos hidráulicos sometidos a condiciones de exposición ambiental específicas, a las cuales estará expuesta la estructura durante su vida útil total”. (ICONTEC, 2007)

**Gráfica 1.** *Vida útil de las estructuras*

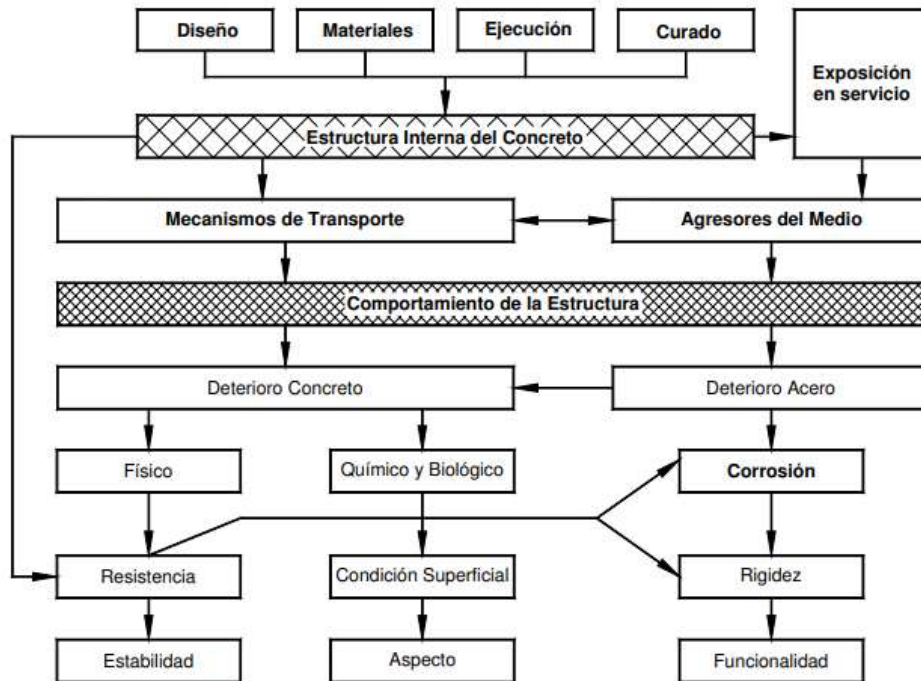


Tuutti, K "Corrosion of steel in concrete" Report 4.82, Cement and Concrete Association, Stockholm, 1982.

Nota: Tomado de (ICONTEC, 2007, pág. 4)

Adicionalmente, la durabilidad de una estructura de concreto reforzado depende de varios factores, los cuales aparecen relacionados en la Figura 2.

**Gráfica 2.** *Factores que afectan la durabilidad del concreto*



Nota: Tomado de (ICONTEC, 2007, pág. 5)

En la gráfica 2 se puede observar que la estructura interna del concreto dependerá de cuatro factores fundamentales:

***Diseño de la estructura:*** dimensionamiento, cálculo, valoración del tipo de agresores en el medio, definición del espesor de recubrimiento, selección de los materiales, especificación del concreto durable frente al tipo de ataque y el tipo de protección adicional cuando es requerida, definición del tipo y frecuencia del mantenimiento.

***Materiales:*** uso de materiales adecuados y control de calidad.

***Ejecución:*** buena práctica constructiva, transporte, colocación y vibrado adecuados

***Curado:*** etapa en obra que reviste gran importancia para la durabilidad de la estructura.”

(ICONTEC, 2007)

**Requisitos de durabilidad:**

“Para que los elementos de concreto estructural tengan una expectativa de durabilidad adecuada, se deben definir las acciones por tomar para contrarrestar en forma práctica y eficiente los mecanismos específicos de deterioro que pueden presentarse sobre la estructura de concreto y que atentan contra su durabilidad; ya que los diversos procesos reconocidos de degradación pueden evitarse o mitigarse aprovechando los conocimientos actuales de la tecnología del concreto, de los materiales en general y de los parámetros involucrados en el proceso.”

(ICONTEC, 2007)

**Materiales**

Se deben cumplir los parámetros definidos en la NTC 3318 como condición básica para un concreto durable. A menos que se incluyan otras especificaciones, los materiales deben cumplir las siguientes:

**Cemento**

El cemento debe cumplir con las normas NTC 121 y NTC 321. Se permite el uso de cementos fabricados bajo las normas ASTM C150, ASTM C595 y ASTM C1157. El cliente debe especificar el tipo o tipos requeridos; en caso de no hacerlo, se aplican los requisitos del Tipo 1, según las normas NTC citadas. Estos requisitos deben estar documentados y almacenados para verificar su cumplimiento. (ICONTEC, 2007)

**Agregados**

Los agregados deben cumplir los requisitos de la NTC 174; los agregados que no cumplan con la norma anterior, pero que hayan demostrado mediante ensayos especiales o en uso, que producen concreto con resistencia y durabilidad adecuadas, se pueden utilizar cuando se compruebe, mediante los métodos de laboratorio existentes y autorizados por el supervisor técnico.

El tamaño máximo nominal del agregado no debe ser mayor que:

- a) 1/5 de la dimensión menor entre los lados de las formaletas,
- b) 1/3 del espesor de las losas
- c) 3/4 del espaciamiento libre mínimo entre las barras o alambres individuales del refuerzo,

paquetes de barras o los tendones o ductos de preesforzado. (ICONTEC, 2007)

**Agua**

El agua utilizada en la mezcla del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el concreto o el refuerzo. El agua debe cumplir la NTC 3459.

El agua de mezcla para el concreto preesforzado o para el concreto que vaya a contener elementos embebidos de aluminio, o el agua asociada a la humedad libre de los agregados, no debe contener cantidades perjudiciales del ión cloruro, según lo indicado en la Tabla 6.

El agua no potable no debe utilizarse en el concreto, a menos que se cumplan los siguientes requisitos:

- a) Que la dosificación esté basada en mezclas de concreto que utilicen agua de la misma fuente.
- b) Que los cubos para ensayo de morteros hechos con agua no potable de mezcla, tengan resistencias a la compresión a los 7 d y 28 d de edad, iguales o mayores al 90 % de las resistencias a la compresión de probetas similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse sobre morteros idénticos, con excepción del tipo de agua empleada en la muestra, preparados y ensayados de acuerdo con la NTC 220. (ICONTEC, 2007)

### **Otros materiales**

Se permite el uso de otros materiales (colorantes, pigmentos minerales, fibras, poliestileno expandido) siempre y cuando no afecten la durabilidad del concreto y su desempeño se encuentre certificado.

### **Control de agrietamiento**

Se debe proveer suficiente cuantía de refuerzo para todos aquellos sitios de la estructura donde se concentran esfuerzos de tensión, producidos por cambios volumétricos, empotramientos o reducción de secciones, entre otros. La presencia de fisuras en el concreto no implica necesariamente una disminución en la durabilidad o condiciones de uso de una construcción. No obstante, es indispensable que en la construcción no se vea afectado su



comportamiento por la presencia de fisuras. Para elementos de concreto reforzado, se especifican las siguientes separaciones máximas de fisura, según el tipo de ambiente así:

**Tabla 3.** *Valores máximos de separación de fisuras*

Tipo de Ambiente	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3	5,1	6,1	6,2	6,3	7
Separación máxima de fisuras (mm)	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6

Nota: Tomado de (ICONTEC, 2007, pág. 12)

#### 4.4.3. *INV E – 410 – 13: resistencia a la compresión de cilindros de concreto*

Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m<sup>3</sup> (50 lb/pie<sup>3</sup>).

Esta norma reemplaza la norma INV E-410-07.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

## 4 Metodología

### 5.1 Método, tipo y enfoque de la investigación

Esta investigación se realiza con el **método deductivo** porque se aplicarán principios, teorías y leyes que están estudiadas científicamente.

Respecto a los pasos que se seguirán para dar solución al problema de esta investigación, se aplicará los siguientes tipos de investigación:

- **investigación histórica:** porque se tienen en cuenta investigaciones pasadas y documentos tomando solides y confiabilidad con el fin de encontrar otra manera de realizar el producto a investigar, logrando una argumentación afectiva.
- **investigación experimental:** porque hay un control entre la variable independiente que es el concreto con la variable dependiente que son las fibras de aluminio. La relación de estas variables va encaminada a que la resistencia del concreto dependerá de los porcentajes de adición de fibra de concreto.

Según la forma como se recolectará la información, esta investigación tendrá el siguiente enfoque:

- **Cuantitativo:** porque permite realizar análisis con los datos numéricos y así fortalecer la investigación para demostrar si resuelven el problema de manera objetiva.

### 5.2 Diseño comprobatorio

El diseño del presente proyecto será comprobado por medio de ensayos de compresión de cilindros de concreto, donde se podrá verificar la resistencia del concreto a fabricar que llevará unos porcentajes de adición de fibras de aluminio reciclado, y comprobar si es factible o no para ser aplicado en sobre pisos sometidos a altas cargas, por ejemplo, en parqueaderos.

### **5.3 Variables e indicadores**

Este proyecto maneja la variable dependiente que es la fabricación de 12 cilindros de muestras de concreto de 3000 psi y la variable independiente que son las adiciones de fibra con dosificaciones del 3%, 6%, 9% y 12% para ser sometidos a prueba de compresión para detallar su comportamiento a los 7, 14 y 28 días.

De igual manera, se propone a través de los recursos temáticos brindados por la Universidad Minuto de Dios, realizar este proyecto con los estudios requeridos para determinar la resistencia que un concreto puede llegar a tener con la adición de fibras en aluminio.

Esto representa factibilidad a la obra civil en tiempo y economía, al reemplazar los refuerzos tradicionales, los cuales se deben disponer de personal y recursos económicos para su instalación.

### **5.4 Procesos y procedimientos**

Desarrollo del material a fabricar:

1. Recolectar objetos que ya no estén en uso cuya materia prima sea el aluminio, para ser previamente lavadas y así eliminar las impurezas adheridas, luego serán cortadas para lograr obtener fibras de longitud = 40 mm y ancho = 4 mm, posteriormente serán lavadas nuevamente para eliminar las partículas de aluminio que hayan quedado adheridas por el proceso de corte, finalmente serán secadas a temperatura ambiente.
2. Diseñar el concreto de 3000 psi con la adición de fibra de aluminio para los porcentajes de 3%, 6%, 9% y 12%.
3. Fundir 12 cilindros de concreto con el concreto diseñado.
4. Realizar el proceso de fraguado a los cilindros de concreto.
5. Fallar los cilindros y analizar su comportamiento.

## 6 Diseño de mezcla

Para realizar el diseño de mezcla de concreto con adiciones de fibras de aluminio en diferentes concentraciones, se toma como referencia la dosificación del m<sup>3</sup> de concreto tradicional. Siendo las fibras de aluminio reciclado el material que se le adicionará a la mezcla como agregado, este será incorporado en diferentes porcentajes respecto al volumen de concreto según las dimensiones de los cilindros.

Materiales utilizados:

- **Cemento:** sus propiedades más relevantes son la finura, la fluidez o consistencia normal, la densidad, la resistencia a la compresión, la expansión, los tiempos de fraguado y el fraguado rápido.
- **Arena:** Su uso frecuente será para la elaboración de mortero y concreto. Si la arena es fina, el uso más común es para los trabajos de albañilería y trabajos de mampostería. También se usa para mezclas asfálticas.
- **Agua:** El agua tiene unas propiedades específicas como polaridad, calores específicos de vaporización y fusión, cohesión y densidad.
- **Aluminio:** Posee una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería de materiales, tales como su baja densidad (2812,5 kg/m<sup>3</sup>) y su alta resistencia a la corrosión. Es buen conductor de la electricidad y del calor, se mecaniza con facilidad y es muy barato.

### 6.1 Dosificación de la mezcla de concreto tradicional

Para saber las proporciones de las mezclas se procede a realizar y preparar una primera mezcla de prueba teniendo como base unas proporciones iniciales.

La resistencia mínima a la compresión de cilindro de este diseño es de 3000 psi.

La dosificación que se trabajo fue 1.2.3 los cuales son concreto de alta resistencia y se deben de hacer con los mejores materiales de la zona.

**Tabla 4.** *Dosificación por volumen para 1 m<sup>3</sup> de concreto tradicional.*

TIPO CONCR.	RESIST. p.s.i	MATERIALES				
		CEMENTO KG	ARENA M3	TRITUR. M3	AGUA LTR	PRODUCC. %
1:2:2	3500	420	0.67	0.67	250	5
1:2:3	3000	350	0.56	0.84	180	5
1:2:4	2500	300	0.48	0.95	170	5
1:3:4	2000	260	0.63	0.84	170	5
1:3:6	1500	210	0.5	1.00	160	5
1:2:3 IMP	3000	350	0.56	0.84	180	5
1:2:4 IMP	2500	300	0.48	0.95	170	5
CICLOPEO	---					

Nota: Tomado de (Construya facil, 2012)

**6.1.1 Cantidad de cemento para 1m<sup>3</sup>**

Cemento = 350 kg por m<sup>3</sup> de concreto

Tipo de cemento: Cemex de uso general de 50kg por bulto

Equivale a 7 bultos de cemento para 1m<sup>3</sup>

**6.1.2 Cantidad de agregado para 1m<sup>3</sup>**

Contenido de grava de ½” = 0.84 m<sup>3</sup> = 1260,23 kg/m<sup>3</sup>

**6.1.3 Cantidad de arena para 1m<sup>3</sup>**

Contenido de arena = 0.56 m<sup>3</sup> = 882,26 kg/m<sup>3</sup>

**6.1.4 Cantidad de agua para 1m<sup>3</sup>**

La relación agua-cemento A/C =0.50

Cantidad de agua =

$$A/C = 0.50$$

$$A = 0.50 * 350 = 175 \text{ Litros}$$

$$\text{Agua} = 180 \text{ litros por m}^3$$

**Tabla 5.** *Dosificación en Kg para 1m<sup>3</sup> de concreto.*

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad por metro cubico (kg/m3)</b>	<b>Cantidad por bulto de cemento (kg)</b>
<b>Cemento</b>	350	50
<b>Arena</b>	882.26	126
<b>Triturado 1/2"</b>	1260.23	180
<b>"Tipo de cemento: Cemex uso general 50 kg"</b>		

Nota: Fuente propia

### 7 Muestras de concreto con fibra de aluminio reciclado.

Para los ensayos de laboratorio a compresión se realizaron 12 muestras con diferente proporción de fibras de aluminio. Para las dosificaciones del cemento, arena, grava, agua y aluminio se tuvo en cuenta el volumen de los cilindros.

Altura del cilindro= 0,20m

Diámetro= 0,10m

$$V_c = \pi * r^2 * h$$

$$V_c = \pi * 0,05m^2 * 0,20 m$$

$$V_c = 0,001570 m^3$$

**Tabla 6.** Dosificación de materiales para el volumen de 0,001570 m<sup>3</sup> correspondiente a un cilindro.

Material	Dosificación
Cemento	0,743 kg
Arena	1.486 kg
Grava	2,229 kg
Agua	0,371 kg

Nota: Fuente propia

La cantidad de fibras de aluminio varía según el porcentaje que será adicionado en cada muestra que corresponde al 3%, 6% 9% y 12% del volumen de los cilindros de laboratorio.

**Tabla 7.** *Número de especímenes por dosificación.*

Dosificación	Número de muestras		
	7 días	14 días	28 días
Sin fibras de aluminio	1	1	1
3%	1	1	1
6%	1	1	1
9%	1	1	1
12%	1	1	1

Nota: Fuente propia.

**Ilustración 5.** *Materiales para los cilindros de concreto con adición de fibras de aluminio.*



Nota: De izquierda a derecha: fibras de aluminio, cemento, grava, arena. Fuente propia.



### 7.1 Muestra 1 (concreto tradicional)

Inicialmente se realizó una muestra para los 3 cilindros con una mezcla de concreto tradicional, para realizarle el ensayo a compresión y con la resistencia alcanzada poder comparar con los datos arrojados por el concreto con fibras de aluminio.

Dosificación para 3 cilindros de concreto tradicional:

Cemento= 2,229 kg

Arena = 4,458 kg

Grava = 6,687 kg

Agua= 1,115 kg (1.11 litros)

#### 7.1.1 Ensayo a la compresión muestra 1

Se realiza el correspondiente ensayo arrojando los siguientes datos:

**Tabla 8.** Ensayo a la compresión muestra 1

No. Cilindros	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Toma De Lectura		Resistencia		Porcentaje de resistencia
				KN	Kgf.	Kg/cm2	PSI	
1	22/03/2021	29/03/2021	7	260,0	26494	145,2	2075	69,2%
2	22/03/2021	5/04/2021	14	322,4	32853	180,1	2573	85,8%
3	22/03/2021	19/04/2021	28	378,2	38539	211,3	3018	100,6%

Nota: Fuente propia

**7.2 Muestra 2 (concreto con 3% de fibra)**

Cemento= 2,229 kg

Arena = 4,458 kg

Grava = 6,687 kg

Agua= 1,115 kg (1.11 litros)

Laminas 3% = 66,87 gr

**7.2.1 Ensayo a la compresión muestra 2**

Se realiza el correspondiente ensayo arrojando los siguientes datos:

**Tabla 9.** *Ensayo a la compresión muestra 2*

No. Cilindros	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Toma De Lectura		Resistencia		Porcentaje de resistencia
				KN	Kgf.	Kg/cm2	PSI	
1	22/03/2021	29/03/2021	7	244,7	24935	136,7	1953	65,1%
2	22/03/2021	5/04/2021	14	323,1	32924	180,5	2578	85,9%
3	22/03/2021	19/04/2021	28	380,0	38722	212,3	3032	101,0%

Nota: Fuente propia

**7.3 Muestra 3 (Concreto con 6% de fibra)**

Dosificación:

Cemento= 2,229 kg

Arena = 4,458 kg

Grava = 6,687 kg

Agua= 1,115 kg (1.11 litros)

Laminas 6% = 133,74 gr

**7.3.1 Ensayo a la compresión muestra 3**

Se realiza el correspondiente ensayo arrojando los siguientes datos:

**Tabla 10.** *Ensayo a la compresión muestra 3*

No. Cilindros	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Toma De Lectura		Resistencia		Porcentaje de resistencia
				KN	Kgf.	Kg/cm2	PSI	
1	22/03/2021	29/03/2021	7	256,0	26086	143,0	2043	68,1%
2	22/03/2021	5/04/2021	14	326,4	33260	182,3	2605	86,8%
3	22/03/2021	19/04/2021	28	388,4	39578	217,0	3100	103,3%

Nota: Fuente propia.

**7.4 Muestra 4 (concreto con 9% de fibra)**

Cemento= 2,229 kg

Arena = 4,458 kg

Grava = 6,687 kg

Agua= 1,115 kg (1.11 litros)

Laminas 9% = 200,61 gr

**7.4.1 Ensayo a la compresión muestra 4**

Se realiza el correspondiente ensayo arrojando los siguientes datos:

**Tabla 11.** *Ensayo a la compresión muestra 4*

No. Cilindros	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Toma De Lectura		Resistencia		Porcentaje de resistencia
				KN	Kgf.	Kg/cm <sup>2</sup>	PSI	
1	22/03/2021	29/03/2021	7	239,9	24446	134,0	1914	63,8%
2	22/03/2021	5/04/2021	14	316,3	32231	176,7	2524	84,1%
3	22/03/2021	19/04/2021	28	381,7	38895	213,2	3046	101,5%

Nota: Fuente propia

**7.5 Muestra 5 (concreto con 12% de fibra)**

Cemento= 2,229 kg

Arena = 4,458 kg

Grava = 6,687 kg

Agua= 1,115 kg (1.11 litros)

Laminas 12% = 267,48 gr

**7.5.1 Ensayo a la compresión muestra 5**

Se realiza el correspondiente ensayo arrojando los siguientes datos:

No. Cilindros	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Edad (Días)	Toma De Lectura		Resistencia		Porcentaje de resistencia
				KN	Kgf.	Kg/cm2	PSI	
1	22/03/2021	29/03/2021	7	232,1	23651	129,7	1852	61,7%
2	22/03/2021	5/04/2021	14	300,0	30570	167,6	2394	79,8%
3	22/03/2021	19/04/2021	28	374,9	38202	209,4	2992	99,7%

## 8 Presupuesto

**Tabla 12.** *Presupuesto 1m<sup>3</sup> de concreto tradicional 3000 psi*

MATERIALES	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
Cemento gris	Kg	350	\$ 530,00	\$ 185.500,00
Arena de planta	M <sup>3</sup>	0,56	\$ 85.000,00	\$ 47.600,00
Agregado grueso 12,5 mm	M <sup>3</sup>	0,84	\$ 40.000,00	\$ 33.600,00
Agua	M <sup>3</sup>	0,18	\$ 3.000,00	\$ 540,00
			<b>TOTAL, m<sup>3</sup>:</b>	<b>\$ 267.240,00</b>

**Tabla 13.** *Presupuesto 1m<sup>3</sup> de concreto 3000 psi con 6% de adición de fibra de aluminio*

MATERIALES	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
Cemento gris	Kg	350	\$ 530,00	\$ 185.500,00
Arena de planta	M <sup>3</sup>	0,56	\$ 85.000,00	\$ 47.600,00
Agregado grueso 12,5 mm	M <sup>3</sup>	0,84	\$ 40.000,00	\$ 33.600,00
Agua	M <sup>3</sup>	0,18	\$ 3.000,00	\$ 540,00
Fibras de Aluminio*	Kg	28,30	\$ 3.000,00	\$ 84.900,00
			<b>TOTAL m<sup>3</sup>:</b>	<b>\$ 352.140,00</b>

Nota: \*Es un valor propuesto según la cantidad de latas de aluminio que se utilizaron para este proyecto, incluye mano de obra y material. El precio varía según el fabricante de las fibras de aluminio. Fuente propia

## 9 Análisis y discusión de resultados

Se compara las resistencias alcanzadas a los 28 días del concreto con las variaciones de porcentajes de adición de fibra de aluminio.

**Tabla 14.** Resistencias en PSI según edad de falla.

Edad de falla	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
7	2075	1953	2043	1914	1852
14	2573	2578	2605	2524	2394
28	3018	3032	3100	3046	2992

Nota: Fuente propia

**Tabla 15.** Porcentajes de resistencia según edad de falla.

Edad de falla	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
7	69,20%	65,10%	68,10%	63,80%	61,70%
14	85,80%	85,90%	86,80%	84,10%	79,80%
28	100,6%	101,0%	103,3%	101,5%	99,7

Nota: Fuente propia.

Según estos resultados se evidencia que el diseño de mezcla de concreto que mejor comportamiento tiene a la compresión a los 28 días es la muestra 3, que corresponde a una adición de 6% de fibra de aluminio reciclado.

El costo total de 1m<sup>3</sup> de concreto con adición de 6% de fibra de aluminio es de \$352.140, es decir que respecto al concreto tradicional se incrementa en un 31% su valor.

**Tabla 16.** Comparativo de resistencias y valor de concretos por 1m<sup>3</sup>

Tipo de concreto	Resistencia en PSI	Valor por 1m <sup>3</sup>
Tradicional	3000	\$267.240
Con 6% de fibra de aluminio	3100	\$352.140

Nota: Fuente propia

Comparando el valor del concreto tradicional vs el concreto con fibras de aluminio, se presenta un incremento de precio ya que se está adicionando el material novedoso que son las fibras de aluminio; pero este incremento no es tan elevado y va a depender del fabricante de las fibras, de igual manera, este concreto representa mayor adherencia y resistencia lo cual significa que está brindando calidad en el material a implementar en obras civiles.



## 10 Conclusiones

Las fibras de aluminio tienen una influencia considerable en el comportamiento del concreto, ya que depende de las características físicas que presenten las fibras como su longitud, ancho, y grosor, las cuales van a variar la resistencia del concreto ya sea de forma negativa o positiva, de igual manera, se les debe realizar una correcta limpieza, puesto que no pueden estar contaminadas por residuos porque va a afectar el concreto que se vaya a diseñar.

El porcentaje de adición de fibras de aluminio reciclado que presentó mejor comportamiento a la resistencia a la compresión a los 28 días fue el de 6% arrojando 3100 PSI. El costo total de 1m<sup>3</sup> de concreto con adición de 6% de fibra de aluminio es de \$352.140, es decir que respecto al concreto tradicional se incrementa en un 31% su valor. Esto quiere decir que al adicionar las fibras de aluminio aporta mayor resistencia que el concreto tradicional, lo cual es un factor positivo para ser aplicado en sobre pisos de construcciones como en parqueaderos, además de esto también se está mitigando la contaminación ambiental.

## **11 Recomendaciones**

Una vez concluido este trabajo, se recomienda para futuras investigaciones basadas en concretos con adición de fibras de aluminio, realizar variaciones en los porcentajes de adición de las fibras, de igual manera, utilizar fibras con dimensiones distintas a la implementada en esta investigación con el fin de analizar el comportamiento de estos diferentes concretos cuando se varían cantidades de porcentajes y dimensiones, y verificar si logra resistencias distintas a las obtenidas en el presente trabajo.

## 12 Bibliografía

360 en concreto. (s.f.). *argos*. Obtenido de

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto/corrosion-del-acero-de-refuerzo#:~:text=La%20corrosi%C3%B3n%20del%20acero%20de%20refuerzo%20en%20las%20estructuras%20se,una%20cantidad%20suficiente%20de%20cloruros.>

ALU-STOCK. (s.f.). *ALU-STOCK*. Obtenido de <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/>

Amaya, S., & Ramirez, M. (2019). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO*. Bogotá, Bogotá, Colombia.

Amaya, S., & Ramirez, M. (2019). *evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras*. Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23923/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20ENTREGA%20FINAL.pdf>

Argos. (s.f.). *Argos*. Obtenido de <https://argos.co/productos/concreto>

Bonilla, A., & Lascano, E. (julio de 2017). *Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras de aluminio reciclado*. Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14415/1/UPS%20-%20ST003139.pdf>

cemex. (5 de abril de 2019). *cemex*. Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->

[#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%C3%ADstica%20mec%C3%A1nica,por%20pulgada%20cuadrada%20\(psi\)](https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%C3%ADstica%20mec%C3%A1nica,por%20pulgada%20cuadrada%20(psi))).

concrelab. (22 de agosto de 2019). *Lo que debes saber sobre la compresión de cilindros de concreto*. Obtenido de <https://www.concrelab.com/compresion-cilindros/>

Concrelab. (22 de agosto de 2019). *Paso a paso para compresión de cilindros en concreto*.

Obtenido de <https://www.concrelab.com/paso-a-paso-para-compresion-de-cilindros/>

construmatica. (s.f.). *construmatica*. Obtenido de

<https://www.construmatica.com/construpedia/Curado>

Construmatica. (s.f.). *Construmatica*. Obtenido de

[https://www.construmatica.com/construpedia/Fisuras\\_en\\_el\\_Hormig%C3%B3n](https://www.construmatica.com/construpedia/Fisuras_en_el_Hormig%C3%B3n)

Construya facil. (02 de mayo de 2012). *Dosificaciones por volumen en mezclas de concreto*.

Obtenido de <https://www.construyafacil.org/2012/05/dosificaciones-por-volumen-en-mezclas.html>

Giraldo, L., & Ramos, Y. (s.f.). *Diseño de mezcla y caracterización físico-mecánica de un concreto de alta resistencia fabricado con cemento*. Obtenido de

[http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8291/Dise%C3%B1o\\_mezcla\\_caracterizaci%C3%B3n\\_%28Articulo\\_Cientifico%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y](http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/8291/Dise%C3%B1o_mezcla_caracterizaci%C3%B3n_%28Articulo_Cientifico%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Gonzalez, R. (s.f.). *Rodrigo Gonzalez*. Obtenido de <https://www.ecologiahoy.com/reutilizar>

Guerrero Flores, J. W. (2018). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto con incorporación de fibras de aluminio reciclado*. Lima, Peru.

Huanca, S. L. (marzo de 2006). *Diseño de mezclas de concreto*. Obtenido de

<https://itacanet.org/esp/construccion/concreto/dise%C3%B1o%20de%20mezclas.pdf>

ICONTEC. (2007). *NTC 5551*. Bogotá.

ICONTEC. (2010). *ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO*.

Instituto Nacional de Vias. (2012). *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO INVE – 410 – 13*. Bogotá.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). *Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes- 10*. Bogota: Asociacion colombiana de ingenieria sismica.

Osorio, J. D. (s.f.). *360 en concreto*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/calidad-y-aspectos-tecnicos/disenio-de-mezclas-de-concreto>

Recytrans. (05 de 06 de 2013). *Recytrans*. Obtenido de <https://www.recytrans.com/blog/que-es-el-reciclaje/>

Sanchez De Guzman, D. (2001). *Tecnologia del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar editores.

Sika Colombia S.A.S. (2014). *Concreto reforzado con fibras*.

Uriarte, J. M. (3 de octubre de 2019). *Caracteristicas.co*. Obtenido de <https://www.caracteristicas.co/aluminio/>

*Wikipedia*. (s.f.). Obtenido de <https://es.wikipedia.org/wiki/Cundinamarca>

Zapata, F. (25 de mayo de 2020). *lifeder*. Obtenido de <https://www.lifeder.com/ensayo-de-compresion/>

Zerbino, R., Barragán, B., Agulló, L., García, T., & Gettu, R. (2006). *Ciencia y tecnologia del Hormigon*. Obtenido de <https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/465/05-Zerbino.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20reolog%C3%ADa%20es%20la%20ciencia,esfuerzo%20aplicado%2C%20deformaciones%20y%20tiempo.&text=Incluye%20una%20s%C3%ADntesis%20de%20los,este%20materi>

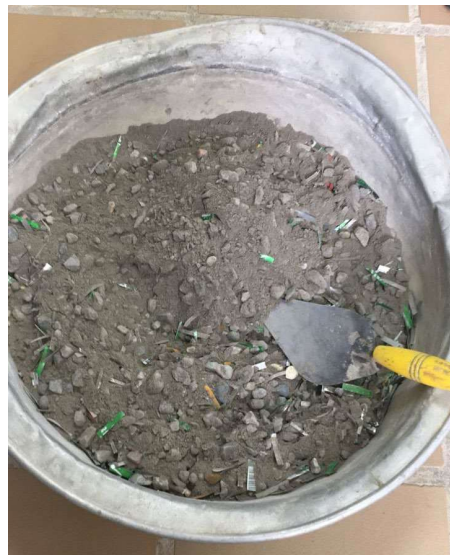
13 Anexos

*Anexo 1. Materiales empleados para el concreto de 3000 psi con adición de fibras de aluminio.*



Nota: Fuente propia

**Anexo 2.** Mezclando los materiales para el concreto de 3000 psi con adición del 3% de fibras de aluminio.



Nota: Fuente propia.

**Anexo 3.** *Vaciando el concreto con 3% de adición de fibras de aluminio, en el cilindro.*



Nota: Fuente propia.



**Anexo 4.** *Cilindros de concreto con el 3% de adición de fibra de aluminio.*



Nota: Fuente propia.

**Anexo 5.** *Mezclando los materiales para el concreto de 3000 psi con adición del 6% de fibras de aluminio.*



Nota: Fuente propia.

**Anexo 6.** *Vaciando el concreto con 6% de adición de fibras de aluminio, en el cilindro.*



Nota: Fuente propia.

**Anexo 7.** *Cilindros de concreto y adición del 3% y 6% de fibra de aluminio.*



Nota: Fuente propia.

**Anexo 8.** *Diseño de mezclas para concreto estructural de 3000 PSI.*

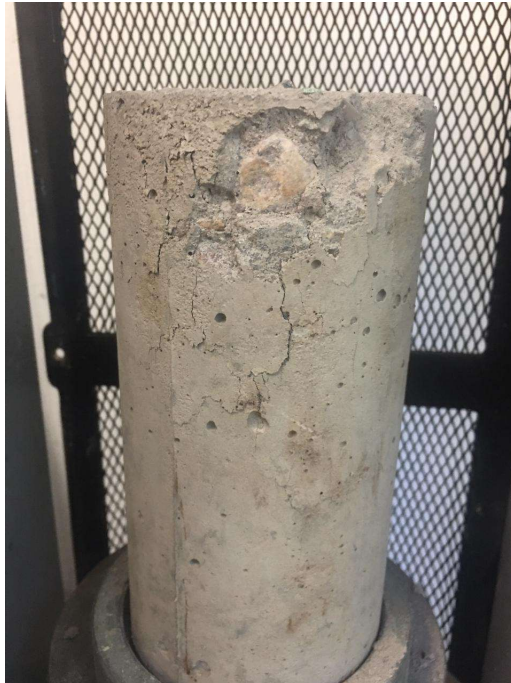
DISEÑO POR M3 DE CONCRETO			
MATERIALES	VOLUMEN M3 - COMPACTO	PROPORCIÓN	PROPORCIÓN EN BALDES 9 litros, POR BULTO
AGUA REQUERIDA (Lts/M3)	0,200	200	
CEMENTO	0,129	1,0	4,0
AGREGADO FINO	0,272	2,0	8,0
AGREGADO GRUESO	0,399	3,0	12,0

Nota: Fuente propia

**Anexo 9.** *Cilindro de concreto tradicional fallado a los 28 días.*

Nota: Fuente propia.

**Anexo 10.** *Cilindro de concreto con 3% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.*



Nota: Fuente propia

**Anexo 11.** *Cilindro de concreto con 6% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.*



Nota: Fuente propia.

**Anexo 12.** *Cilindro de concreto con 9% de fibra de aluminio, fallado a los 28 días.*



Nota: Fuente propia.