

**USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO-ASBESTO COMO AGREGADO  
ARTIFICIAL COMPLEMENTARIO PARA ADOQUINES DE CONCRETO EN LA  
CIUDAD DE VALLEDUPAR**

**ALEJANDRO LUIS MENDOZA PICÓN  
LUIS RAFAEL QUINTERO MENDOZA**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS  
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR CESAR**

**2019**

**USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO-ASBESTO COMO AGREGADO  
ARTIFICIAL COMPLEMENTARIO PARA ADOQUINES DE CONCRETO EN LA  
CIUDAD DE VALLEDUPAR**

**ALEJANDRO LUIS MENDOZA PICÓN  
LUIS RAFAEL QUINTERO MENDOZA**

**ANTEPROYECTO DE TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL DE TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**DIRECTOR: ING. EBERTO ORTEGA SINNING**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLÓGICAS  
INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR CESAR**

**2019**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del director del departamento**

---

**Firma del evaluador 1**

---

**Firma del evaluador 2**

**Valledupar, febrero de 2019**

## AGRADECIMIENTOS

*La fe en Dios hace de tu peor día el primero de una nueva etapa es por eso que quiero agradecer principalmente a Él por este trabajo de tesis que ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre por mantener siempre mis bases, principios, fortalezas, sabiduría de manera muy sólidas y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.*

*Alejandro Luis Mendoza Picón*

*Agradezco primeramente a Dios por permitirme cumplir el sueño de iniciar y ahora culminar esta bonita etapa, llena de sacrificios, vivencias, retos y experiencias que sin duda me han convertido en una mejor persona. Agradezco a mis padres por su gran esfuerzo y sacrificio, a mis hermanos por su gran apoyo, y a mis demás familiares y amigos que aportaron y me acompañaron en el camino que termina hoy, pero que marca el inicio de muchos sueños y vivencias que vendrán.*

*Luis Rafael Quintero Mendoza*

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN   | 11 |
| 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                   | 13 |
| 2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA                                    | 14 |
| 3. JUSTIFICACIÓN  | 15 |
| 4. OBJETIVOS  | 16 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL  | 16 |
| 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS                                       | 16 |
| 5. MARCO REFERENCIAL  | 17 |
| 5.1 ANTECEDENTES  | 17 |
| 5.2 MARCO TEORICO   | 18 |
| 5.2.1 ASBESTO   | 18 |
| 5.2.2 RIESGOS PARA LA SALUD A CAUSA DEL ASBESTO                 | 21 |
| 5.2.3 CEMENTO   | 22 |
| 5.2.4 AGREGADOS   | 23 |
| 5.2.5 CONCRETO  | 24 |
| 5.3 MARCO CONTEXTUAL  | 29 |
| 5.4 MARCO CONCEPTUAL  | 30 |
| 5.5 MARCO LEGAL   | 33 |
| 6. METODOLOGÍA  | 35 |
| 6.1 RECOLECCIÓN DE LÁMINAS DE ASBESTO                           | 36 |
| 6.2 FABRICACIÓN DEL AGREGADO DE FIBROCEMENTO                    | 37 |
| 6.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS                    | 37 |
| 6.4 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO (ARENA)                     | 39 |
| 6.4.1 MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA                              | 42 |
| 6.5 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA)                   | 43 |
| 6.5.1 TAMAÑO MÁXIMO Y TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO | 46 |
| 6.6 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS          | 46 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.6.1  | MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO _____   | 47 |
| 6.6.2  | MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO _____   | 48 |
| 6.7    | DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS _____   | 49 |
| 6.7.1  | DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS _____   | 49 |
| 6.7.2  | DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS _____   | 52 |
| 6.8    | DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO _____   | 55 |
| 6.8.1  | RESISTENCIA PROMEDIO ( $f'_{cr}$ ) _____  | 56 |
| 6.8.2  | RELACIÓN AGUA-CEMENTO DE LA MEZCLA _____  | 57 |
| 6.8.3  | CANTIDADES DE AGUA, AIRE Y CEMENTO DE LA MEZCLA _____   | 58 |
| 6.8.4  | CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO PARA LA MEZCLA _____  | 59 |
| 6.8.5  | DETERMINACIÓN DE LOS VOLUMENES Y MASAS _____  | 61 |
| 6.8.6  | PROPORCIONES DE MEZCLA _____  | 62 |
| 6.9    | CÁLCULO DE LAS CANTIDADES DE CEMENTO, AGREGADOS Y AGUA<br>PARA EL NUMERO DE ESPECÍMENES A ENSAYAR _____ | 62 |
| 6.9.1  | DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE PARA UN ADOQUÍN Y UN<br>ESPÉCIMEN CILÍNDRICO _____                         | 63 |
| 6.10   | FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (CILINDROS) _____  | 65 |
| 6.11   | FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (ADOQUINES) _____  | 67 |
| 6.12   | ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO _____   | 68 |
| 6.12.1 | ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN _____   | 68 |
| 6.12.2 | ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN _____  | 70 |
| 6.13   | CALIDAD DE LOS ADOQUINES _____  | 71 |
| 7.     | ANÁLISIS DE RESULTADOS _____  | 72 |
| 7.1    | RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DISEÑADO  | 72 |
| 7.1.1  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN _____   | 73 |
| 7.1.2  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 5% DE<br>FIBROCEMENTO DE REEMPLAZO _____                   | 74 |
| 7.1.3  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 10% DE<br>FIBROCEMENTO _____                               | 76 |
| 7.1.4  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 20% DE<br>FIBROCEMENTO _____                               | 78 |
| 7.1.5  | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 30% DE<br>FIBROCEMENTO _____                               | 80 |
| 7.2    | RESISTENCIA OBTENIDA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO DISEÑADO _____   | 82 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.2.1 | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO PATRÓN   | 83  |
| 7.2.2 | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 5% DE FIBROCEMENTO   | 84  |
| 7.2.3 | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 10% DE FIBROCEMENTO  | 86  |
| 7.2.4 | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 20% DE FIBROCEMENTO  | 88  |
| 7.2.5 | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 30% DE FIBROCEMENTO  | 90  |
| 7.3   | ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y MECÁNICA DEL USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA DE CONCRETO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES | 92  |
| 7.4   | ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA DE CONCRETO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES          | 94  |
| 8.    | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES   | 100 |
| 8.1   | RECOMENDACIONES  | 102 |
| 9.    | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS   | 103 |
| 10.   | ANEXOS FOTOGRAFICOS  | 105 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Granulometría del agregado fino .....                                | 40 |
| Tabla 2: Bandas granulométricas de los agregados finos .....                  | 41 |
| Tabla 3: Módulo de finura para el agregado fino.....                          | 42 |
| Tabla 4: Granulometría del agregado grueso .....                              | 44 |
| Tabla 5: Bandas granulométricas de los agregados gruesos .....                | 45 |
| Tabla 6: Consistencia de la mezcla según el grado de asentamiento .....       | 55 |
| Tabla 7: Ajuste de la resistencia de diseño.....                              | 57 |
| Tabla 8: Relación A/C dada por la resistencia de diseño corregida.....        | 57 |
| Tabla 9: Cantidades de agua según el asentamiento y el TMN.....               | 58 |
| Tabla 10: Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del concreto .... | 59 |
| Tabla 11: Volúmenes y masas de los componentes de la mezcla .....             | 64 |
| Tabla 12: Cantidades de agregado de reemplazo .....                           | 65 |
| Tabla 13: Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes .....              | 69 |
| Tabla 14: Tolerancias de edad de ensayo de las viguetas .....                 | 71 |
| Tabla 15: Resistencias a la compresión obtenidas .....                        | 72 |
| Tabla 16: Resistencias a la flexión obtenidas .....                           | 82 |

## LISTA DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| Grafica 1: Curva granulométrica del agregado fino.....                           | 41 |
| Grafica 2: Curva granulométrica del agregado grueso .....                        | 45 |
| Grafica 3: Resistencia a la compresión del concreto patrón .....                 | 73 |
| Grafica 4: Resistencia a compresión del concreto 5% fibrocemento .....           | 74 |
| Grafica 5: Resistencia a compresión del concreto 5% fibrocemento vs patrón ..... | 75 |
| Grafica 6: Resistencia a compresión del concreto 10% fibrocemento .....          | 76 |
| Grafica 7: Resistencia a compresión del concreto 10% fibrocemento vs patrón ...  | 77 |
| Grafica 8: Resistencia a compresión del concreto 20% fibrocemento .....          | 78 |
| Grafica 9: Resistencia a compresión del concreto 20% fibrocemento vs patrón ...  | 79 |
| Grafica 10: Resistencia a compresión del concreto 30% fibrocemento .....         | 80 |
| Grafica 11: Resistencia a compresión del concreto 30% fibrocemento vs patrón..   | 81 |
| Grafica 12: Resistencia a flexión del concreto patrón .....                      | 83 |
| Grafica 13: Resistencia a flexión del concreto 5% fibrocemento .....             | 84 |
| Grafica 14: Resistencia a flexión del concreto 5% fibrocemento vs patrón.....    | 85 |
| Grafica 15: Resistencia a flexión del concreto 10% fibrocemento .....            | 86 |
| Grafica 16: Resistencia a flexión del concreto 10% fibrocemento vs patrón.....   | 87 |
| Grafica 17: Resistencia a flexión del concreto 20% fibrocemento .....            | 88 |
| Grafica 18: Resistencia a flexión del concreto 20% fibrocemento vs patrón.....   | 89 |
| Grafica 19: Resistencia a flexión del concreto 30% fibrocemento .....            | 90 |
| Grafica 20: Resistencia a flexión del concreto 30% fibrocemento vs patrón.....   | 91 |

## LISTA DE ILUSTRACIONES

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 1: Minerales de asbestos.....                                     | 20  |
| Ilustración 2: Enfermedades producidas por exposición al asbestos.....        | 22  |
| Ilustración 3: Composición del concreto .....                                 | 24  |
| Ilustración 4: Ensayos de resistencia a la compresión.....                    | 27  |
| Ilustración 5: Bandas granulométricas de los agregados gruesos .....          | 28  |
| Ilustración 6: Consistencia de la mezcla según el grado de asentamiento ..... | 29  |
| Ilustración 7: Ajuste de la resistencia de diseño .....                       | 36  |
| Ilustración 8: Relación A/C dada por la resistencia de diseño corregida ..... | 38  |
| Ilustración 9: Volumen de un adoquín y de un espécimen cilíndrico.....        | 63  |
| Ilustración 10: Cantidades de agua según el asentamiento y el TMN .....       | 68  |
| Ilustración 11: Lámina de fibrocemento en sitio.....                          | 105 |
| Ilustración 12: Determinación de la humedad de la muestra .....               | 105 |
| Ilustración 13: Medición de los adoquines terminados.....                     | 106 |
| Ilustración 14: Marcación del adoquín para ensayo de flexión .....            | 106 |
| Ilustración 15: Curado de los adoquines.....                                  | 107 |
| Ilustración 16: Adoquín luego de ser ensayado a flexión.....                  | 107 |
| Ilustración 17: Máquina trituradora de piedras .....                          | 108 |
| Ilustración 18: Tanda de adoquines .....                                      | 108 |
| Ilustración 19: Máquina fabricadora de adoquines.....                         | 109 |
| Ilustración 20: Máquina para ensayo de cilindros .....                        | 109 |
| Ilustración 21: Láminas trituradas .....                                      | 110 |
| Ilustración 22: Operación de la máquina adoquinadora.....                     | 110 |
| Ilustración 23: Especímenes cilíndricos .....                                 | 111 |

## 1. INTRODUCCIÓN

Por miles de años los seres humanos han buscado incansablemente la forma de solucionar sus problemas y necesidades, explorando y explotando los recursos que encontraban disponibles en la naturaleza. Conforme iban desarrollando técnicas más avanzadas de obtención, descubrieron nuevos recursos naturales que eran ideales para suplir algunas de sus necesidades, resultaron fáciles y económicos de obtener, sin embargo la peligrosidad que algunos de ellos tienen sobre la salud de los seres vivos era totalmente desconocida, hasta que esta se manifestó en problemas de mayor importancia, uno de estos recursos naturales es el asbesto.

El asbesto es el nombre dado a un conjunto de minerales astillosos cuyas fibras al ser inhaladas son precursoras de numerosas enfermedades respiratorias y potencialmente mortales para la salud humana. En Colombia estas fibras están presentes en diversos productos, siendo materia prima para; pastillas de frenos para vehículos automotores y las láminas de fibrocemento empleadas como cubiertas de viviendas, este último uso está generalizado en la ciudad de Valledupar.

El presente proyecto busca plantear una utilidad a las láminas de cubiertas desechadas y retiradas de las construcciones, que por su deterioro o mal estado son inservibles para su única finalidad, usarlas como cubiertas de techos. Para ello se propondrá implementarlas como material agregado complementario en la fabricación de adoquines de concreto, recubriéndolas con un material resistente y duradero, obteniendo así una segunda utilidad, pero con el objetivo primordial de mantener el material aislado del medio ambiente y evitando así que la población pueda respirar sus peligrosas fibras.

Se descompondrán las láminas de fibrocemento hasta conseguir un tamaño de partículas cercano a la grava, para evaluar sus posibilidades de uso como remplazo y/o complemento del agregado grueso dentro de una mezcla de concreto. Luego se realizarán diferentes mezclas de concreto, variando las proporciones del material de asbesto con respecto al material férreo tradicional, hasta encontrar aquella que

permita obtener la mejor relación entre la cantidad de agregado sustituido y la resistencia obtenida, conservando las mejores características de calidad del concreto y reutilizando la mayor cantidad posible de material de asbesto. Posteriormente se procederá a la elaboración de adoquines, pensados para su uso en tráfico ligero. En el caso en que los resultados en las mediciones de resistencia de los adoquines terminados no sean satisfactorios para su empleo como tales, se propondrá el uso más recomendado para el concreto resultante, dadas las características de calidad obtenidas.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia, a diferencia de muchos otros países más exigentes en materia ambiental, la minería de asbesto y el empleo de estos minerales para la elaboración de productos aún es frecuente y legal. Desde pastillas para frenos de vehículos, pasando por algunos tejidos textiles, hasta las láminas de fibrocemento para tejados de viviendas y edificios, son muchos los usos que le aportan demanda a este mineral, se ha establecido una actividad económica que depende de la extracción y explotación de este recurso, así como también del comercio de los productos derivados, todo esto permite que se mantenga presente la grave amenaza que los asbestos significan para la salud humana.

Una vivienda promedio colombiana de 100 m<sup>2</sup> tiene aproximadamente 115 m<sup>2</sup> de láminas de fibrocemento en su tejado, que a su vez significan 1550 kg<sup>1</sup> de material astilloso, es sabido, dado los datos proporcionados por los fabricantes, que la cantidad aproximada de mineral de asbesto del tipo crisotilo en una lámina de fibrocemento moderna es de un 10%, y de un 35% en aquellas más viejas, es correcto deducir que entre 155 kg y 540 kg de fibras de crisotilo pueden estar presentes, y en el peor de los casos, expuestas sobre la personas que allí habitan, esto es peor en muchas viviendas donde no existe una capa de cielo raso que separe la cubierta exterior de los espacios habitables de la casa.

Sabiendo que la solución lógica y definitiva al riesgo que representan los asbestos es la abolición en sí de la explotación minera, actividad que se mantiene arraigada actualmente, y la prohibición de la comercialización de productos a base de estos; toda vez que la primera es la que representa el mayor componente de riesgo para el ambiente y la salud pública. Sin embargo, estas prohibiciones dependen de medidas radicales y contundentes que son competencia de las ramas ejecutiva y

---

<sup>1</sup> Tejas de Fibrocemento, Eternit  
[http://www.eternit.com.co/index.php?option=com\\_remository&Itemid=46&func=fileinfo&id=75](http://www.eternit.com.co/index.php?option=com_remository&Itemid=46&func=fileinfo&id=75)

legislativa de la nación; medidas que aún no se han aprobado, probablemente debido al conflicto de intereses que se desprende de toda actividad económica.

## **2.1 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿De acuerdo con los ensayos de compresión y flexión, y con los parámetros físicos que se evaluarán en el laboratorio, cómo serán las características de calidad proporcionadas por los adoquines de concreto, fabricados con la adición de agregado artificial hecho a base de láminas de fibrocemento?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Todos los minerales que conforman los asbestos son considerados cancerígenos para la raza humana, se sabe, por diversos estudios, que la exposición prolongada a las fibras de este mineral, así como la inhalación y posterior acumulación de estas en los pulmones son causantes de diversas enfermedades respiratorias, algunas de ellas (como el cáncer de pulmón) potencialmente mortales.

Hasta el momento de esta investigación, la minería, comercialización y uso de los productos que contienen asbestos aún está permitida en la legislación colombiana, contraviniendo la cada vez mayor tendencia mundial de prohibir el uso del asbesto en aplicaciones comerciales e industriales.

Entendido esto es necesario encontrar alternativas válidas, distintas o complementarias a la disposición en campo, para las grandes cantidades de este material que están presentes en la mayoría de las viviendas urbanas y rurales. Si la alternativa propuesta, utilizarlas como materia prima en la realización de adoquines de concreto, bajo condiciones controladas y rigurosas, consigue resultados satisfactorios de calidad y seguridad del concreto producido, representaría una salida alterna al problema.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el uso de las láminas de fibrocemento (asbesto) provenientes de las actividades de construcción y demolición en la ciudad de Valledupar como agregado artificial complementario para la elaboración de adoquines de concreto.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Emplear los procesos y operaciones óptimos para garantizar el aislamiento de las partículas de material que se pueden generar en la fase de trituración de las láminas de fibrocemento.
- Establecer la proporción óptima de arena y material de fibrocemento triturado que permita conseguir la mejor calidad y resistencia del concreto.
- Analizar la permeabilidad, resistencia máxima a la compresión y a la flexión del concreto producido utilizando material de fibrocemento como agregado grueso.
- Evaluar la viabilidad económica, técnica y mecánica del uso de residuos de láminas de fibrocemento como material agregado en la elaboración de adoquines de concreto.
- Formular los usos recomendados para el concreto obtenido, a partir del análisis de las características propias de la mezcla estudiada, en el caso de que no sea posible la elaboración de adoquines.

## 5. MARCO REFERENCIAL

### 5.1 ANTECEDENTES

Actualmente el empleo de minerales de asbestos como ingrediente para productos comerciales es común y legal en Colombia, y los esfuerzos que se han realizado para su prohibición han cursado en el congreso sin lograr que se materialicen como una solución real al problema, asimismo existen pocas soluciones propuestas y desarrolladas para la disposición correcta de los residuos sólidos provenientes de las láminas de fibrocemento.

Se indagó acerca de las posibles investigaciones realizadas con anterioridad sobre el uso de materiales que contengan asbestos como materia prima en la fabricación de una mezcla de concreto, no se ha encontrado referencia alguna a una experimentación de este tipo, lo cual es un estímulo para esta investigación, pero también es una desventaja el no contar con un estudio que sirva como referencia inicial para el desarrollo de la misma. Sin embargo, es menester presentar algunas investigaciones que tienen similitudes en menor grado con el tema que se abordará, pero que muestran estudios realizados sobre mezclas de morteros y concretos a base de agregados artificiales no pétreos.

BEDOYA (2015) realizó un estudio sobre el efecto de los agregados reciclados y las cenizas de carbón sobre las propiedades de la durabilidad del mortero para aplicarlas en la elaboración de arrecifes artificiales, el estudio dio buenos resultados, observándose la buena resistencia proporcionada por el mortero, tras siete meses de exposición se evidenció una buena adaptación y colonización de especies propias de corales.

BEDOYA, DZUL (2015) realizaron un estudio llamado “El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana” en el cual sus autores utilizaron escombros de concretos para la elaboración de agregados reciclados finos y

gruesos, al final, se obtuvieron buenos resultados de resistencia, profundidad de carbonatación y viabilidad técnica y económica.

VÁSQUEZ, CASANOVA (2009) realizaron un estudio denominado “elaboración de concreto ligero con agregados PET” en el que se utilizó un agregado grueso de origen plástico para reemplazar al agregado grueso pétreo, al final se obtuvo un sobresaliente resultado, cuando la resistencia a la compresión deseada era de 300kg/m<sup>2</sup>, obteniendo una resistencia de 297 kg/m<sup>2</sup> y en cuanto a la resistencia a la flexión, aproximadamente una décima parte de la resistencia a compresión.

ALESMAR, RENDÓN, KORODY (2008) hicieron un diseño de mezcla de concreto utilizando plástico de tipo tereftalato de polietileno (PET) para reemplazo del agregado fino y cemento, se probó con porcentajes de reemplazo de plástico PET de 5%, 10% y 15%, y se empleó un agregado grueso de origen natural. Se Llegó a la conclusión de que el porcentaje de reemplazo de 15% fue el que mejores resultados de resistencia aportó.

## **5.2 MARCO TEORICO**

### **5.2.1 ASBESTO**

El asbesto (o amianto) es una fibra volátil cancerígena presente en las viviendas de muchas ciudades colombianas. Está presente en los hogares dentro de las tejas que componen los techos, sus diminutas fibras pueden desprenderse fácilmente ante el posible desgaste o rotura de la lámina, causando su liberación al aire. Las fibras de este mineral no son visibles fácilmente, causando que sean inhaladas y que puedan quedar atrapadas en los pulmones, allí pueden permanecer durante muchos años sin que la persona lo sepa. Con el paso del tiempo, estas se acumulan y causan cicatrización e inflamación, que pueden afectar la respiración y causar graves problemas de salud.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Asbesto. Greenpeace  
<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/asbesto1/>

### 5.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ASBESTOS

Los asbestos se clasifican en dos grupos principales que son conformados por seis minerales en total.

#### 5.2.1.1.1 ASBESTO SERPENTINA

**Crisotilo:** también conocido como amianto blanco, es un mineral del grupo de los silicatos, caracterizado porque tiene fibras largas, rizadas, que se pueden entrelazar formando una especie de espiral. Este tipo de asbesto es el que mayormente se ha usado en aplicaciones comerciales y es el asbesto presente en las láminas de fibrocemento.

#### 5.2.1.1.2 ASBESTO ANFIBÓLICO

**Amosita:** las fibras del asbesto amosita son rectas y casi siempre cafés o grises. Por esta característica, el apodo común de amosita es el asbesto café. Después del asbesto crisotilo, el asbesto café fue el segundo más común usado en productos comerciales. El uso comercial de esta sustancia se ha disminuido en gran parte desde que sus peligros fueron demostrados en décadas recientes. Varios países han prohibido por completo el asbesto café.

**Crocidolita:** conocido como el asbesto azul, el asbesto crocidolita está compuesto de fibras muy afiladas y muy finas. Comparadas a otras formas de fibras de asbesto, las fibras del crocidolita son quebradas e inhaladas muy fácilmente.

**Tremolita:** el asbesto tremolita se forma naturalmente en masas grandes en muchas partes del mundo, principalmente en Canadá y ciertas partes de los Estados Unidos. Aunque nunca fue una de las formas de asbesto más frecuentemente usadas, si es uno de los más peligrosos. El asbesto tremolita se ha encontrado en varios productos de casa, donde se incluyen talco para pies y hasta juguetes para niños.

**Antofilita:** el asbesto antofilita no es tan durable como los son las otras formas de asbesto, significando que no tiene muchos usos industriales. Sin embargo, ha sido usado como ingrediente en ciertos productos como pinturas y selladores de pinturas. Los mineros, pintores y trabajadores de astilleros están dentro de la población especialmente vulnerable a enfermedades relacionadas al antofilita.

**Actinolita:** el asbesto actinolita es similar al tremolita: los dos se extienden en colores de blanco a verde y forman ciertos tipos de piedras. Ninguno de ellos tienen una historia larga de uso industrial.<sup>3</sup>



Crisólito



Actinolita



Amosita



Antofilita



Crocidolita



Tremolita

*Ilustración 1: minerales de asbestos.*

*Fuente: Tipos de Asbestos, Centro de Recursos de Mesotelioma. <sup>3</sup>*

---

<sup>3</sup> Tipos de Asbestos, Centro de Recursos de Mesotelioma  
<https://espanol.mesolawsuit.com/asbesto/tipos-de-asbesto/>

## 5.2.2 RIESGOS PARA LA SALUD A CAUSA DEL ASBESTO

El asbesto o amianto (como también se le conoce) ha sido clasificado como un cancerígeno humano reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos (HHS), por la Oficina de Protección Ambiental (EPA) y por la Oficina Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC).

Según la IARC, hay suficiente evidencia de que el asbesto causa mesotelioma (un cáncer relativamente poco común de las membranas delgadas que revisten el pecho y el abdomen), y cánceres de pulmón, de laringe y de ovario. Aunque es un cáncer poco común, el mesotelioma es la forma más común de cáncer asociada con la exposición al asbesto. Hay limitada evidencia de que la exposición al asbesto esté relacionada con riesgos mayores de cánceres de estómago, de faringe y de colon y recto.

La exposición al asbesto puede también aumentar el riesgo de asbestosis (enfermedad inflamatoria que afecta los pulmones y causa dificultad para respirar, tos y daño permanente al pulmón) y otros trastornos no cancerosos de la pleura y de los pulmones, incluso las placas pleurales (cambios en las membranas que rodean el pulmón), el engrosamiento de la pleura y los derrames pleurales benignos (acumulación anormal de líquido entre las capas delgadas de tejido que revisten el pulmón y la pared de la caja torácica). Aunque las placas pleurales no preceden al cáncer de pulmón, existen pruebas que sugieren que las personas con enfermedad de la pleura causada por la exposición al asbesto pueden tener un riesgo mayor de cáncer de pulmón.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Exposición al Asbesto y riesgo de Cáncer, Cancer.gov  
<https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/asbesto/hoja-informativa-asbesto>



Mesotelioma



Asbestosis

*Ilustración 2: enfermedades producidas por exposición al asbesto.*

*Fuente: exposición al asbesto y riesgo de cáncer, cancer.gov<sup>5</sup>*

### **5.2.3 CEMENTO**

El cemento es un material pulverizado que contiene principalmente óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro, y que con la adición de una cantidad apropiada de agua forma una pasta conglomerante capaz de endurecerse tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, cales aéreas y yesos. (Rivera, 2013, pág. 18).

#### **5.2.3.1 CEMENTO PORTLAND**

El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado fundamentalmente por silicatos de calcio y aluminio. Las materias primas usuales a partir de las cuales se fabrica son las calizas que proporcionan el óxido de calcio (CaO), y arcillas y esquistos que proveen el óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y el óxido de

---

<sup>5</sup> <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/asbesto/hoja-informativa-asbesto>

aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Estos materiales se muelen, se mezclan, y se funden en hornos hasta obtener el llamado clinker, luego se enfrían y son molidos nuevamente para lograr la finura requerida. (Nilson, A. 1999, pág. 28).

#### **5.2.3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO**

El cemento está constituido por una serie de compuestos que contribuyen favorablemente para la finalidad conglomerante requerida y por otros componentes secundarios que se deben limitar, por los efectos contraproducentes que puedan ejercer sobre la mezcla. Se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina y hierro (Tabla 1.2). (Rivera, 2013, pág. 23).

#### **5.2.4 AGREGADOS**

Para concretos estructurales comunes, los agregados ocupan aproximadamente entre el 70 y el 75 por ciento del volumen de la masa endurecida. El resto está conformado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada (es decir, agua no utilizada en la hidratación del cemento) y vacíos de aire. Evidentemente, los últimos dos no contribuyen a la resistencia del concreto. En general, mientras más densamente pueda empaquetarse el agregado, mejor será el refuerzo, la resistencia a la intemperie y la economía del concreto. Por esta razón, resulta de fundamental importancia la gradación del tamaño de las partículas en los agregados, con el fin de producir este empaquetamiento compacto. También es importante que el agregado tenga buena resistencia, durabilidad y resistencia a la intemperie; que su superficie esté libre de impurezas como arcillas, limos o materia orgánica, las cuales pueden debilitar la unión con la pasta de cemento; y que se produzca una reacción química desfavorable entre éste y el cemento. (Nilson, A. 1999, pág. 29).

## 5.2.5 CONCRETO

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava, u otro agregado, y agua; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en el agregado fino y el agregado grueso.

El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida. Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango aún más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporadores de aire, microsílíce o cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor). (Nilson, A 1999, pág. 1)

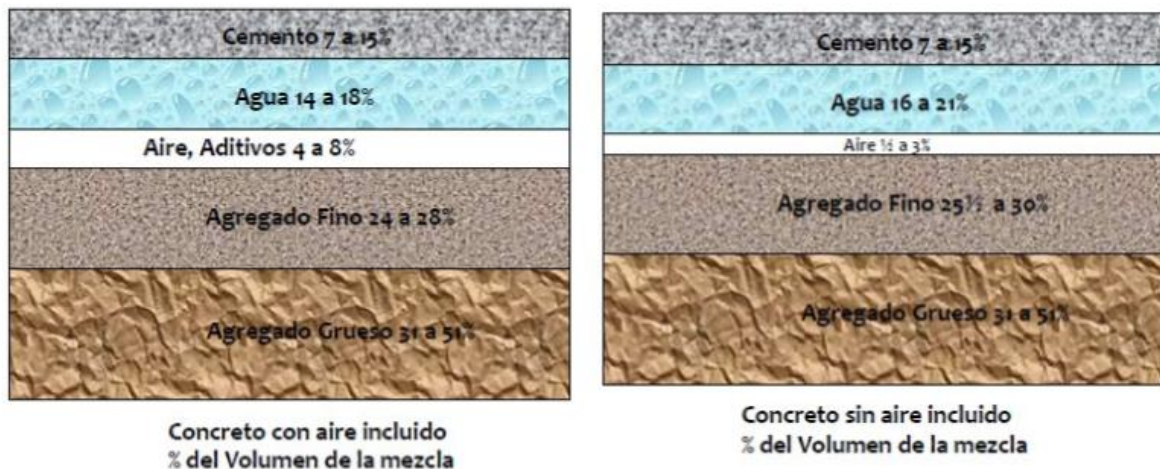


Ilustración 3: composición del concreto.

Fuente: RODRÍGUEZ, D, GÓMEZ J.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> RODRÍGUEZ, D, GÓMEZ, J. Manual de guías de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales y tecnología del concreto. [En línea]. Disponible en internet: [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual\\_gu%C3%ADas\\_laboratorio\\_enfocadas\\_CC\\_materiales-tecnolog%C3%ADa\\_concreto.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual_gu%C3%ADas_laboratorio_enfocadas_CC_materiales-tecnolog%C3%ADa_concreto.pdf) Pág. 28

### 5.2.5.1 TIPOS DE CONCRETOS

- Concreto ciclópeo
- Concreto simple, al que se le agregan piedras grandes. Tiene multitud de usos, como es en rellenos y mejoramiento de terreno.
- Concreto masivo: es un concreto simple pero al que se le añade un agregado grueso de entre 7,5 y 20 cm. Tiene uso en diques y represas.
- Concreto aligerado: es un concreto especial para lograr un peso menor, al emplear piedra pómez, alivien (disminuye el 30% del peso), u otros ingredientes en sustitución de agregados.
- Concreto armado: concreto colocado entre refuerzos de acero formado por barras longitudinales y transversales llamados ligaduras y estribos respectivamente, que incorporan resistencia a la tracción al material.<sup>7</sup>

### 5.2.5.2 DOSIFICACIÓN Y MEZCLA DEL CONCRETO

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo. Este último factor obliga a la utilización de la mínima cantidad de cemento (el más costoso de los componentes) que asegure unas propiedades adecuadas. Mientras mejor sea la gradación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos. Adicionalmente al agua requerida para la hidratación se necesita agua para humedecer la superficie de los agregados. A medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla aumentan (es decir, su manejabilidad mejora), pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de

---

<sup>7</sup> RODRÍGUEZ, D, GÓMEZ, J. Manual de guías de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales y tecnología del concreto. [En línea]. Disponible en internet: [http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual\\_gu%C3%ADas\\_laboratorio\\_enfocadas\\_CC\\_materiales-tecnolog%C3%ADa\\_concreto.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual_gu%C3%ADas_laboratorio_enfocadas_CC_materiales-tecnolog%C3%ADa_concreto.pdf)

vacíos creados por el agua libre. Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de esta manera, desde el punto de vista de la pasta de cemento, la relación agua-cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua-cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegure la manejabilidad deseada. (NILSON, A. 1999, pág. 31).

### **5.2.5.3 RESISTENCIAS DEL CONCRETO**

#### **5.2.5.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión se puede definir como la capacidad que tiene el material para soportar cargas axiales en la misma dirección y en sentido opuesto, la resistencia a la compresión se determina mediante cubos de mortero. (ICONTEC NORMA 220).

##### **5.2.5.3.1.1 ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

El procedimiento para realizar el ensayo a la resistencia a la compresión del concreto se encuentra establecido en la norma técnica colombiana (NTC) 121. 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. (MOVILLA, G. 2016)



*Ilustración 4: ensayo de resistencia a la compresión.*

*Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/03/22/ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-del-concreto/>*

### **5.2.5.3.2 RESISTENCIA A LA FLEXION**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. La resistencia a la flexión es de gran aplicación en los proyectos de losas para carreteras. La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia a la tracción pura. (RIVERA, concreto simple, 2013).

### 5.2.5.3.2.1 ENSAYO DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, empleando una viga simplemente soportada, cargada en lo tercios de la luz libre. Este procedimiento se encuentra en la norma INV E 414-13.

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas INV E 402, INV E418.

El resultado se calcula e informa como “módulo de rotura”. La resistencia determinada puede variar si existen diferencias en el tamaño del espécimen, la preparación, la condición de humedad, el curado o las condiciones bajo las cuales se ha moldeado o aserrado la viga al tamaño de ensayo. (Norma INV E 414-13).



*Ilustración 5: ensayo de resistencia a la flexión de adoquines.*

*Fuente: autores*

### 5.3 MARCO CONTEXTUAL



*Ilustración 6: mapa de ubicación de la ciudad de Valledupar.*

*Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Valledupar>*

La investigación que se aborda, sobre el uso de agregados artificiales complementarios a base de material de fibrocemento, se realizará completamente en la ciudad de Valledupar, capital del departamento del Cesar, en el norte de la república de Colombia. Esta ciudad presenta un clima tropical con una temperatura media anual de 28,4°C, siendo abril el mes más caluroso del año con una temperatura promedio de 30°C y octubre el más fresco con 26°C. Presenta vientos de predominancia nororiente, que llegan a ser de hasta 55 km/h en el mes de enero, el mes con más precipitación promedio es octubre con 210 mm de lluvia y el promedio anual de la ciudad es de 1000 mm. (Datos proporcionados por el IDEAM).

Valledupar se encuentra en un valle formado por la sierra nevada de Santa Marta y la serranía del Perijá, por ella transcurren los ríos Cesar, Guatapurí, Badillo, Ariguaní, Cesarito, Diluvio, rio Seco y Mariangola. La altitud promedio de la ciudad es de 168 m.s.n.m.

La ciudad se encuentra dentro de una vegetación de bosque seco tropical, cuyas especies arbóreas más representativas son las denominadas acacias, cañaguates, cedros, guanábanos, ceibas, entre otros foráneos como el mango y el eucalipto. Su fauna está representada por especies de reptiles tales como iguanas, lagartijas, serpientes boas, falsos coralillos y mapaná; en aves, se encuentran lechuzas, gavilanes, palomas, loros, entre otros. Algunas especies se encuentran en estado de amenaza local como el tigrillo y el venado y otras, como la iguana, en vía de extinción.

Su población es de aproximadamente 414.265 habitantes en su casco urbano, y de aproximadamente 483.250 habitantes incluyendo sus 25 corregimientos, siendo el 52.1% conformado por mujeres, la población crece a un ritmo de 1.32% anual (DANE).

#### 5.4 MARCO CONCEPTUAL

**Amianto:** amianto o asbesto es un término utilizado para denominar una serie de meta-silicatos de hierro y magnesio, entre otros, que presentan formas fibrosas. Existe una amplia gama de variedades de amianto, siendo las más empleadas en aplicaciones de construcción el crisotilo o amianto blanco, la amosita o amianto marrón y la crocidolita o amianto azul.<sup>8</sup>

**Fibro cemento:** es un material de la construcción manufacturado en base a un fase dispersa (amianto, 12% en peso) en una matriz cementosa (82%), y aditivos (6%). La liberación de las fibras de amianto al entorno se produce únicamente al romper las placas o por la degradación del material, por ello se considera un material con amianto no friable.<sup>9</sup>

---

<sup>8 7</sup> Amianto, Ecohabitar.org  
<http://www.ecohabitar.org/toxicos-en-la-construccion-amianto-y-fibro cemento/>

**Asbestosis:** enfermedad inflamatoria que afecta los pulmones y causa dificultad para respirar, tos y daño permanente al pulmón.<sup>10</sup>

**Agregado:** pueden tomarse en consideración todos aquellos materiales que, poseyendo una resistencia propia suficiente (resistencia del grano), no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico. (SANCHEZ DE GUZMÁN, D. Tecnologías del concreto y del mortero, 2001).

**Agregado fino y grueso:** un agregado fino o arena es cualquier material que pasa el tamiz No. 4, es decir, un tamiz con cuatro aberturas por pulgada lineal. El material más grueso que éste se clasifica como agregado grueso o grava. Cuando se desea una gradación óptima, los agregados se separan mediante tamizado, en dos o tres grupos de diferente tamaño para las arenas y en varios grupos de diferente tamaño para las gravas. (Nilson, A. 1999, pág. 30)

**Agregado artificial:** los agregados artificiales se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro y otros, comúnmente estos son de mayor o menor densidad que los agregados corrientes. (SANCHEZ DE GUZMÁN, D. Tecnologías del concreto y del mortero, 2001).

**Cemento:** material pulverizado que además de óxido de calcio contiene sílice de alúmina y óxido de hierro y que forma por la adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta que es capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. (NTC-31, 1982).

**Clinker portland:** componente del cemento en forma granulada, constituido principalmente por silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio y que se obtiene por la cocción, hasta fusión parcial (clinkerización), de una mezcla convenientemente proporcionada y homogenizada de materiales debidamente seleccionados. (NTC-31, 1982)

---

<sup>10</sup> Exposición al asbesto y el riesgo de cáncer. Cáncer.gov  
<https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/asbesto/hoja-informativa-asbesto>

**Concreto:** el mortero mezclado con agregado grueso (piedra), da como resultado el concreto u hormigón. (SANCHEZ DE GUZMÁN, D. Tecnologías del concreto y del mortero, 2001).

**Espécimen:** cilindro o viga de concreto, utilizado para realizar los ensayos de compresión y flexión.

**Flexión:** se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

**compresión:** el esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección (coeficiente de Poisson).<sup>11</sup>

**Mortero:** se refiere a la mezcla de pasta y agregado fino (arena). (SANCHEZ DE GUZMÁN, D. Tecnologías del concreto y del mortero, 2001).

**Consistencia normal:** se puede definir como la cantidad de agua que se le adiciona al cemento para conseguir una determinada fluidez.

**NTC:** norma técnica colombiana, producidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

**ASTM:** American Society for Testing and Materials, es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo.

**INV E:** normas de ensayo de materiales para los proyectos de la red vial nacional, dadas por el Instituto Nacional de Vías de Colombia.

---

<sup>11</sup> Esfuerzo de compresión. Wikipedia.org  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo\\_de\\_compresi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_compresi%C3%B3n)

## 5.5 MARCO LEGAL

**NTC 2017:** esta norma establece los requisitos para adoquines de concreto, no reforzados.

**NTC 31:** esta norma establece las definiciones relacionadas con la fabricación de los diferentes tipos de cementos.

**NTC 92:** determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.

**NTC 121:** especificación de desempeño para cemento hidráulico.

**NTC 237:** establece los métodos para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.

**NTC 176:** establece los métodos para determinar la densidad u absorción del agregado grueso.

**NTC 673:** ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

**NTC 1377:** elaboración y curado especímenes de concreto.

**ASTM C31:** práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra.

**ASTM C125:** terminología estándar relacionada con el concreto y agregados del concreto.

**ASTM C219:** terminología relacionada con el cemento hidráulico.

**INV E402-7:** esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

**INV E 213:** establece el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.

**INV E 414-7:** resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz.

**INV E 418-13:** esta norma se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de núcleos extraídos de estructuras de concreto para determinaciones de longitud o resistencia a la compresión o la tracción por hendimiento (tracción indirecta).

## **6. METODOLOGÍA**

Se llevó a cabo una investigación de tipo experimental, la cual consiste principalmente en el análisis del comportamiento de una mezcla de concreto en la cual se utiliza un tipo de agregado alterno fabricado a partir de láminas de fibrocemento, siendo el crisotilo, un mineral dentro de los asbestos, parte importante de su composición. Esta mezcla de concreto fue diseñada para su aplicación en la fabricación de adoquines, por consiguiente el estudio se encaminó en observar y analizar si la adición, en diversas proporciones del agregado de fibrocemento, afecta negativa o positivamente las características de un concreto común. Esta afectación es medida en las resistencias a la flexión y a la compresión que se obtiene de la muestra en particular, comparada con las resistencias de una muestra patrón a la cual no se le añade ninguna proporción del agregado alterno.

### **LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

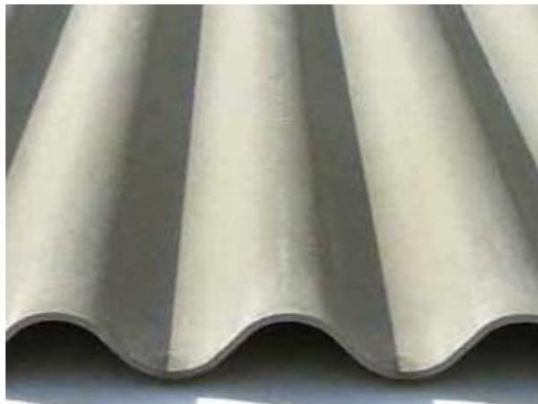
Tratamiento de residuos sólidos y líquidos.

### **OBJETO DE ESTUDIO Y MUESTRA**

Las muestras que se emplearon y analizaron provinieron de tres láminas de fibrocemento para cubiertas de techos, de marca Eternit ® de los tipos número 6. En cuanto a los agregados naturales; el agregado grueso o grava, es proveniente de la cantera El Dorado de la ciudad de Valledupar, y el agregado fino o arena, proveniente del río Cesar. Los estudios, pruebas y ensayos, se realizaron en los laboratorios de suelos de la Universidad Popular del Cesar UPC, Fundación Universitaria del Área Andina y el laboratorio Ernesto Altahona, todos ellos ubicados dentro de la ciudad de Valledupar.

## 6.1 RECOLECCIÓN DE LÁMINAS DE ASBESTO

Las láminas de fibrocemento utilizadas en este estudio fueron recuperadas cuando estaban dispuestas, de manera inadecuada, en un lote ubicado en cercanía a la sede de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, en el suroriente de la ciudad de Valledupar, en un número de tres unidades; presentaban alteraciones notables en su estructura; perforaciones, rajaduras y resquebrajamientos. Su transporte se realizó en vehículo hasta un lugar de almacenamiento temporal, alejadas de la intemperie.



*Ilustración 7: láminas de fibrocemento.*

*Fuente: <http://www.otterbox.biz/es-obligatorio-retirar-la-uralita.html>*

## **6.2 FABRICACIÓN DEL AGREGADO DE FIBROCEMENTO**

El agregado alterno empleado en esta investigación fue obtenido a partir de la descomposición por trituración de las láminas de fibrocemento que se recuperaron en cercanías a la universidad Abierta y a Distancia UNAD; este procedimiento se hizo en máquina trituradora bajo altas medidas de seguridad, empleando en el proceso el humedecimiento constante con agua de las láminas, para evitar la emanación de polvo, como medida recomendada por el fabricante Eternit®, al igual que el operario de la maquina empleó los elementos de protección personal; gafas de seguridad, mascara con filtro y overol. Bajo estas medidas de control, el proceso fue satisfactorio, no observándose desprendimiento de polvo durante la trituración.

Los tamaños de las piezas obtenidas de la trituración estaban comprendidos entre los 4.7 mm y los 20 mm. El peso total del material recuperado fue de 28 kilogramos.

## **6.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS**

A continuación, se detalla el procedimiento empleado para realizar el análisis granulométrico de los agregados finos y gruesos.

Se seleccionó una muestra representativa de los agregados, esto se hizo empleando el método de cuarteo, el cual consistió en depositar la muestra sobre una superficie plana en donde pueda ser extendida, esta muestra fue subdividida en cuatro partes iguales, un par de partes contrarias y opuestas se mezclaron, retirando y descartando el otro par. Esto se hizo en tres ocasiones.

Del material resultante del paso anterior se tomó una muestra pequeña y se determinó su peso. Luego la muestra fue secada mediante el uso de una estufa durante aproximadamente una hora. El restante de la muestra fue pesado por separado, lavado y llevado al horno bajo las mismas condiciones que la muestra pequeña.

Luego del secado de la muestra restante se dejó enfriar a temperatura ambiente y se determinó su peso.

Luego, los agregados pertenecientes a las muestras mayores de agregados finos y gruesos se hicieron pasar por una serie de tamices ordenados según en la norma (INV E-213). Esto es, los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200 para los agregados finos y los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200 para los agregados gruesos.

Los agregados retenidos en cada tamiz fueron pesados y tabulados.



*Ilustración 8: tamices para granulometría.*

*Fuente: propia*

#### 6.4 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO (ARENA)

Al igual que para la grava, para la arena también se calcula el porcentaje de humedad, para la muestra menor de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{C - D}{D} * 100$$

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso seco}}$$

Dónde:

C= masa de la muestra pequeña previa al horno

D= masa de la muestra pequeña luego del secado al horno

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{362,3 \text{ gr} - 356,7 \text{ gr}}{356,7 \text{ gr}} * 100 = 1,57\%$$

Se calcula el peso del agua en la muestra:

$$362,3 \text{ gr} \rightarrow 100 \%$$

$$X \leftarrow 1,57 \%$$

$$X = \frac{362,3 \text{ gr} * 1,57\%}{100\%} = 5.68 \text{ gr}$$

Se hace pasar la muestra grande seca a través de la serie de tamices, y se pesaron las masas retenidas en cada uno de ellos, luego se calcula su porcentaje en relación al total de la muestra, a su vez se calculan los porcentajes retenidos acumulados y el porcentaje que pasa, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso seco}}$$

$\% \text{ retenido acumulado} = (\% \text{ retenido acumulado } n) + (\% \text{ porcentaje retenido } (n + 1))$

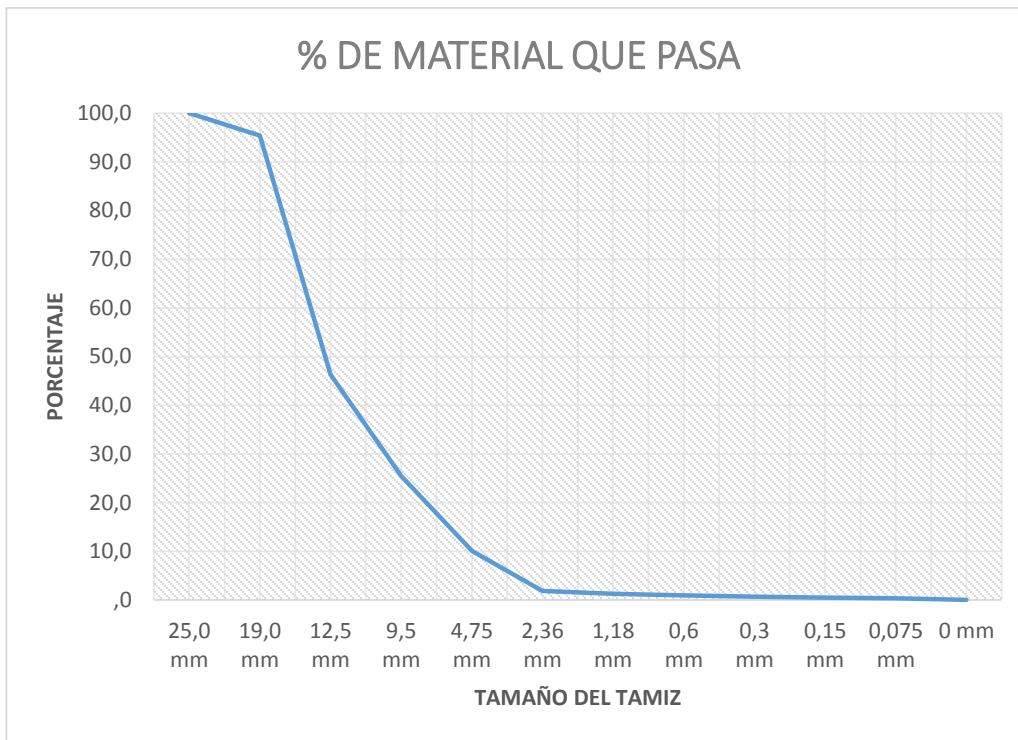
$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido}$

Peso muestra mayor: 634,0 gr

| AGREGADO FINO |                   |                     |                   |              |                      |          |
|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|--------------|----------------------|----------|
| Tamiz         |                   | Rango Agregado fino | Peso Retenido (g) | % Retenido   | % Retenido Acumulado | % Pasa   |
| 1"            | 25.0 mm           | -                   | 0                 | 0,000        | 0,000                | 100,00   |
| 3/4"          | 19.0 mm           | -                   | 0                 | 0,000        | 0,000                | 100,00   |
| 1/2"          | 12.5 mm           | -                   | 0                 | 0,000        | 0,000                | 100,00   |
| 3/8"          | 9.5 mm            | 100                 | 0                 | 0,000        | 0,000                | 100,00   |
| #4            | 4.75 mm           | 95-100              | 18,7              | 2,949        | 2,950                | 97,05    |
| #8            | 2.36 mm           | 80-100              | 96,3              | 15,189       | 18,139               | 81,86    |
| #16           | 1.18 mm           | 50-85               | 148,6             | 23,438       | 41,577               | 58,42    |
| #30           | 600 $\mu\text{m}$ | 25-60               | 135,3             | 21,340       | 62,918               | 37,08    |
| #50           | 300 $\mu\text{m}$ | 10-30               | 110,9             | 17,492       | 80,410               | 19,59    |
| #100          | 150 $\mu\text{m}$ | 2-10                | 74,7              | 11,782       | 92,192               | 7,81     |
| #200          | 75 $\mu\text{m}$  | -                   | 44,3              | 6,987        | 99,180               | 0,82     |
| P200          | -                 | -                   | 5,2               | 0,820        | 100,0                | 0,00     |
| <b>Total</b>  |                   | <b>-</b>            | <b>634,0</b>      | <b>100.0</b> | <b>-</b>             | <b>-</b> |

Tabla 1: granulometría del agregado fino.

Fuente: propia



Grafica 1: curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: propia

### Granulometría del agregado fino para concreto estructural

| TAMIZ   |         | PORCENTAJE QUE PASA |
|---------|---------|---------------------|
| NORMAL  | ALTERNO |                     |
| 9.5 mm  | 3/8"    | 100                 |
| 4.75 mm | No.4    | 95 – 100            |
| 2.36 mm | No.8    | 80 - 100            |
| 1.18 mm | No.16   | 50 – 85             |
| 600 µm  | No.30   | 25 – 60             |
| 300 µm  | No.50   | 10 – 30             |
| 150 µm  | No.100  | 2 – 10              |

Tabla 2: bandas granulométricas de los agregados finos.

Fuente: RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca

### 6.4.1 MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA

Para la arena, se calcula el módulo de finura, este permite estimar que tan fino o grueso era la arena. Se obtuvo calculando la centésima parte de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: No.100, No.50, No.30, No.16, No.8, No.4, 3/8", 3/4", 1½".

$$M.F. = \sum(\% \text{ retenidos acumulados tamiz } N. 100, 1\frac{1}{2}" ) \times \frac{1}{100}$$

$$M.F. = (92,192 + 80,410 + 62,918 + 41,577 + 18,139 + 2,950) \times \frac{1}{100}$$

$$M.F. = 2,98$$

De la siguiente tabla se tiene que la arena es ligeramente gruesa.

| MODULO DE FINURA | AGREGADO FINO             |
|------------------|---------------------------|
| Menor que 2.00   | Muy fino o extra fino     |
| 2.00 - 2.30      | Fino                      |
| 2.30 - 2.60      | Ligeramente fino          |
| 2.60 - 2.90      | Mediano                   |
| 2.90 – 3.20      | Ligeramente grueso        |
| 3.20 – 3.50      | Grueso                    |
| Mayor que 3.50   | Muy grueso o extra grueso |

Tabla 3: módulo de finura para el agregado fino.

Fuente: RIVERA, G. (2001). *Concreto simple*, Universidad del Cauca

## 6.5 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO (GRAVA)

Se calcula el porcentaje de humedad, para la muestra pequeña de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{C - D}{D} * 100$$

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso seco}}$$

Dónde:

C= masa de la muestra pequeña previa al horno

D= masa de la muestra pequeña luego del secado al horno

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{426.4 \text{ gr} - 425.1 \text{ gr}}{425.1 \text{ gr}} * 100 = 0.30\%$$

Se calcula el peso del agua en la muestra:

$$426.4 \text{ gr} \rightarrow 100\%$$

$$X \leftarrow 0.30\%$$

$$X = \frac{426.4 \text{ gr} * 0.3\%}{100\%} = 1.27 \text{ gr}$$

Se hace pasar la muestra grande seca a través de la serie de tamices, y se pesaron las masas retenidas en cada uno de ellos, luego se calculó su porcentaje en relación al total de la muestra, a su vez se calcularon los porcentajes retenidos acumulados y el porcentaje que pasa, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Peso seco}}$$

$\% \text{ retenido acumulado} = (\% \text{ retenido acumulado } n) + (\% \text{ porcentaje retenido } (n + 1))$

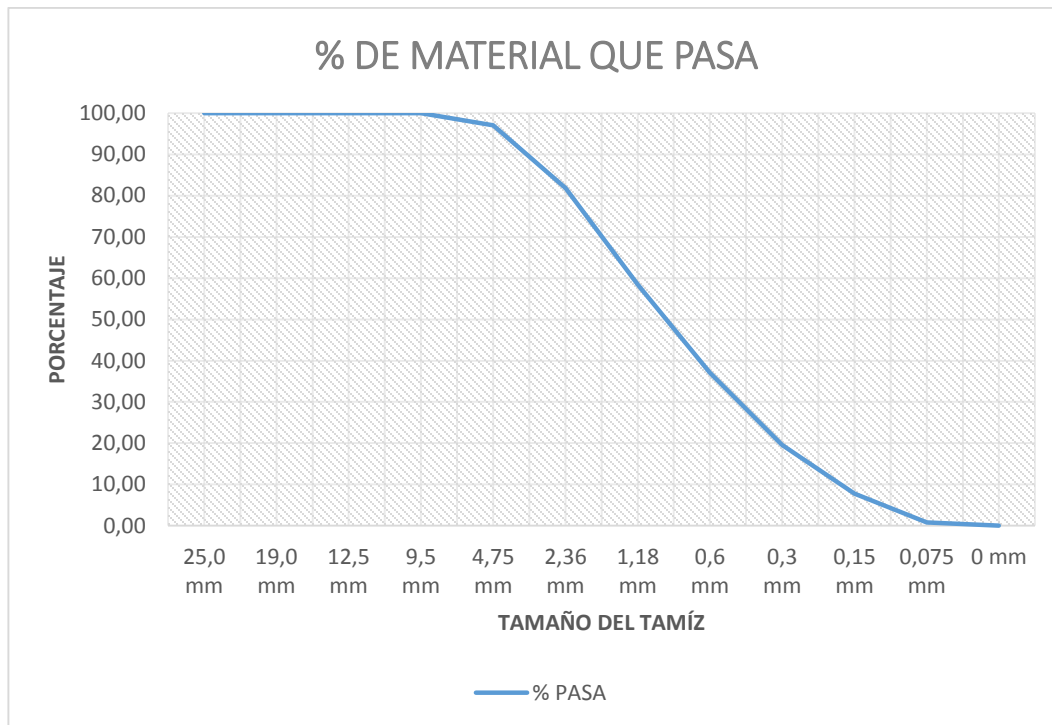
$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ retenido}$

Peso muestra grande: 2481,6 gr

| AGREGADO GRUESO |          |            |                   |              |                      |        |
|-----------------|----------|------------|-------------------|--------------|----------------------|--------|
| Tamiz           |          | Rango AG-2 | Peso Retenido (g) | % Retenido   | % Retenido Acumulado | % Pasa |
| 1"              | 25,0 mm  | 100        | 0                 | 0,000        | 0,000                | 100,00 |
| 3/4"            | 19,0 mm  | 95-100     | 114,5             | 4,614        | 4,614                | 95,39  |
| 1/2"            | 12,5 mm  | -          | 1217,7            | 49,069       | 53,683               | 46,32  |
| 3/8"            | 9,5 mm   | 20-55      | 518,1             | 20,877       | 74,561               | 25,44  |
| #4              | 4,75 mm  | 0-10       | 380,4             | 15,328       | 89,890               | 10,11  |
| #8              | 2,36 mm  | 0-5        | 204,5             | 8,240        | 98,130               | 1,87   |
| #16             | 1,18 mm  | -          | 15,4              | 0,620        | 98,751               | 1,25   |
| #30             | 0,6 mm   | -          | 8,2               | 0,330        | 99,081               | 0,92   |
| #50             | 0,3 mm   | -          | 6,1               | 0,245        | 99,327               | 0,67   |
| #100            | 0,15 mm  | -          | 3,8               | 0,153        | 99,480               | 0,52   |
| #200            | 0,075 mm | -          | 4,4               | 0,177        | 99,657               | 0,34   |
| P200            | -        | -          | 8,5               | 0,342        | 100,00               | 0,00   |
| <b>Total</b>    |          | -          | <b>2481,6</b>     | <b>100.0</b> | -                    | -      |

Tabla 4: granulometría del agregado grueso.

Fuente: propia



Gráfica 2: curva granulométrica del agregado grueso.

Fuente: propia

**Bandas granulométricas de agregado grueso para concreto estructural**

| TAMIZ  |         | PORCENTAJE QUE PASA (% PASA) |        |        |        |        |        |        |
|--------|---------|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Normal | Alterno | AG-1                         | AG-2   | AG-3   | AG-4   | AG-5   | AG-6   | AG-7   |
| 63 mm  | 2,5 "   | -                            | -      | -      | -      | 100    | -      | 100    |
| 50 mm  | 2 "     | -                            | -      | -      | 100    | 95-100 | 100    | 95-100 |
| 37.5mm | 1 1/2 " | -                            | -      | 100    | 95-100 | -      | 90-100 | 35-70  |
| 25.0mm | 1 "     | -                            | 100    | 95-100 | -      | 35-70  | 20-55  | 0-15   |
| 19.0mm | 3/4 "   | 100                          | 95-100 | -      | 35-70  | -      | 0-15   | -      |
| 12.5mm | 1/2 "   | 90-100                       | -      | 25-60  | -      | 10-30  | -      | 0-5    |
| 9.5 mm | 3/8 "   | 40-70                        | 20-55  | -      | 10-30  | -      | 0-5    | -      |
| 4.75mm | No.4    | 0-15                         | 0-10   | 0-10   | 0-5    | 0-5    | -      | -      |
| 2.36mm | No.8    | 0-5                          | 0-5    | 0-5    | -      | -      | -      | -      |

Tabla 5: bandas granulométricas de los agregados gruesos.

Fuente: RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca

### **6.5.1 TAMAÑO MÁXIMO Y TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO**

El tamaño máximo (TM) se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado, de la tabla granulométrica de la grava se observa que el tamiz de 1" es el menor de los tamices que permitió el paso total de los agregados.

Tamaño máximo: 1".

El tamaño máximo nominal (TMN) de las partículas es el mayor tamaño del tamiz donde se retiene una gran cantidad del material, ya que el tamaño máximo viene indicado por el tamiz donde comienza la retención, siendo que esta puede ser de una única partícula, para la cual, su tamaño no es representativo dentro de la muestra.

Tamaño máximo nominal: 3/4".

### **6.6 DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS**

Norma aplicable: NTC-92.

Uso: se aplica para agregado grueso y fino.

Equipo:

- Balanza con sensibilidad del 0,1% del peso de la carga de ensayo y con graduación mínima de 0.05 Kg.
- Varilla de apisonamiento lisa de acero, redonda y recta de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Molde metálico cilíndrico, con manijas y con bordes superior e inferior alineados.
- Pala o cucharón.
- Equipo de calibración: vidrio plano de 6 mm de espesor y 25 mm más largo que el diámetro del molde.

### 6.6.1 MASA UNITARIA SUELTA DEL AGREGADO

Se determinó el peso del recipiente y se llenó completamente con el cucharón de modo que el agregado se descargó de una altura no mayor a 50 mm sobre el borde del molde.

Se determinó tres veces la masa del molde más su contenido.

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= masa unitaria del agregado (Kg/m<sup>3</sup>)

G= masa del agregado más el molde (Kg)

T= masa del molde (Kg)

V= volumen del molde (m<sup>3</sup>)

Volumen del recipiente cilíndrico:

Altura interna: 16 cm, diámetro interno: 15 cm

$$\text{Volumen} = r^2 \times \pi \times h$$

$$\text{Volumen} = (7.5 \text{ cm})^2 \times \pi \times 16 \text{ cm}$$

$$\text{Volumen} = 2827.4 \text{ cm}^3 \sim 0.0028274 \text{ m}^3$$

Peso del recipiente: 3269 gr

| <b>MASA UNITARIA SUELTA</b> |                  |                  |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| <b>MEDICIÓN N.</b>          | <b>GRAVA</b>     | <b>ARENA</b>     |
| 1                           | 7044,8 gr        | 7346,1 gr        |
| 2                           | 7071,0 gr        | 7332,7 gr        |
| 3                           | 7059,4 gr        | 7329,5 gr        |
| <b>PROMEDIO</b>             | <b>7058,4 gr</b> | <b>7336,1 gr</b> |

$$M.U.S. Grava = \frac{7.0584 \text{ Kg} - 3.269 \text{ Kg}}{0.0028274 \text{ m}^3} = 1340,24 \text{ Kg/m}^3$$

$$M.U.S. Arena = \frac{7.3361 \text{ Kg} - 3.269 \text{ Kg}}{0.0028274 \text{ m}^3} = 1438.45 \text{ Kg/m}^3$$

### 6.6.2 MASA UNITARIA COMPACTADA DEL AGREGADO

Se procedió con el llenado del recipiente con el agregado en tres capas de igual volumen aproximadamente, cada capa se emparejó con la mano y se apisonó con 25 golpes con la varilla de apisonamiento con el fin de distribuirlo uniformemente en cada capa, teniendo cuidado que la varilla no golpee el fondo del recipiente; al apisonar las capas superiores se aplicó la fuerza necesaria para que la varilla solamente atravesara la respectiva capa.

Se determinó tres veces el peso del recipiente lleno y el peso del molde vacío.

$$M = \frac{(G - T)}{V}$$

Donde:

M= masa unitaria del agregado (Kg/m<sup>3</sup>)

G= masa del agregado más el molde (Kg)

T= masa del molde (Kg)

V= volumen del molde (m<sup>3</sup>)

| MASA UNITARIA COMPACTADA |                  |                  |
|--------------------------|------------------|------------------|
| MEDICIÓN N.              | GRAVA            | ARENA            |
| 1                        | 7471,6 gr        | 7672,5 gr        |
| 2                        | 7477,1 gr        | 7680,1 gr        |
| 3                        | 7465,2 gr        | 7689,4 gr        |
| <b>PROMEDIO</b>          | <b>7471,3 gr</b> | <b>7680,6 gr</b> |

$$M.U.C. Grava = \frac{7.4713 \text{ Kg} - 3.269 \text{ Kg}}{0.0028274 \text{ m}^3} = 1344,27 \text{ Kg/m}^3$$

$$M.U.C. Arena = \frac{7.6806 \text{ Kg} - 3.269 \text{ Kg}}{0.0028274 \text{ m}^3} = 1560,30 \text{ Kg/m}^3$$

## 6.7 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS

### 6.7.1 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS

**Norma aplicable:** NTC-237.

Equipo necesario:

- Balanza con capacidad de 1 Kg o más, sensible hasta 0,1 gramos o menos y con precisión de 0.1% de la carga de trabajo.

- Picnómetro o probeta con capacidad de 500 ml.
- Molde metálico en forma de tronco cónico.
- Un pisón metálico con masa de  $340 \text{ g} \pm 15 \text{ g}$  y con una superficie de apisonamiento circular plana de  $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  de diámetro.
- Lámparas para secado de muestras.

Se comenzó seleccionando una porción de muestra mediante el método de cuarteo de aproximadamente 1000 gr, posteriormente se llevó al horno hasta obtener masa constante, luego se introdujeron en un recipiente y se añadió agua hasta cubrir la muestra completamente por un periodo de 24 horas, transcurrido este tiempo se retiró el agua y la muestra se extendió sobre una superficie plástica, se dejó secar la muestra y procedió a emplear el método del cono para conocer su estado superficial.

Se introdujeron en el cono 500 gr. de la muestra, y se aplicaron 25 golpes con el pisón metálico desde una altura aproximada de 1 cm sobre la superficie de la muestra, luego se agregó más arena hasta llenar el volumen total del cono dando 5 golpes más, terminada la compactación se levantó el cono verticalmente y con mucho cuidado, este procedimiento se realizó hasta conseguir que al levantar el cono la muestra quedara formada en la parte superior y sus paredes se derrumbaran, esto significaba que la arena estaba superficialmente seca, el cual era el estado necesario para continuar con el procedimiento.

Se añadieron 500 g de la arena superficialmente seca a la probeta, con mucho cuidado y con ayuda de un embudo, luego se agregó agua hasta llegar a la marca de 500 ml, luego la probeta se giró sobre su eje para expulsar cualquier cantidad de aire atrapado. Se procedió a determinar el peso de la probeta más la muestra y el agua añadida, luego se retiró el agua con mucho cuidado para evitar la pérdida de muestra y está se secó al horno a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, transcurrido este tiempo se pesó la muestra seca y se procedió a realizar los siguientes cálculos:

$$\text{Densidad aparente} = 0.9975 * \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$\text{Densidad aparente SSS} = 0.9975 * \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$\text{Densidad nominal} = 0.9975 * \frac{A}{(B + A - C)}$$

$$\% \text{ absorcion} = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

A = masa en el aire de la muestra secada en estufa en gr.

B = masa del picnómetro lleno con agua hasta la marcación (gr.)

S = masa de la muestra saturada y superficialmente seca (SSS) (gr.)

C = masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr.)

| DATOS DE ENTRADA  |          |
|---|----------|
| Masa de la muestra de arena en estado SSS. (S)                  | 500.0 gr |
| Masa de la probeta  | 151.8 gr |
| Masa de la probeta, más muestra y agua (C)                      | 956.2 gr |
| Masa en el aire de la muestra secada al horno (A)               | 486.3 gr |
| Volumen de la probeta   | 500 ml   |
| Masa del agua añadido para llenar la probeta hasta 500 ml       | 318.1 gr |
| Masa del picnómetro y el agua hasta la marca de calibración (B) | 651.8 gr |

$$\text{Densidad aparente} = 0.9975 * \frac{486.3}{(651.8 + 500 - 956.2)} = 2.48 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Densidad aparente SSS} = 0.9975 * \frac{500}{(651.8 + 500 - 956.2)} = 2.55 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Densidad nominal} = 0.9975 * \frac{486.3}{(651.8 + 486.3 - 956.2)} = 2.66 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ absorcion} = \frac{500 - 486.3}{486.3} * 100 = 2.817\%$$

## 6.7.2 DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS

**Norma aplicable:** NTC-176.

**Equipo necesario:**

- Balanza con capacidad de 1 Kg o más, sensible hasta 0,1 gramos o menos y con precisión de 0.1% de la carga de trabajo.
- Canastilla metálica.

La muestra de grava se lavó completamente con agua para remover impurezas que puedan estar adheridas a la superficie del material, luego se sumergió completamente en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas. Después de transcurrido este periodo de inmersión, se retiró toda el agua y se secaron las partículas sobre un paño absorbente de gran tamaño, hasta que se eliminó el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. Luego se tomaron cantidades arbitrarias del agregado para determinar el peso saturado superficialmente seco, posterior a esto se agregó la muestra de agregado en estado saturado superficialmente seco en la canastilla metálica y se determinó su peso sumergido en el agua, asegurándose que la canasta y la muestra queden

completamente sumergidas durante la pesada, se utilizó un hilo delgado para que su inmersión no afectara las pesadas.

Posteriormente se procedió a secar la muestra en la estufa a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , y se dejó enfriar al aire a temperatura ambiente durante 2 horas y se determinó luego su peso seco.

$$\text{Densidad aparente} = 0.9975 * \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad aparente SSS} = 0.9975 * \frac{B}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad nominal} = 0.9975 * \frac{A}{(A - C)}$$

$$\% \text{ absorcion} = \frac{B - A}{A} * 100$$

Donde:

A = masa en el aire de la muestra secada en estufa en gr.

B = masa de la muestra saturada y superficialmente seca (SSS) (gr.)

C = masa en el agua de la muestra de ensayo saturada (gr.)

| ENSAYO N. | (B) PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) | (C) PESO EN AGUA (gr) | (A) MASA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr) |
|-----------|--|-----------------------|---------------------------------------|
| 1         | 314.6  | 192.1                 | 309.4                                 |
| 2         | 468.7  | 285.4                 | 460.8                                 |
| 3         | 400.3  | 245.9                 | 392.7                                 |

| DENSIDAD APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> ) |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| 1                                       | $0.9975 * \frac{309.4}{(314.6 - 192.1)}$ | 2,519                    |
| 2                                       | $0.9975 * \frac{460.8}{(468.7 - 285.4)}$ | 2,507                    |
| 3                                       | $0.9975 * \frac{392.7}{(400.3 - 245.9)}$ | 2,537                    |
| PROMEDIO                                |  | 2,521 gr/cm <sup>3</sup> |

| DENSIDAD APARENTE SSS (gr/cm <sup>3</sup> ) |  |                          |
|---|--|--------------------------|
| 1   | $0.9975 * \frac{314.6}{(314.6 - 192.1)}$ | 2,561                    |
| 2   | $0.9975 * \frac{468.7}{(468.7 - 285.4)}$ | 2,550                    |
| 3   | $0.9975 * \frac{400.3}{(400.3 - 245.9)}$ | 2,586                    |
| PROMEDIO                                    |  | 2,565 gr/cm <sup>3</sup> |

| DENSIDAD NOMINAL (gr/cm <sup>3</sup> ) |  |                          |
|--|--|--------------------------|
| 1                                      | $0.9975 * \frac{309.4}{(309.4 - 192.1)}$ | 2,631                    |
| 2                                      | $0.9975 * \frac{460.8}{(460.8 - 285.4)}$ | 2,620                    |
| 3                                      | $0.9975 * \frac{392.7}{(392.7 - 245.9)}$ | 2,668                    |
| PROMEDIO                               |  | 2,639 gr/cm <sup>3</sup> |

| ABSORCIÓN (%) |                                     |         |
|---------------|-------------------------------------|---------|
| 1             | $\frac{314.6 - 309.4}{309.4} * 100$ | 1,680   |
| 2             | $\frac{468.7 - 460.8}{460.8} * 100$ | 1,714   |
| 3             | $\frac{400.3 - 392.7}{392.7} * 100$ | 1,935   |
| PROMEDIO      |                                     | 1,776 % |

## 6.8 DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO

En este punto se determinaron las relaciones de agregado grueso/cemento, de agregado fino/cemento, y, las cantidades necesarias de cada uno para conseguir un concreto con una resistencia a la compresión objetivo de 3000 psi (20.68 MPa). Esto quiere decir que partiendo de ese valor de resistencia deseada se obtuvieron las cantidades de agua, agregados finos (arena) y agregados gruesos (gravas) que se mezclaron con el cemento.

Para este diseño de mezcla se empleó el método de la A.C.I.

| CONSISTENCIA            | ASENTAMIENTO mm. | EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN  | SISTEMA DE COLOCACIÓN  | SISTEMA DE COMPACTACIÓN  |
|-------------------------|------------------|--|--|--|
| <b>MUY SECA</b>         | 0,0 – 20         | Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación. | Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados). | Secciones sujetas a vibración externa, puede requerirse presión.                       |
| <b>SECA</b>             | 20-35            | Pavimentos.  | Pavimentos con máquina terminadora vibratoria.                             | Secciones sujetas a vibración intensa.   |
| <b>SEMISECA</b>         | 35-50            | Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas.           | Colocación con máquinas operadas manualmente.                              | Secciones simplemente reforzadas con vibración.  |
| <b>MEDIA (PLÁSTICA)</b> | 50-100           | Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones. | Colocación manual.   | Secciones simplemente reforzadas con vibración.  |
| <b>HUMEDA</b>           | 100-150          | Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.                           | Bombeo.  | Secciones bastante reforzadas con vibración.   |
| <b>MUY HUMEDA</b>       | 150-200          | Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".                              | Tubo-embudo-tremie.  | Secciones altamente reforzadas con vibración.  |
| <b>SUPER FLUIDA</b>     | más de 200       | Elementos muy esbeltos.  | Autonivelante, autocompactante.  | Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse. |

*Tabla 6: consistencia de la mezcla según el grado de asentamiento.*

*Fuente: RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca*

Se escoge para la mezcla un asentamiento de 100 mm, o 10 cm, lo cual indica una consistencia media (plástica) y uso en pavimentos, losas, muros, entre otros.

| <b>DATOS DE ENTRADA</b>  |  |
|--------------------------|--|
| <b>GENERALES</b>         |  |
| Asentamiento             | 10 cm  |
| Resistencia de diseño    | 3000 psi $\approx$ 20.68 Mpa<br>$\approx$ 211 kg/cm <sup>2</sup> |
| <b>CEMENTO</b>           |  |
| Marca y tipo             | Ultracem, cemento gris de uso general                            |
| Densidad                 | 3.10 gr/cm <sup>3</sup>  |
| <b>AGUA</b>              |  |
| Densidad                 | 1000 Kg/m <sup>3</sup>   |
| <b>ARENA</b>             |  |
| Módulo de finura         | 2.98   |
| % de absorción           | 2.817%   |
| Masa unitaria suelta     | 1438.45 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Masa unitaria compactada | 1560.3 Kg/m <sup>3</sup>   |
| Densidad aparente        | 2,48 gr/cm <sup>3</sup>  |
| <b>GRAVA</b>             |  |
| Tamaño máximo            | 1"   |
| Tamaño máximo nominal    | $\frac{3}{4}$ "  |
| % de absorción           | 1.77%  |
| Masa unitaria suelta     | 1340.24 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Masa unitaria compactada | 1344.27 Kg/m <sup>3</sup>  |
| Densidad aparente        | 2.52 gr/cm <sup>3</sup>  |
|                          |  |

### 6.8.1 RESISTENCIA PROMEDIO ( $f'_{cr}$ )

Se determina la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ ) necesaria para el diseño, esta es la resistencia de diseño ( $f'_c$ ) con correcciones mediante la desviación estándar y el coeficiente de variación. Se utiliza uno de los siguientes casos dados por el comité A.C.I.

| $f'c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) | $f'cr$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|------------------------------|
| Menos de 210                | $f'c + 70$                   |
| 210 - 350                   | $f'c + 84$                   |
| Mayor a 350                 | $f'c + 98$                   |

Tabla 7: ajuste de la resistencia de diseño.

Fuente: comité A.C.I.

Como la resistencia de diseño original ( $f'c$ ) es de 211 kg/cm<sup>2</sup>, se utiliza el segundo caso.

$$f'cr = 211 \text{ kg/cm}^2 + 84 = 295 \text{ kg/cm}^2$$

### 6.8.2 RELACIÓN AGUA-CEMENTO DE LA MEZCLA

Con el valor obtenido anteriormente, se procede a encontrar la relación agua/cemento (A/C) recomendada para la mezcla, se obtiene mediante la siguiente gráfica:

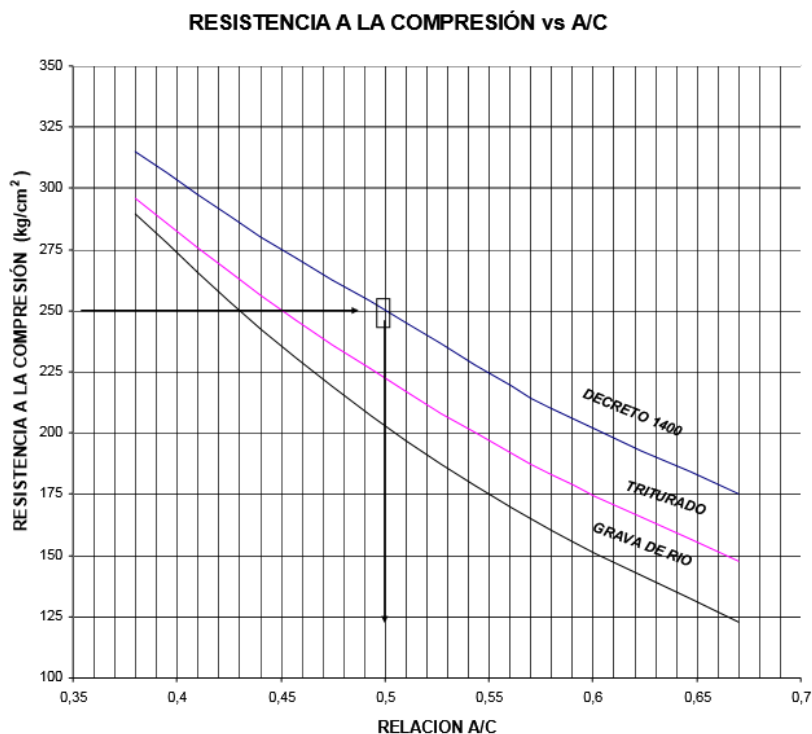


Tabla 8: relación de agua/cemento dada por la resistencia de diseño corregida.

Fuente: RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca

Relación A/C= 0.42

### 6.8.3 CANTIDADES DE AGUA, AIRE Y CEMENTO DE LA MEZCLA

Se procede a obtener la cantidad de cantidad de agua de mezclado para un concreto sin aire incorporado, se estima de la siguiente tabla, utilizando los valores de asentamiento y tamaño máximo nominal del agregado grueso.

| ASENTAMIENTO (cm)   | CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO    |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm) |     |     |     |     |     |     |
|                     | 10                             | 13  | 19  | 25  | 38  | 50  | 75  |
| 0,0 – 2,5           | 185                            | 180 | 165 | 160 | 140 | 135 | 125 |
| 3,0 – 5,0           | 205                            | 200 | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 |
| 5,5 – 7,5           | 215                            | 210 | 190 | 185 | 170 | 165 | 155 |
| 8,0 – 10,0          | 225                            | 215 | 200 | 195 | 175 | 170 | 165 |
| 10,5 – 15,0         | 235                            | 225 | 205 | 200 | 180 | 175 | 170 |
| 15,5 – 18,0         | 240                            | 230 | 210 | 205 | 185 | 180 | 175 |
| % CONTENIDO DE AIRE | 3,0                            | 2,5 | 2,0 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,3 |

| ASENTAMIENTO (cm)   | CONCRETOS CON AIRE INCLUIDO    |     |     |     |     |     |     |
|---------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                     | TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES (mm) |     |     |     |     |     |     |
|                     | 10                             | 13  | 19  | 25  | 38  | 50  | 75  |
| 0,0 – 2,5           | 175                            | 170 | 155 | 150 | 135 | 130 | 120 |
| 3,0 – 5,0           | 180                            | 175 | 165 | 160 | 145 | 140 | 135 |
| 5,5 – 7,5           | 190                            | 185 | 175 | 170 | 155 | 150 | 145 |
| 8,0 – 10,0          | 200                            | 190 | 180 | 175 | 165 | 155 | 150 |
| 10,5 – 15,0         | 210                            | 195 | 185 | 180 | 170 | 160 | 155 |
| 15,5 – 18,0         | 215                            | 205 | 190 | 185 | 175 | 165 | 160 |
| % CONTENIDO DE AIRE | 8,0                            | 7,0 | 6,0 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 |

Tabla 9: cantidades de agua según el asentamiento y el tamaño máximo nominal.

Fuente: RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca

Cantidad de agua para un asentamiento de 10 cm y un TMN de 3/4", para 1 m<sup>3</sup> de mezcla. A su vez se obtiene el porcentaje de contenido de aire.

Cantidad de agua = 200 Kg/m<sup>3</sup>

Cantidad de aire = 2.0%

Obtenidas las cantidades de agua, y la relación de agua/cemento, se determina la cantidad de cemento, mediante:

$$\frac{A}{C} = 0.42$$

La cantidad de agua (A) es = 200 Kg/m<sup>3</sup>, entonces,

$$\text{Cantidad de Cemento (C)} = \frac{A}{0.42} = \frac{200 \text{ Kg/m}^3}{0.42} = 476 \text{ Kg/m}^3$$

#### 6.8.4 CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO PARA LA MEZCLA

Se procede a encontrar la cantidad de agregado grueso para la mezcla de concreto. Utilizando la siguiente tabla.

| TAMAÑO<br>MAXIMO<br>NOMINAL<br>DEL<br>AGREGAD<br>O | VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO SECO Y<br>COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL<br>CONCRETO PARA DIFERENTES MODULOS DE FINURA<br>DEL AGREGADO FINO |      |      |      |
|--|---|------|------|------|
|  | 2.40  | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8"   | 0.50  | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 1/2"   | 0.59  | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 3/4"   | 0.66  | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 1"   | 0.71  | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 1 1/2"   | 0.76  | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 2"   | 0.78  | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 3"   | 0.81  | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 6"   | 0.87  | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Tabla 10: volumen del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.

Fuente: comité A.C.I.

Debido a que el tamaño máximo nominal es de  $\frac{3}{4}$ " y el módulo de finura de la arena es 2.98, valor que se encuentra dentro de los rangos de 2.80 y 3.00 de los valores de volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto  $\left(\frac{b}{b_0}\right)$  que muestra la tabla, se hizo necesario la aplicación de una interpolación entre los valores comprendidos en el rango 0.60 y 0.62.

|           |      |
|-----------|------|
| 2.80----- | 0.62 |
| 2.98----- | X    |
| 3.00----- | 0.60 |

Se interpola:

$$\frac{3-2.8}{2.98-2.8} = \frac{0.60-0.62}{X-0.62} ;$$

$$\frac{0.2}{0.18} = \frac{-0.02}{X-0.62} ;$$

Se obtiene que  $X= 0.602$ , este es el valor de  $\frac{b}{b_0}$

$$\frac{b}{b_0} = 0.602$$

Donde:

$b$ = masa unitaria suelta del agregado grueso.

$b_0$ = masa unitaria compactada del agregado grueso.

Cantidad de agregado grueso:

$$AG \text{ grueso} = \left(\frac{b}{b_0}\right) * M.U.C = 0.602 * 1344.27 \frac{Kg}{m^3}$$

$$AG \text{ grueso} = 809,25 \text{ Kg para } 1 \text{ m}^3 \text{ de concreto}$$

### 6.8.5 DETERMINACIÓN DE LOS VOLUMENES Y MASAS

Se determinan los volúmenes absolutos de cemento, aire, agua y agregado grueso:

$$Volumen = \frac{Masa}{Densidad}$$

| COMPONENTE             |   | VOLUMEN               |
|------------------------|---|-----------------------|
| <b>CEMENTO</b>         | $\frac{476 \text{ Kg}}{3100 \text{ Kg/m}^3}$    | 0.1535 m <sup>3</sup> |
| <b>AIRE</b>            | 2.0 %   | 0.0200 m <sup>3</sup> |
| <b>AGUA</b>            | $\frac{200 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$    | 0.2000 m <sup>3</sup> |
| <b>AGREGADO GRUESO</b> | $\frac{809,25 \text{ Kg}}{2521 \text{ Kg/m}^3}$ | 0.3210 m <sup>3</sup> |

La cantidad de arena se determina restando los volúmenes calculados en el paso anterior a 1 m<sup>3</sup> de mezcla de concreto.

$$Cantidad \text{ de Arena} = 1 \text{ m}^3 - (0.1535 \text{ m}^3 + 0.0200 \text{ m}^3 + 0.2000 \text{ m}^3 + 0.3210 \text{ m}^3)$$

$$Cantidad \text{ de Arena} = 0.3055 \text{ m}^3$$

$$Masa \text{ de arena} = Volumen \times densidad = 0.3055 \text{ m}^3 * 2480 \text{ kg/m}^3$$

$$Masa \text{ de arena} = 757.64 \text{ Kg}$$

| COMPONENTE     | MASA (Kg) | DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> ) | VOLUMEN (m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-----------|-------------------------------|---------------------------|
| <b>CEMENTO</b> | 476.00    | 3100                          | 0.1535                    |
| <b>ARENA</b>   | 757.64    | 2480                          | 0.3055                    |
| <b>GRAVA</b>   | 809.25    | 2521                          | 0.3210                    |
| <b>AGUA</b>    | 200.00    | 1000                          | 0.2000                    |
| <b>AIRE</b>    | ---       | ---                           | 0.0200                    |
| <b>TOTAL</b>   |           |                               | <b>1.00</b>               |

### 6.8.6 PROPORCIONES DE MEZCLA

Se obtienen las relaciones en volumen entre los componentes de la mezcla.

$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}} = \frac{0.1535 \text{ m}^3}{0.1535 \text{ m}^3} = 1$$

$$\frac{\text{Arena}}{\text{Cemento}} = \frac{0.3055 \text{ m}^3}{0.1535 \text{ m}^3} = 1.990$$

$$\frac{\text{Grava}}{\text{Cemento}} = \frac{0.3210 \text{ m}^3}{0.1535 \text{ m}^3} = 2.091$$

**1: 1,990: 2,091**

Esto se aproxima a:

**1: 2: 2,1**

### 6.9 CALCULO DE LAS CANTIDADES DE CEMENTO, AGREGADOS Y AGUA PARA EL NUMERO DE ESPECIMENES A ENSAYAR

Se realizaron tres especímenes cilíndricos para el ensayo de compresión y tres adoquines para el ensayo de flexión con las cantidades obtenidas y sin adición de agregados de fibrocemento, estos serán los especímenes de control del experimento, llamados muestra patrón.

Adicionalmente se realizarán también seis especímenes para cada proporción de remplazo del agregado grueso por el agregado de fibrocemento fabricado; tres para el ensayo de compresión y tres para el ensayo de flexión. Siendo las proporciones de remplazo en volumen propuestas del 5%, 10%, 20% y 30% para cada caso. Dando un total de veinticuatro (24) especímenes con agregado de remplazo y seis

(6) especímenes para el control. Cada proporción y el patrón serán ensayados a los 7, 14 y 28 días de curado.

### 6.9.1 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE PARA UN ADOQUÍN Y UN ESPÉCIMEN CILÍNDRICO

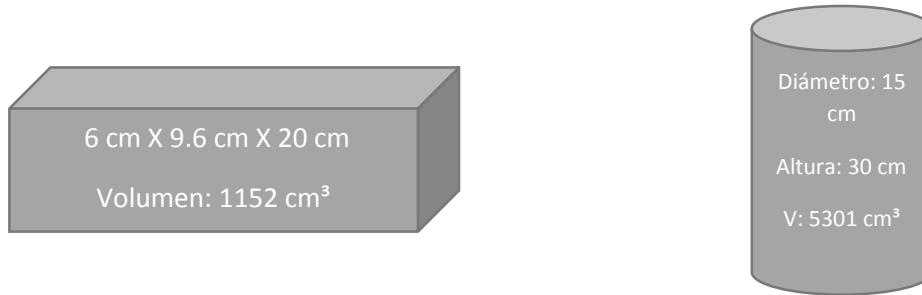


Ilustración 9: volumen de un adoquín y de un espécimen cilíndrico.

Fuente: propia

Volumen total del adoquín: 1152 cm<sup>3</sup>

Volumen total del espécimen cilíndrico: 5301 cm<sup>3</sup>

Se determina a partir de los volúmenes de los componentes de la mezcla, su valor en el porcentaje que representa dentro de ella:

Para el cemento:

$$\begin{aligned} 1 m^3 &\rightarrow 100 \% \\ 0.1535 m^3 &\rightarrow X \\ X &= \frac{0.1535 m^3 * 100 \%}{1 m^3} = 15.35 \% \end{aligned}$$

Para la arena:

$$\begin{aligned} 1 m^3 &\rightarrow 100 \% \\ 0.3055 m^3 &\rightarrow X \\ X &= \frac{0.3055 m^3 * 100 \%}{1 m^3} = 30.55 \% \end{aligned}$$

Para la grava:  $1 m^3 \rightarrow 100 \%$

$0.3210 m^3 \rightarrow X$

$$X = \frac{0.3210 m^3 * 100 \%}{1 m^3} = 32.10 \%$$

Para el agua:  $1 m^3 \rightarrow 100 \%$

$0.2000 m^3 \rightarrow X$

$$X = \frac{0.2000 m^3 * 100 \%}{1 m^3} = 20.00 \%$$

Para el aire:  $1 m^3 \rightarrow 100 \%$

$0.0200 m^3 \rightarrow X$

$$X = \frac{0.0200 m^3 * 100 \%}{1 m^3} = 2.00 \%$$

| COMPONENTE   | PORCENTAJE DENTRO DE LA MUESTRA | VOLUMEN PARA UN ADOQUÍN (V x %) (cm³) | MASA PARA UN ADOQUÍN (V x D) (gr) | VOLUMEN PARA UN CILINDRO (V x %) (cm³) | MASA PARA UN CILINDRO (V x D) (gr) | MASA PARA 45 ADOQUINES (Kg) | MASA PARA 15 CILINDROS (Kg) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CEMENTO      | 15.35 %                         | 176.8                                 | 547.1                             | 813.7                                  | 2522.4                             | 24.6                        | 37.8                        |
| ARENA        | 30.55 %                         | 351.9                                 | 872.7                             | 1619.4                                 | 4016.1                             | 39.3                        | 60.2                        |
| GRAVA        | 32.10 %                         | 369.8                                 | 931.9                             | 1701.6                                 | 4288.0                             | 41.9                        | 64.3                        |
| AGUA         | 20.00 %                         | 230.4                                 | 230.4                             | 1060.2                                 | 1060.2                             | 10.4                        | 15.9                        |
| AIRE         | 2.00 %                          | 2.3                                   | ---                               | ---                                    | ---                                | ---                         | ---                         |
| <b>TOTAL</b> |                                 | <b>1152</b>                           | <b>2582.1</b>                     | <b>5301</b>                            | <b>11886.7</b>                     | <b>116.2</b>                | <b>178.2</b>                |

Tabla 11: volúmenes y masas de los componentes de la mezcla.

Fuente: propia

| Ensayo N° | Porcentaje en volumen de remplazo de agregado de fibrocemento (%) | Porcentaje en volumen remanente de agregado grueso natural (%) | Masa de remplazo de agregado de fibrocemento para un adoquín (gr) | Masa remanente de agregado de grueso natural para un adoquín (gr) | TOTAL (%) |
|-----------|---|--|---|---|-----------|
| 1         | 5   | 95   | 46.6  | 885.3   | 100       |
| 2         | 10  | 90   | 93.2  | 838.7   | 100       |
| 3         | 20  | 80   | 186.3   | 745.5   | 100       |
| 4         | 30  | 70   | 279.5   | 652.3   | 100       |

Tabla 12: cantidades de agregado de remplazo.

Fuente: propia

## 6.10 FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (CILINDROS)

**Norma aplicable:** NTC-1377

**Equipos necesarios:**

- Balanza con exactitud de 0.1 gr.
- Moldes Para especímenes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de largo.
- Varilla de apisonamiento de acero lisa, redonda y recta de 16 mm de diámetro y de 600 mm de longitud aproximadamente, con uno de sus extremos redondeado en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
- Mazo de goma que pese entre 0,60 y 0,80 Kg.
- Espátula o palustre.
- Aceite para engrasado de los moldes.
- Tanque de agua con capacidad suficiente para sumergir completamente los especímenes y asegurar el proceso de curado.

**Procedimiento:**

Se realiza una mezcla, sin agua, entre el cemento y el agregado fino hasta que estén completamente combinados. Luego, es añadido el agregado grueso y el

agregado de fibrocemento y se mezclan completamente hasta que estén uniformemente distribuidos en el recipiente contenedor, posteriormente, se incorpora la cantidad de agua necesaria determinada.

La muestra de concreto es dispuesta en el interior del molde con cuidado para asegurar la correcta distribución de la mezcla y una segregación mínima.

Se procede a llenar los moldes con la mezcla producida, esto se hace de manera paulatina, llenando el molde con tres capas de un tercio de la altura de los moldes cilíndricos, cada capa se compacta con 25 penetraciones de la varilla de apisonamiento, distribuyéndolas uniformemente, en la última capa agregar la cantidad de concreto suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. La capa inferior se compacta en todo su espesor; la segunda capa y tercera se compacta penetrando no más de 1" en la capa anterior. Después de compactar cada capa golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas.

El borde de los moldes es enrasado usando la varilla de apisonamiento, para que la superficie quede lisa y uniforme.

Los especímenes son rotulados con la fecha y proporción usada.

Los especímenes se deben dejar en reposo durante un tiempo de 24 horas, cubriendo la parte superior con una bolsa para evitar evaporación de agua. Transcurrido este tiempo, se retiran del molde y deben ser llevados en un tanque con agua para el curado.

## 6.11 FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO (ADOQUINES)

**Norma aplicable:** NTC-2017

### **Equipos necesarios:**

- Balanza con exactitud de 0.1 gr.
- Máquina compactadora para fabricar adoquines.
- Moldes específicos para máquina adoquinadora, de 6 cm de espesor, 9,6 cm de ancho y 20 cm de largo.
- Espátula o palustre.
- Aceite para engrasado de los moldes y la maquinaria.
- Tanque de agua con capacidad suficiente para sumergir completamente los adoquines y asegurar el proceso de curado.

### **Procedimiento:**

Se determinaron las cantidades a usar de todos los agregados (incluyendo el agregado de fibrocemento) para cada una de las diferentes proporciones. Se realiza una mezcla, sin agua, del cemento y el agregado fino hasta que estén completamente combinados. Posteriormente, es añadido el agregado grueso y el agregado de fibrocemento, se mezcla completamente hasta que estos estén uniformemente distribuidos en el recipiente contenedor, luego se adiciona la cantidad de agua necesaria.

Se introduce la muestra de concreto en el interior del contenedor de la máquina adoquinadora con mucho cuidado para evitar pérdidas de humedad.

Posteriormente, se procede a encender la máquina la cual aplica una fuerte presión sobre la mezcla introducida haciéndola tomar la forma del molde, el resultado después de unos segundos es una tanda de 8 adoquines.

Al salir de la máquina los especímenes son rotulados con la fecha y la proporción de agregado usado.

Los especímenes se deben dejar en reposo durante un tiempo de 24 horas, cubriendo la parte superior con una bolsa para evitar evaporación de agua. Transcurrido este tiempo son retirados del molde y son sumergidos en un tanque con agua para el curado.



*Ilustración 10: adoquines de concreto.*

*Fuente: propia*

## **6.12 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL CONCRETO**

A continuación, se muestran los ensayos para determinar las resistencias de los adoquines de concreto elaborados con las proporciones indicadas.

### **6.12.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**Norma aplicable:** INVE 410

**Equipo:**

- Prensa hidráulica de compresión.
- Escuadra
- Galga palpadora

**Procedimiento:**

Los especímenes, son retirados del tanque de curado, y dejados sobre una toalla húmeda que los cubra para evitar que pierdan humedad.

Se verifica la perpendicularidad del espécimen usando la escuadra y una galga palpadora.

Todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas como sigue:

| EDAD DEL ENSAYO | TOLERANCIA PERMISIBLE |
|-----------------|-----------------------|
| 12 horas        | 0.25 horas o 2.1 %    |
| 24 horas        | 0.5 horas o 2.1 %     |
| 3 días          | 2 horas o 2.8 %       |
| 7 días          | 6 horas o 3.6 %       |
| 28 días         | 20 horas o 3.0 %      |
| 56 días         | 40 horas o 3.0 %      |
| 90 días         | 2 días o 2.2%         |

*Tabla 13: tolerancias de edad de ensayo de los especímenes.  
Fuente: norma I.N.V.E-410*

Luego es colocado el bloque de carga inferior sobre la plataforma de la máquina de ensayo, con su cara endurecida en dirección hacia arriba y directamente debajo del bloque de carga superior. Se limpian con un paño las superficies de los bloques superior e inferior y se dispone el espécimen sobre el bloque inferior. Se debe alinear cuidadosamente el eje del espécimen sobre el bloque inferior.

La velocidad de falla se ajusta a 0.25 MPa/s.

## 6.12.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

**Norma aplicable:** INV E-414

**Equipo:** máquina de ensayo de flexión.

**Procedimiento:**

El adoquín se centra sobre los bloques de carga. Se ponen los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del adoquín en los puntos tercios entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de la carga última estimada.

Los ensayos de flexión sobre especímenes curados en húmedo se deberán realizar tan pronto como sea posible luego de su remoción del sitio de curado. Ya que el secado de las superficies del espécimen se traduce en una reducción de la resistencia a flexión medida.

Para el ensayo de los adoquines se ubicaron los apoyos a una (1) pulgada de los extremos y la carga es aplicada justo en la parte central de este.

| EDAD DE ENSAYO | TOLERANCIA PERMISIBLE |
|----------------|-----------------------|
| 3 días         | 2 horas o 2.8%        |
| 7 días         | 6 horas o 3.6%        |
| 28 días        | 20 horas o 3.0%       |

*Tabla 14: tolerancias de edad de ensayo de las viguetas.*

*Fuente: norma I.N.V.E-414*

La carga se debe aplicar de manera continua sin sobresaltos, a una rata que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema entre 0.9 MPa/min y 1.2 MPa/min, hasta que ocurra la rotura.

**NOTA:** según la norma NTC 2017 la resistencia a la flexión para adoquines no debe ser nunca menor a 3,6 MPa para muestras individuales, y no menor de 4,5 MPa para un promedio de 5 muestras.

### **6.13 CALIDAD DE LOS ADOQUINES**

Siguiendo la norma NTC-2017 se fabricaron adoquines tipo 1, los cuales tienen unas dimensiones de 6 cm de espesor, 9.6 cm de ancho y 20 cm de largo, con forma rectangular, de una capa y sin cara de color.

Se comprobó que los adoquines fabricados no tuvieran diferencias significativas unos a otros en sus dimensiones, tolerando como máximo 2 mm de diferencia entre espesores y 3 mm entre longitudes.

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de resistencias realizados a los especímenes cilíndricos y a los adoquines fabricados con la mezcla de concreto diseñada, empleando en su constitución los residuos de láminas de fibrocemento que se desprenden de actividades de remodelación de viviendas y/o destrucción y reconstrucción de edificaciones dentro de la ciudad de Valledupar.

### 7.1 RESISTENCIA OBTENIDA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DISEÑADO

El diseño del concreto que se utilizó en la elaboración de los adoquines se hizo tomando como factor principal su resistencia a la compresión, este fue acordado y ejecutado de tal manera que la resistencia del concreto obtenido fuera de 3000 psi (libras por pulgada cuadrada, por sus siglas en ingles).

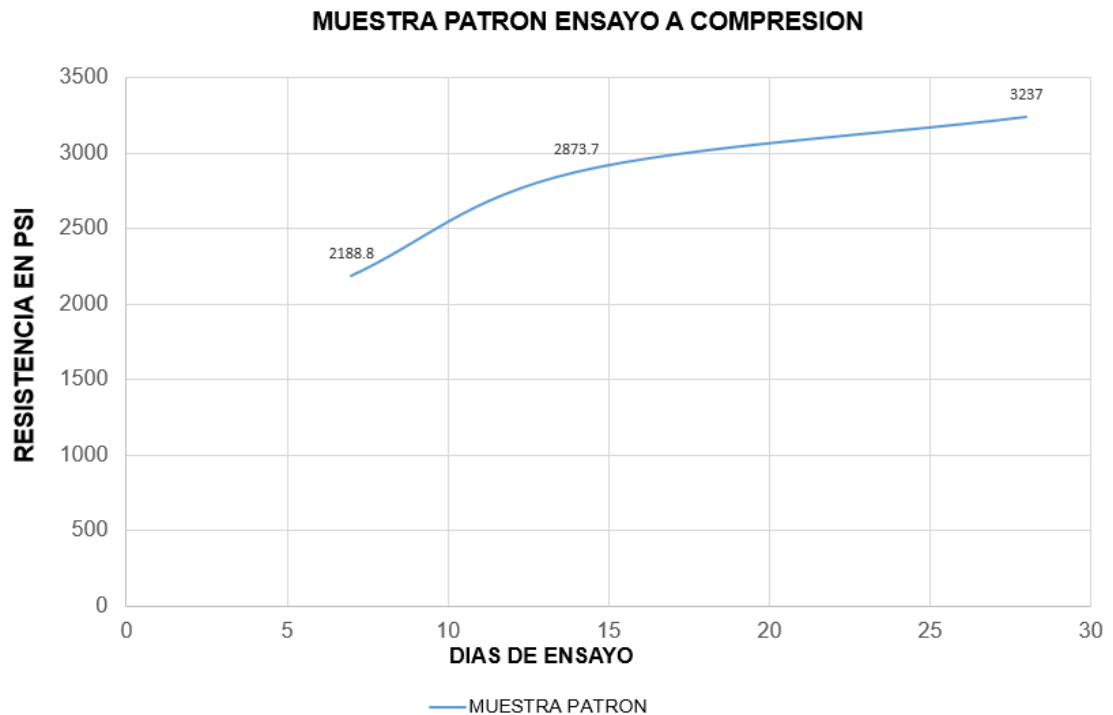
La siguiente tabla indica los resultados obtenidos de todos los ensayos de resistencias a la compresión del concreto que se practicaron específicamente a los especímenes cilíndricos, en edades de 7, 14 y 28 días de curado del concreto.

| CONSOLIDADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  |      |      |               |      |      |                |      |      |                |      |      |                |      |        |
|--|------|------|---------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|--------|
| RESISTENCIA A COMPRESIÓN (PSI) DE CILINDROS EN RELACIÓN A LA EDAD DE ENSAYO (Días) |      |      |               |      |      |                |      |      |                |      |      |                |      |        |
| MUESTRA PATRÓN   |      |      | PROPORCIÓN 5% |      |      | PROPORCIÓN 10% |      |      | PROPORCIÓN 20% |      |      | PROPORCIÓN 30% |      |        |
| 7  | 14   | 28   | 7             | 14   | 28   | 7              | 14   | 28   | 7              | 14   | 28   | 7              | 14   | 28     |
| 2188.8   | 2874 | 3237 | 2071.7        | 2713 | 3183 | 1712           | 2559 | 2981 | 1665           | 2389 | 2851 | 1491           | 2307 | 2622.6 |

Tabla 15: resistencias a la compresión obtenidas.

Fuente: propia

## 7.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

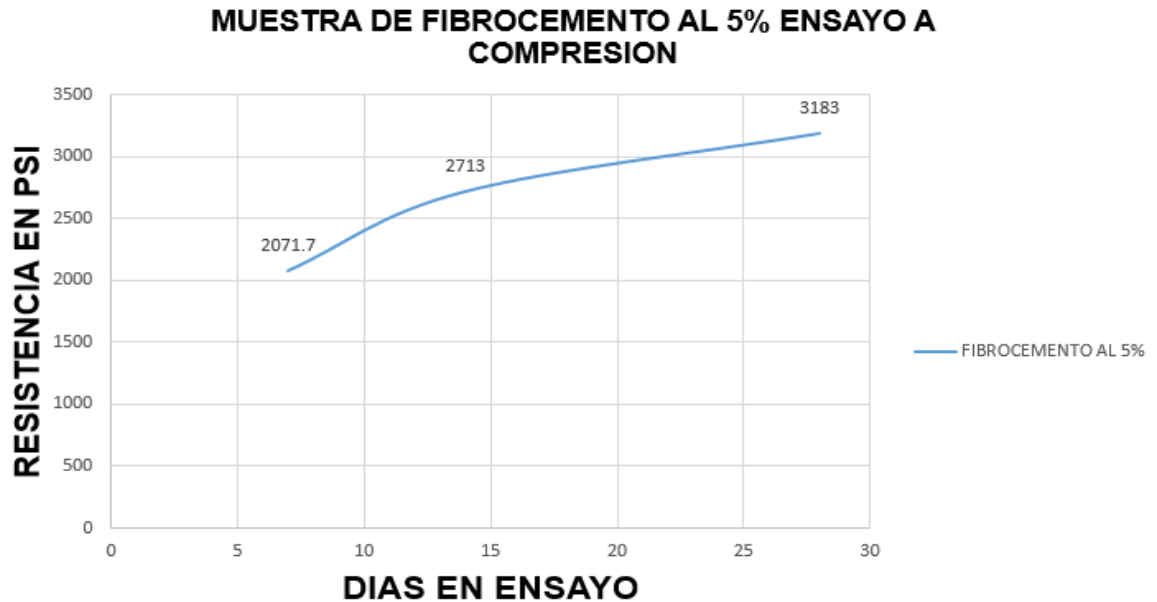


*Grafica 3: resistencia a compresión del concreto patrón.*

*Fuente: propia*

Se aprecia, de la gráfica 3, que el concreto de control (patrón) obtuvo una resistencia de 2188.8 PSI en el ensayo de 7 días de edad de curado y que respecto a este se observa un aumento significativo para la edad de 14 días del orden del 31,2%, con una resistencia determinada de 2873.7 PSI, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un aumento cercano al 47.8% con 3237 PSI, y de 12.6% respecto a los 14 días, un crecimiento apreciablemente menos pronunciado que el obtenido para la segunda edad de ensayo.

## 7.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 5% DE FIBROCEMENTO DE REEMPLAZO

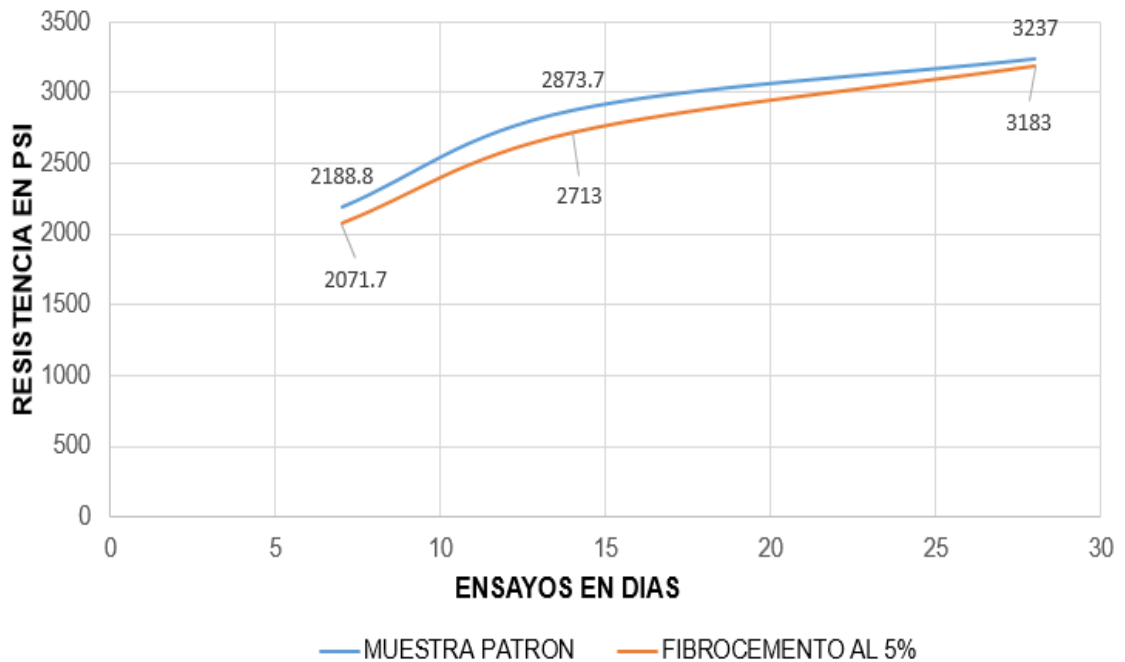


*Grafica 4: resistencia a compresión del concreto 5% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 4, una resistencia obtenida en la primera edad de ensayo de 2071.7 PSI para el espécimen cilíndrico con la proporción de reemplazo más baja (5% de agregado de fibrocemento y 95% de agregado grueso pétreo), presenta una resistencia de 2713 PSI a los 14 días, un aumento en torno al 30.9% respecto a su resistencia a los 7 días, por último, presentó una resistencia a los 28 días de 3183 PSI, un aumento de 53.6% y 17.3% respecto a su resistencias a los 7 y 14 días.

### PATRON VS FIBROCEMENTO AL 5%

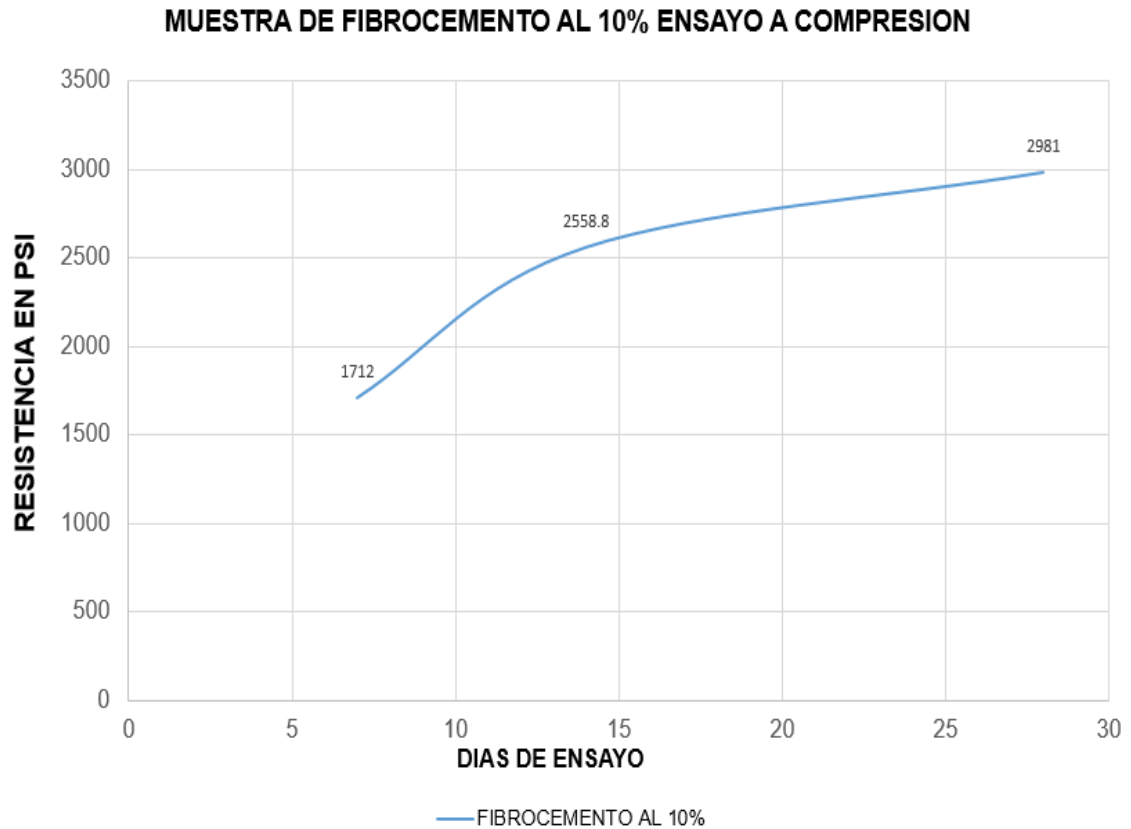


Grafica 5: resistencia a la compresión del concreto 5% de fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se observa, de la gráfica 5, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 5% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 5.35% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, de un mismo modo y manteniendo la tendencia, la resistencia a 14 días disminuyó un 5.57% respecto a los 14 días del concreto patrón y a su vez la resistencia a los 28 días disminuyó sólo un 1.7%, por cual se infiere que este concreto sigue manteniéndose en los límites permisibles de resistencia según la norma INV-410, pero lo más apreciable es que la adición de un 5% de agregado de fibrocemento apenas está afectando a la resistencia original.

### 7.1.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 10% DE FIBROCEMENTO

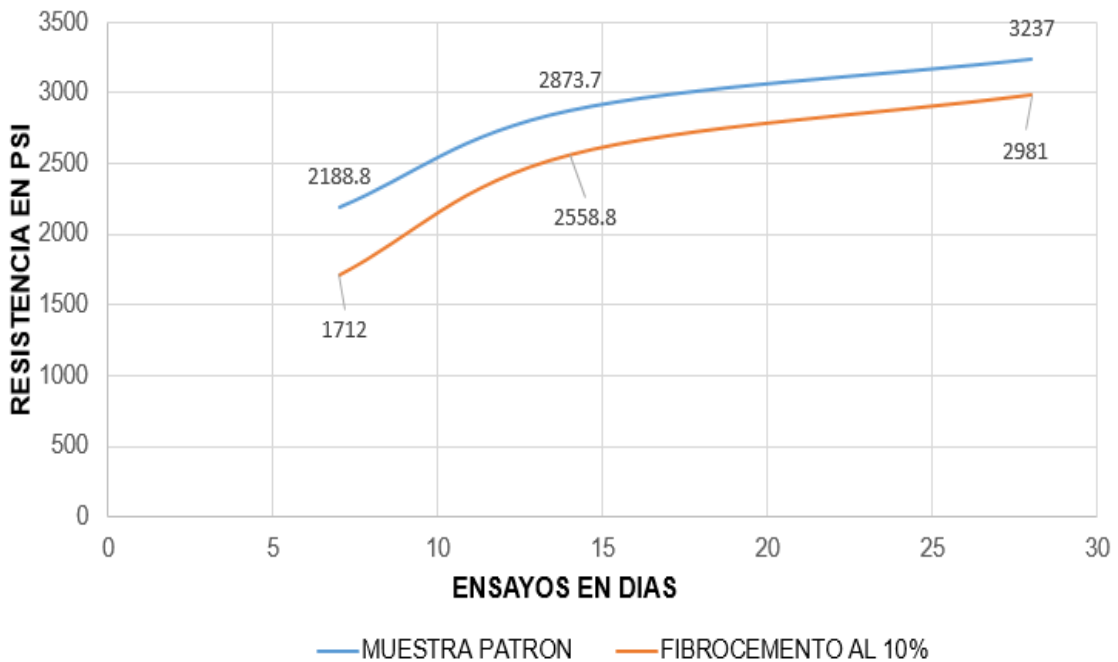


*Grafica 6: resistencia a compresión del concreto 10% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se aprecia, de la gráfica 6, que el concreto con un 10% de agregado de reemplazo presentó una resistencia de 1712 PSI en el ensayo de 7 días de edad de curado y que respecto a este se observa un aumento bastante pronunciado para la edad de 14 días del orden del 49.4%, con una resistencia determinada de 2558.9 PSI, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un gran aumento cercano al 74.1% con 2981 PSI, y de 16.5% respecto a los 14 días, un crecimiento apreciablemente menos pronunciado que el obtenido para la segunda edad de ensayo.

### PATRON VS FIBROCEMENTO AL 10%

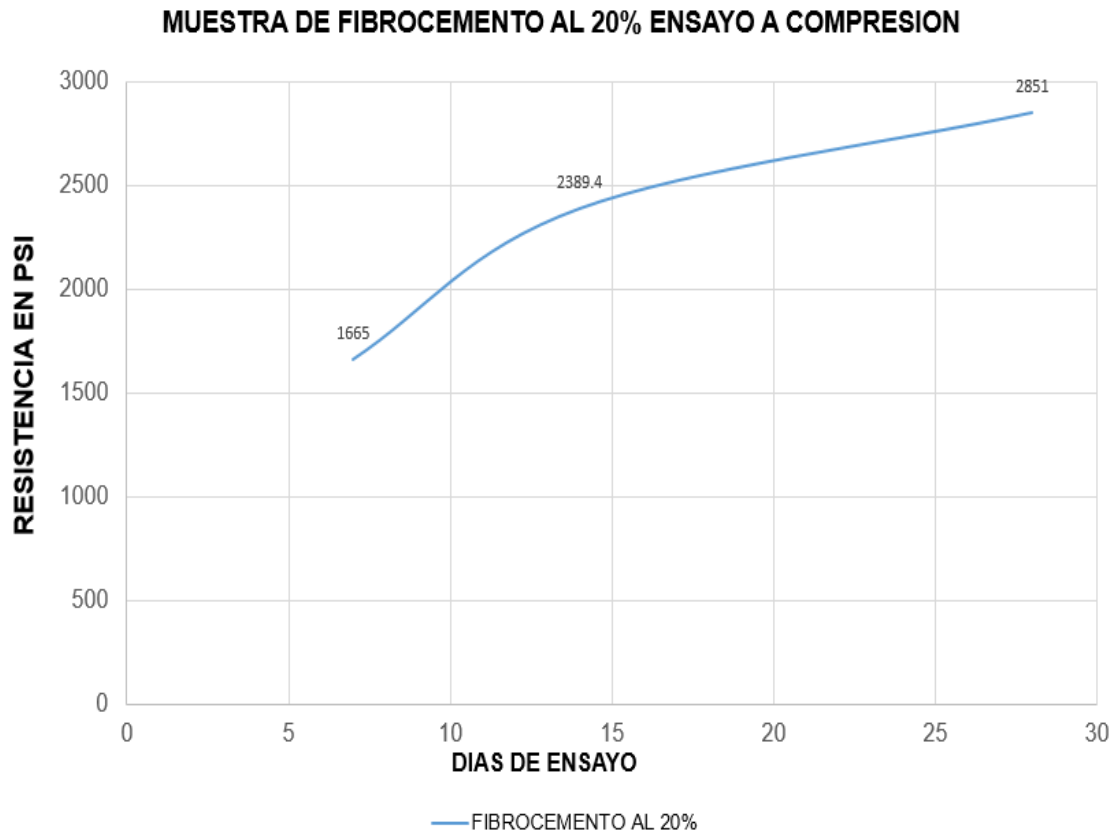


Grafica 7: resistencia a compresión del concreto 10% fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se observa, de la gráfica 7, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 10% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 21.8% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, a su vez, la resistencia a 14 días disminuyó un 11% respecto a la dada a los 14 días del concreto patrón y por último, la resistencia a los 28 días disminuyó un 8% respecto a la patrón, se observa como la adición del agregado de fibrocemento empieza a mostrar un efecto adverso sobre la resistencia del concreto normal de control, efecto que se minimiza levemente con el aumento de la edad de ensayo.

### 7.1.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 20% DE FIBROCEMENTO

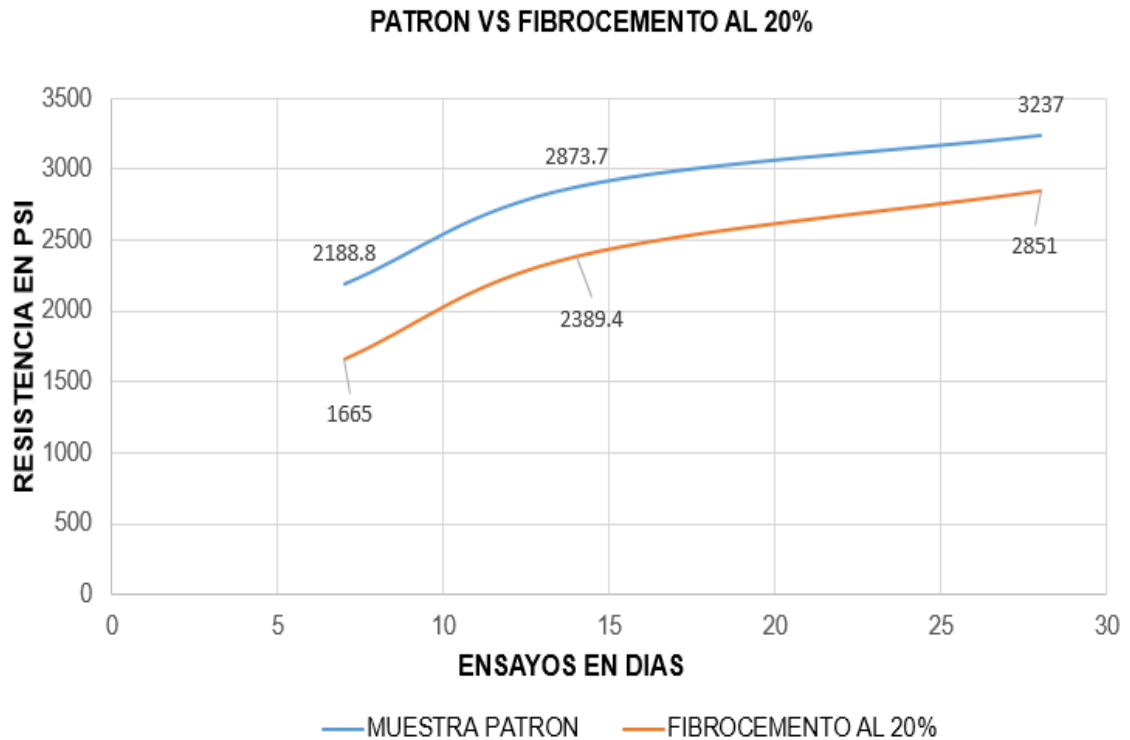


*Grafica 8: resistencia a compresión del concreto 20% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se aprecia, de la gráfica 8, que el concreto de con una proporción de 20% de agregado de fibrocemento, obtuvo una resistencia de 1665 PSI en el ensayo a los 7 días de edad de curado y que respecto a este se observa un aumento significativo para la edad de 14 días del orden del 43.4%, con una resistencia de 2389.4 PSI, por último; para la edad de 28 días se obtuvo una resistencia de 2851 PSI, respecto a la obtenida a los 7 días se observa que tuvo un gran aumento del orden del 71.2%, comparada con la obtenida a la edad de 14 días el aumento fue de 19.3%, un

crecimiento algo menor que el obtenido para la segunda edad de ensayo pero que sin embargo es un valor muy destacable.

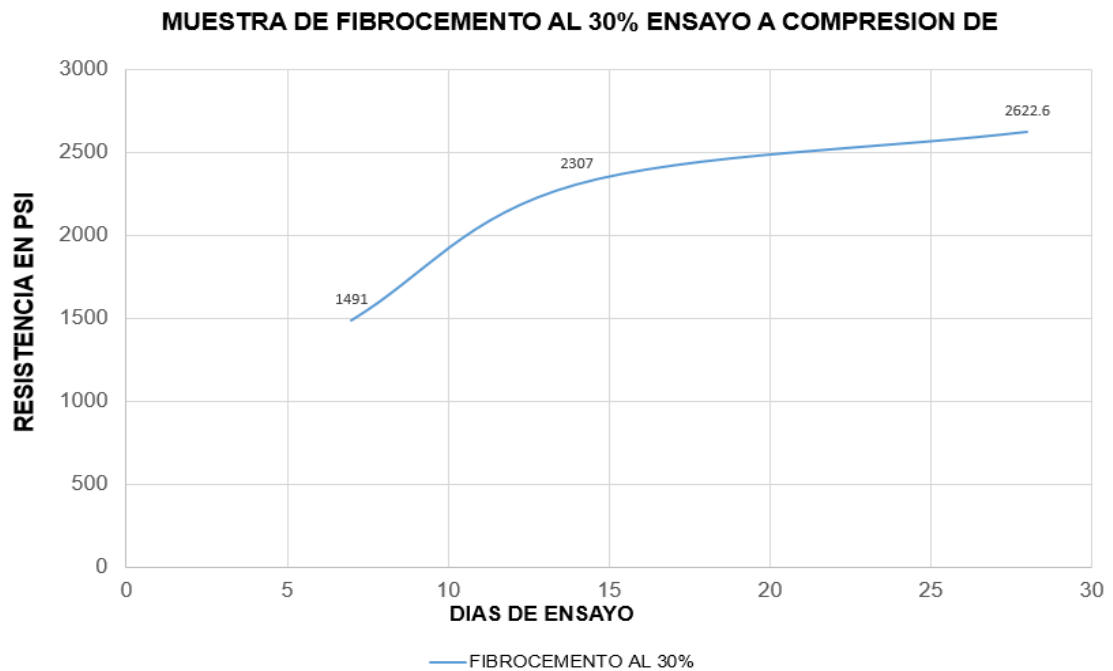


Grafica 9: resistencia a compresión del concreto 20% fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se observa, de la gráfica 9, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 20% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 24% menor que la dada por el concreto patrón, respecto a la resistencia a 14 días, esta disminuyó un 16.9%, a su vez la resistencia a los 28 días disminuyó un 12%, lo cual a pesar de indicar que conforme aumenta la edad de ensayo el margen de diferencia entre el patrón y la muestra analizada va disminuyendo, también indica que a medida de que la proporción de agregado de fibrocemento es mayor, el efecto negativo sobre la resistencia del concreto es más acentuado.

### 7.1.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CON 30% FIBROCEMENTO

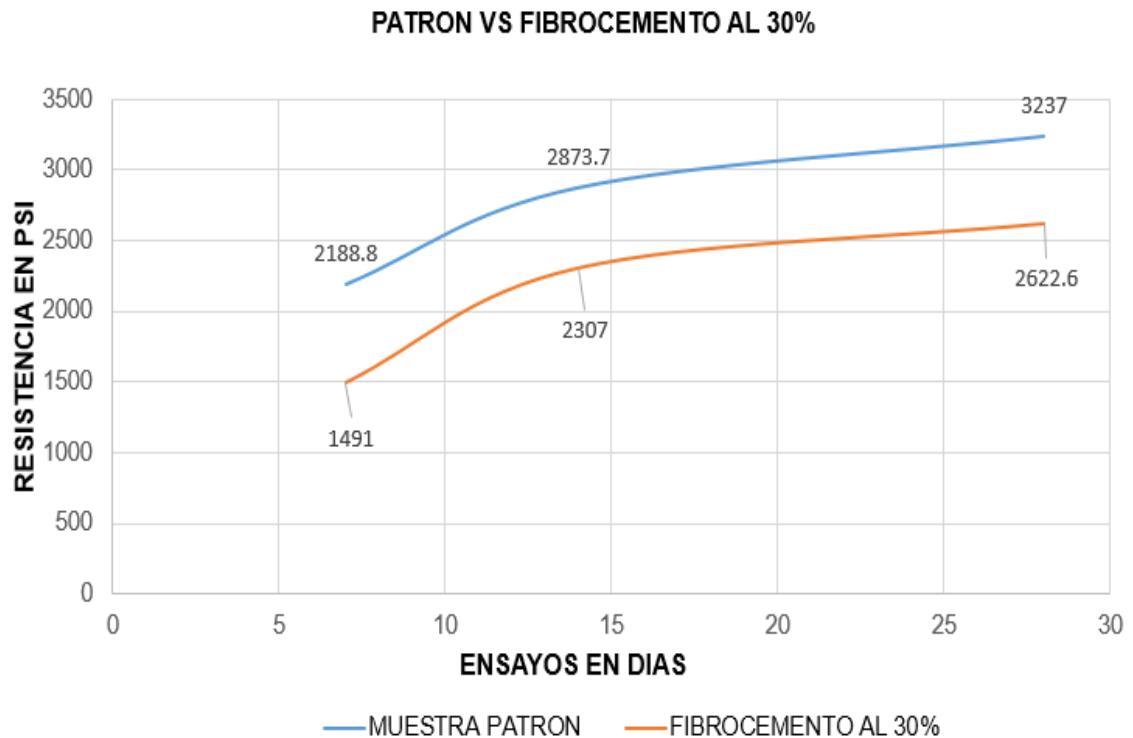


*Grafica 10: resistencia a compresión del concreto 30% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 10, que el concreto con proporción de 30% de agregado a base de fibrocemento y 70% de grava natural, obtuvo una resistencia de 1491 PSI en el ensayo de 7 días de edad y que respecto a este se observa un aumento pronunciado para la edad de 14 días del orden del 54.7%, con una resistencia determinada de 2307 PSI, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un aumento cercano de 75.8% con 2622.6 PSI, y de 13.6% respecto a los 14 días, un crecimiento en tendencia con lo visto anteriormente; un

crecimiento pronunciado en el periodo comprendido entre los 7 y 14 días de ensayo, que se ve mermado en la edad de ensayo de 28 días.



Grafica 11: resistencia a compresión del concreto 30% fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se observa, de la gráfica 11, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 30% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 32.8% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, la resistencia a 14 días disminuyó un 19.7% respecto a los 14 días del concreto patrón y su vez la resistencia a los 28 días disminuyó un 19%, esto indica que el concreto con proporción de agregado de fibrocemento de 30% es la que presentó el mayor efecto contrario en la resistencia del concreto, lo cual permite percibir que la adición de agregado artificial a base de fibrocemento no es benéfica si se quiere aumentar la resistencia del concreto.

## 7.2 RESISTENCIA OBTENIDA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO DISEÑADO

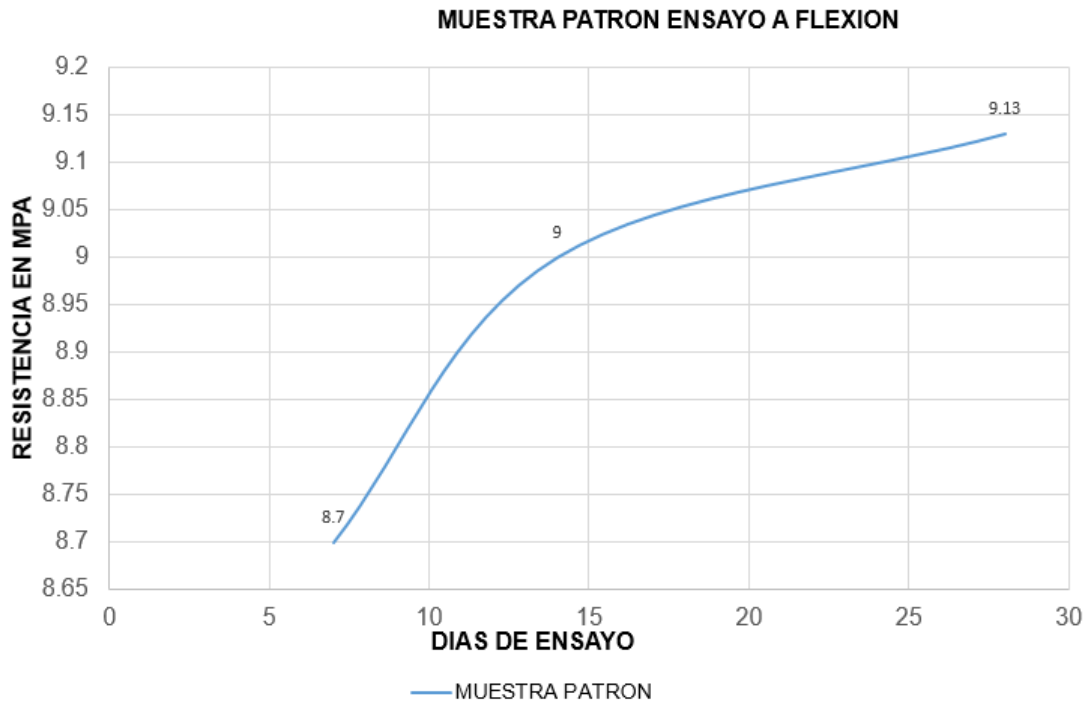
La siguiente tabla indica los resultados obtenidos de todos los ensayos de resistencias a la flexión del concreto que se practicaron específicamente a los adoquines fabricados, en edades de 7, 14 y 28 días de curado del concreto. A diferencia del ensayo a la compresión en la cual se utilizó la resistencia en unidades de PSI (libras por pulgada cuadrada), en el ensayo de flexión se determinó la resistencia en unidades de MPa (Mega Pascal), para poder realizar un análisis más coherente con la norma NTC 2017, la cual maneja el MPa como unidad para el análisis de la resistencia a la flexión.

| CLASIFICACIÓN DE CONSOLIDADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN |  |      |      |               |      |      |                |      |      |                |      |      |                |      |      |
|--|--|------|------|---------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|----------------|------|------|
| N° DE MUESTRAS   | MÓDULO DE RUPTURA (MPa) DE ADOQUINES EN RELACIÓN A LA EDAD DE ENSAYO EN DIAS |      |      |               |      |      |                |      |      |                |      |      |                |      |      |
|  | MUESTRA PATRÓN   |      |      | PROPORCIÓN 5% |      |      | PROPORCIÓN 10% |      |      | PROPORCIÓN 20% |      |      | PROPORCIÓN 30% |      |      |
|  | 7  | 14   | 28   | 7             | 14   | 28   | 7              | 14   | 28   | 7              | 14   | 28   | 7              | 14   | 28   |
| 1  | 8.7  | 9.10 | 9.2  | 8.5           | 8.6  | 8.9  | 6.3            | 6.5  | 6.7  | 5.4            | 5.6  | 5.8  | 3.9            | 4.3  | 4.5  |
| 2  | 8.6  | 8.9  | 9.01 | 8.52          | 8.68 | 8.92 | 6.32           | 6.59 | 6.8  | 5.5            | 5.68 | 5.92 | 3.97           | 4.4  | 4.63 |
| 3  | 8.8  | 9.01 | 9.19 | 8.58          | 8.7  | 9.00 | 6.4            | 6.84 | 6.85 | 5.98           | 5.74 | 5.97 | 4.12           | 4.48 | 4.7  |
| <b>PROMEDIO</b>  | 8.70   | 9.0  | 9.13 | 8.53          | 8.66 | 8.94 | 6.34           | 6.64 | 6.78 | 5.63           | 5.67 | 5.9  | 4.00           | 4.4  | 4.6  |

Tabla 16: resistencias a la flexión obtenidas.

Fuente: propia

## 7.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO PATRÓN

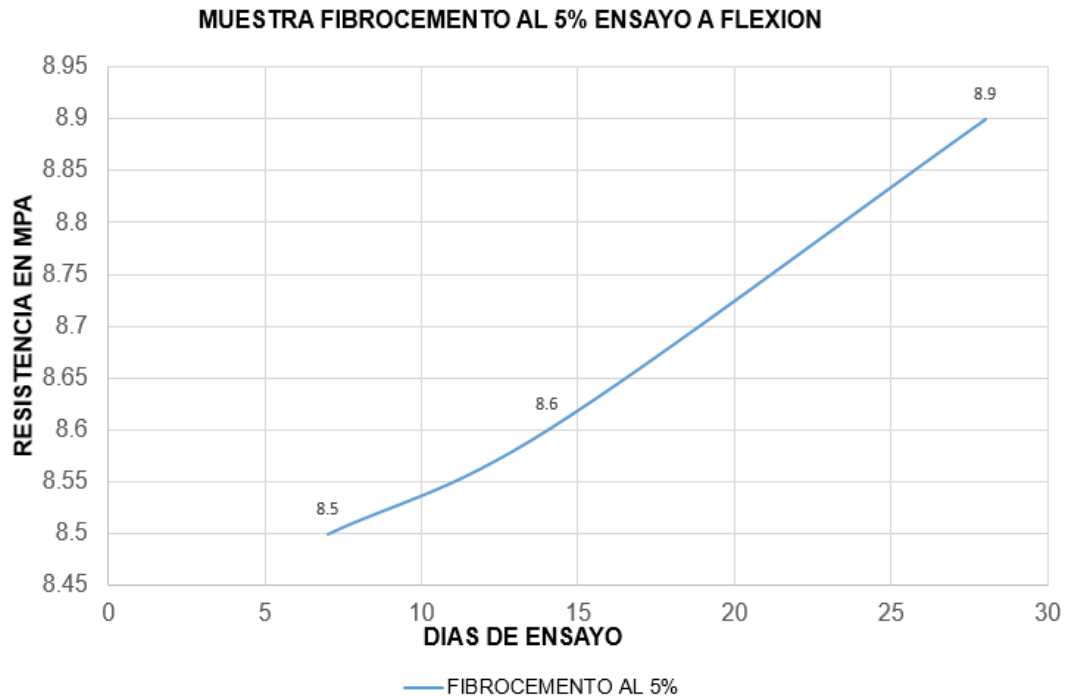


*Grafica 12: resistencia a flexión del concreto patrón.*

*Fuente: propia*

Se aprecia, de la gráfica 12, que el concreto de control (patrón) obtuvo una resistencia de 8.7 MPa en el ensayo de 7 días de edad de curado, la cual aumentó en un 3.4% a los 14 días hasta llegar a 9.0 MPa, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un aumento cercano al 5% y de 1.4% respecto a la obtenida a los 14 días de curado. Las resistencias obtenidas se encuentran con un buen margen por sobre el límite de 3,6 MPa que establece la norma NTC 2017.

## 7.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 5% DE FIBROCEMENTO

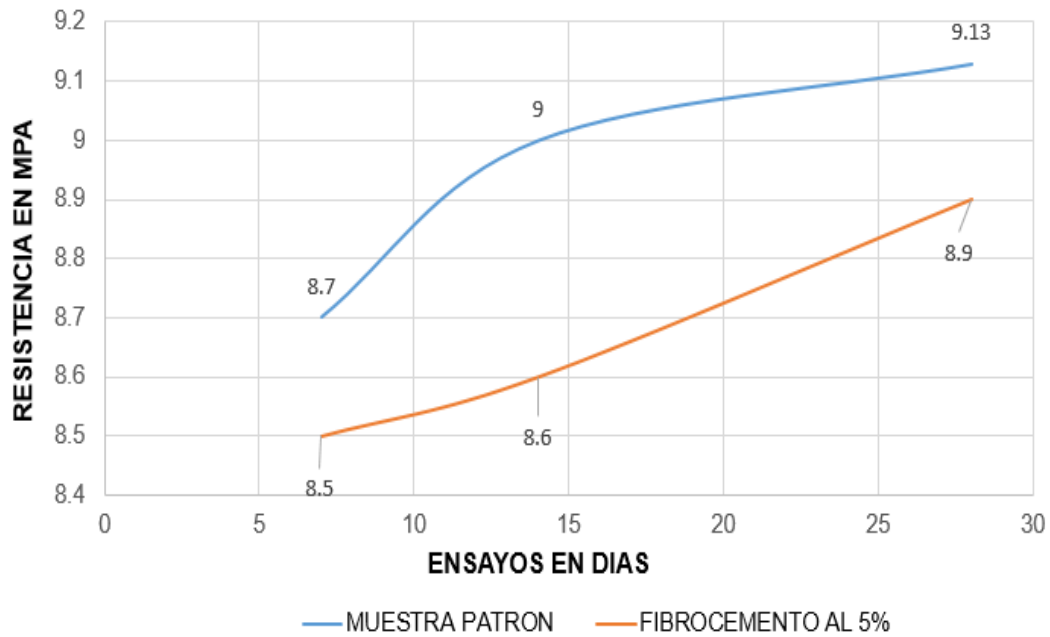


*Grafica 13: resistencia a flexión del concreto 5% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 13, una resistencia obtenida en la primera edad de ensayo de 8,5 MPa para el espécimen cilíndrico con la proporción de reemplazo más baja (5% de agregado de fibrocemento y 95% de agregado grueso pétreo), presenta una resistencia de 8,6 MPa a los 14 días, un aumento mínimo de 1,2% respecto a su resistencia a los 7 días, por último, presentó una resistencia a los 28 días de 8,9 MPa, un aumento de 4,7% y 3,5% respecto a su resistencias a los 7 y 14 días.

### PATRON VS FIBROCEMENTO AL 5%



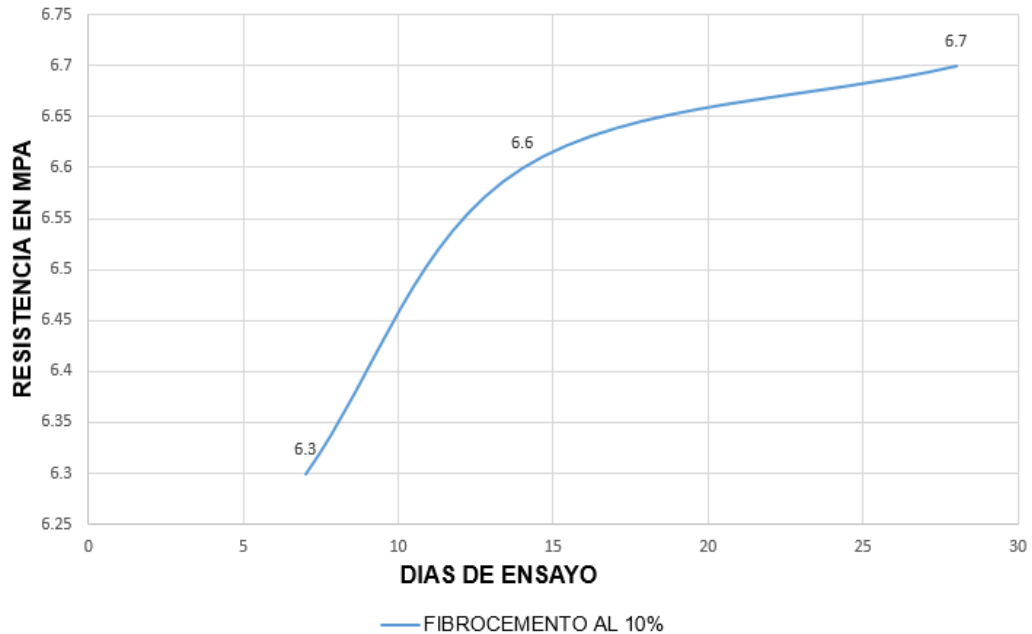
Grafica 14: resistencia a flexión del concreto 5% fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se aprecia, de la gráfica 14, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 5% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 2,3% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, la resistencia a 14 días disminuyó un 4,5% respecto a los 14 días del concreto patrón y a su vez la resistencia a los 28 días disminuyó un 2,6%, siempre manteniéndose sobre los 3,6 MPa que establece la norma NTC 2017.

## 7.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 10% DE FIBROCEMENTO

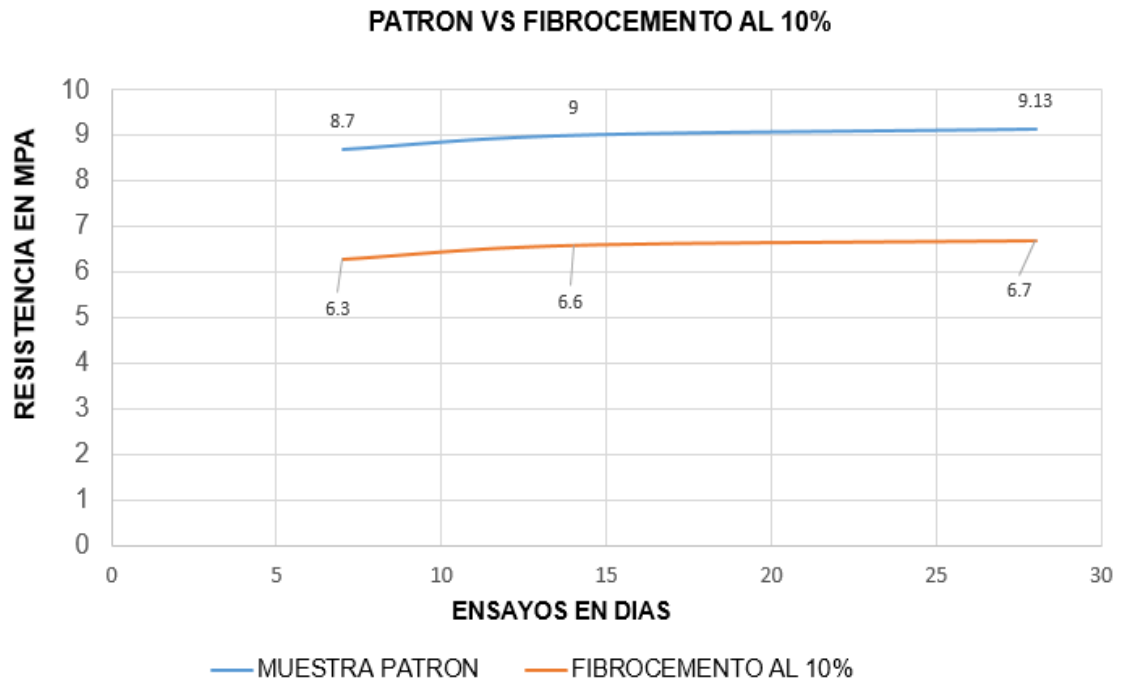
MUESTRA FIBROCEMENTO AL 10% ENSAYO A FLEXION



Grafica 15: resistencia a flexión del concreto 10% fibrocemento.

Fuente: propia

Se aprecia, de la gráfica 15, que el concreto con un 10% de agregado de reemplazo presentó una resistencia de 6,3 MPa en el ensayo de 7 días de edad de curado y que respecto a este se observa un aumento para la edad de 14 días del orden del 4,7%, con una resistencia determinada de 6,6 MPa, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un aumento de 6,3% 6,7 MPa, y de 1,5% respecto a los 14 días, un crecimiento apreciablemente menos pronunciado que el obtenido para la segunda edad de ensayo.

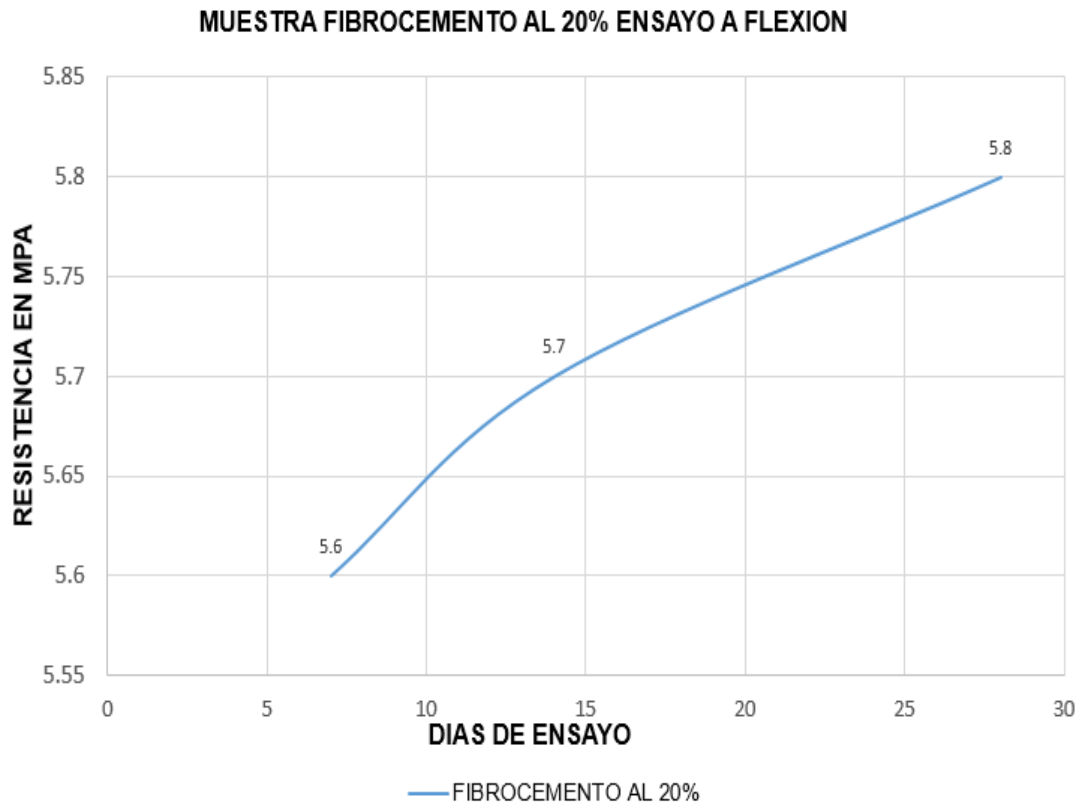


*Grafica 16: resistencia a flexión del concreto 10% fibrocemento vs patrón.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 16, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 10% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 27,6% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, a su vez, la resistencia a 14 días disminuyó un 26,7% respecto a la dada a los 14 días del concreto patrón y por último, la resistencia a los 28 días disminuyó igualmente un 26,7% respecto a la patrón, al igual que lo observado en el análisis de la resistencia a la compresión, también se aprecia como la adición del agregado de fibrocemento empieza a mostrar un efecto adverso sobre la resistencia del concreto normal de control.

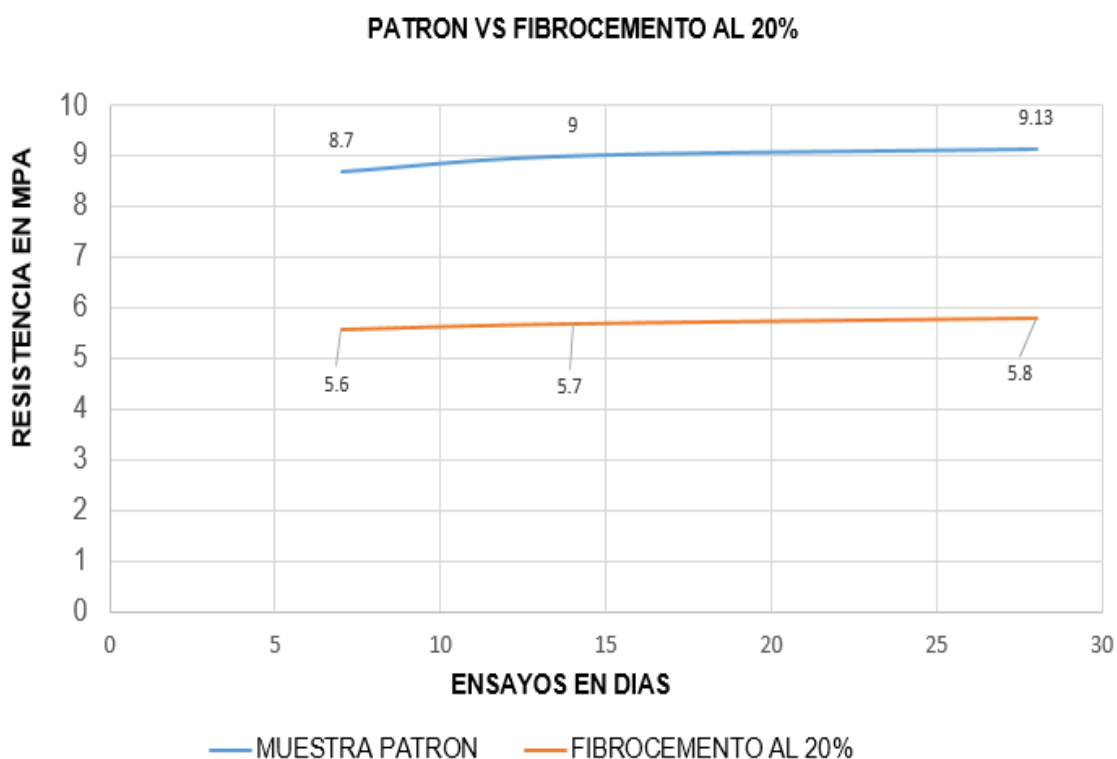
## 7.2.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 20% DE FIBROCEMENTO



*Grafica 17: resistencia a flexión del concreto 20% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se aprecia, de la gráfica 17, que el concreto de con una proporción de 20% de agregado de fibrocemento, obtuvo una resistencia de 5,6 MPa en el ensayo a los 7 días de edad y que respecto a este se observa un aumento reducido para la edad de 14 días de sólo 1,7%, con una resistencia de 5,7 MPa, por último; para la edad de 28 días se obtuvo una resistencia de 5,8 MPa, respecto a la obtenida a los 7 días se observa que presenta un aumento del 3,5%, comparada con la obtenida a la edad de 14 días el aumento fue de 1,7%, un crecimiento algo menor que el obtenido para la segunda edad de ensayo.

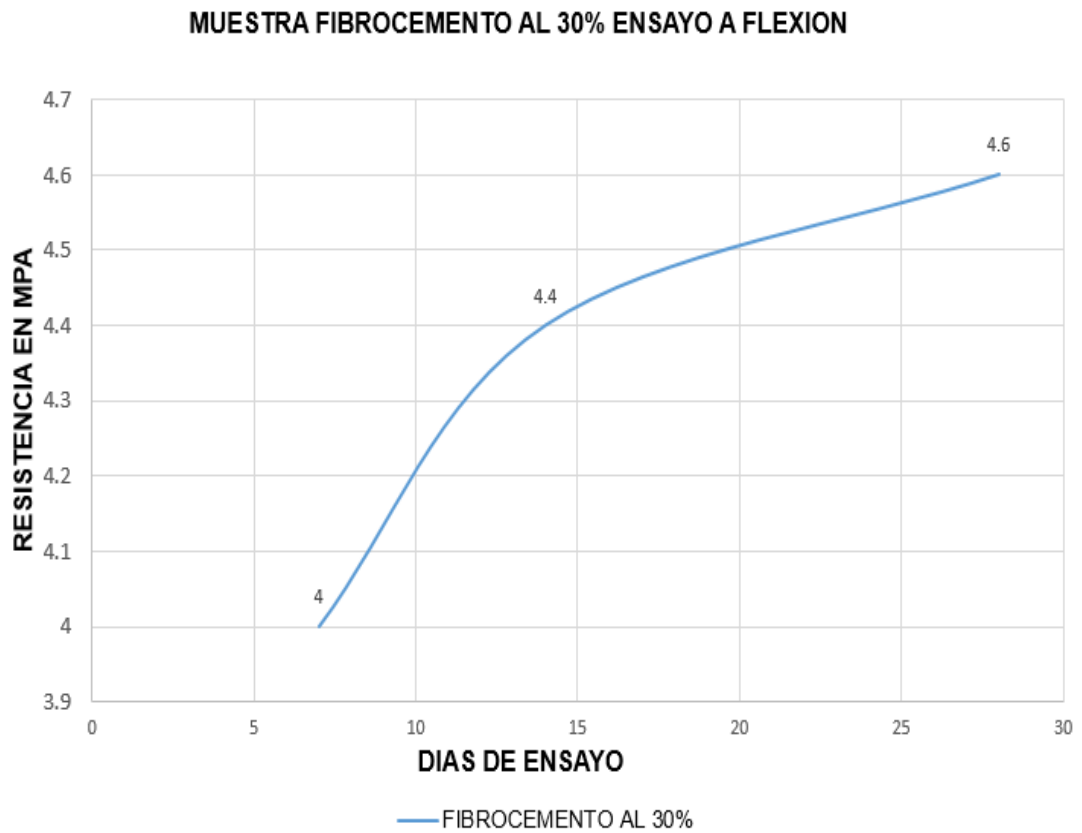


*Grafica 18: resistencia a flexión del concreto 20% fibrocemento vs patrón.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 18, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 20% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 35,7% menor que la dada por el concreto patrón, respecto a la resistencia a 14 días, la diferencia fue un poco mayor, disminuyó un 36,6%, a su vez la resistencia a los 28 días disminuyó un 36,5%, se aprecia que la diferencia entre las diferentes edades de ensayo son mínimas, lo cual no es un factor importante a tomar en cuenta como indicador de variación entre las muestras, para este caso dado. También se aprecia, al igual que en el ensayo a la compresión, que a medida de que la proporción de agregado de fibrocemento es mayor, el efecto negativo sobre la resistencia del concreto es más acentuado.

## 7.2.5 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO CON 30% DE FIBROCEMENTO

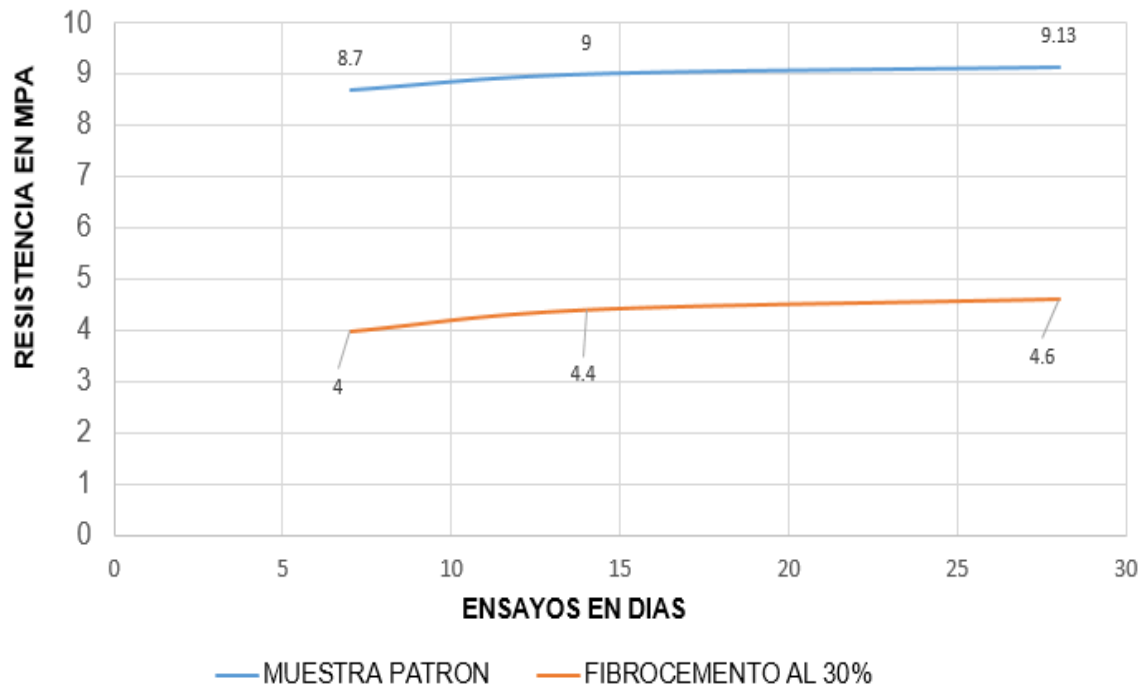


*Grafica 19: resistencia a flexión del concreto 30% fibrocemento.*

*Fuente: propia*

Se observa, de la gráfica 19, que el concreto con proporción de 30% de agregado a base de fibrocemento y 70% de grava natural, obtuvo una resistencia de 4 MPa en el ensayo de 7 días de edad y que respecto a este se observa un aumento para la edad de 14 días del orden del 10%, con una resistencia determinada de 4,4 MPa, por último; para la edad de 28 días respecto a la de 7 días, se observa un aumento del 15% con 4,6 MPa, y de 4,5% respecto a los 14 días, un crecimiento pronunciado en el periodo comprendido entre los 7 y 14 días de ensayo, que se ve mermado en la edad de ensayo de 28 días.

### PATRON VS FIBROCEMENTO AL 30%



Grafica 20: resistencia a flexión del concreto 30% fibrocemento vs patrón.

Fuente: propia

Se observa, de la gráfica 20, que la resistencia obtenida del concreto con proporción de 30% de agregado de fibrocemento a los 7 días es un 54,1% menor respecto a la resistencia del concreto patrón, la resistencia a 14 días disminuyó un 51,2% respecto a los 14 días del concreto patrón y su vez la resistencia a los 28 días disminuyó un 49,7%, esto indica que el concreto con proporción de agregado de fibrocemento de 30%, al igual que se observó en el ensayo de compresión del concreto, es la que presentó el mayor efecto contrario en la resistencia a flexión del concreto, lo cual permite percibir que la adición de agregado artificial a base de fibrocemento no es benéfica si se quiere aumentar la resistencia del concreto.

### **7.3 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y MECÁNICA DEL USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA DE CONCRETO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**

El proceso de emplear las láminas de fibrocemento como material agregado para una mezcla de concreto y el uso posterior de esta para la fabricación de adoquines tiene etapas que es de importancia analizar; desde la recolección y transporte de estas en su estado inicial, hasta el almacenamiento y manipulación en estado triturado, son muchos los factores que son claves para determinar la productividad que se puede obtener de este proceso.

A continuación, se indican algunas desventajas y dificultades que se presentaron en el proceso de transformación de una lámina dispuesta en una obra hasta su utilización dentro de una mezcla de concreto para adoquines.

**Fuente dispersa:** así se denomina a la no presencia en partes constantes y fijas geográficamente de la materia prima requerida, esto indica que la fuente del material de fibrocemento no siempre es la misma en términos locativos y pueden estar dispersadas en toda la ciudad, añadiendo un factor de complejidad mayor a pesar de que en prácticamente cualquier construcción de la ciudad de Valledupar están presentes, toda vez que es poco controlable prever con precisión el lugar del cual saldrá la materia prima a emplear.

**Fuente discontinua:** se denomina a la no permanencia en el tiempo de la oferta disponible del material, esta es variable y no obedece a ningún parámetro fácilmente medible o predecible, sino a la dinámica de la actividad constructiva de la ciudad. Esto indica que la cantidad de material para disponer no es siempre la misma y puede tener grandes variaciones de un periodo a otro.

**Disposición compleja:** significa que la materia prima necesaria no siempre está en un estado ideal de separación de otros desechos físicos, puede encontrarse

mezclada con otros elementos propios de las actividades de demolición, cómo pueden ser restos de concreto propiamente, restos de ladrillos, maderas, metales, baldosas, entre otros. Añadiendo una etapa adicional dentro del proceso, la cual consistirá en separar manualmente los residuos, esto incrementa la labor y multiplica el tiempo y costo necesario para acceder a la materia prima, aumentando la dificultad y restando productividad al proceso constructivo de los adoquines.

**Control de la trituración:** aunque el fibrocemento es un material con una dureza menor que el agregado natural, de origen pétreo, y que su descomposición o trituración requiere de un menor esfuerzo y gasto de energía, y el uso de maquinaria no muy compleja y fácilmente adaptable, es la parte más delicada y de mayor control del proceso. Esta es la parte del proceso constructivo donde existe mayor riesgo de exposición a la peligrosidad del asbesto presente en las láminas de fibrocemento, sin embargo, bajo las medidas adecuadas de seguridad y de protección personal del operador que hará dicho proceso, asumiendo las recomendaciones de manejo y corte dadas por el fabricante de las láminas y garantizando un adecuado aislamiento de la abertura de entrada de la máquina trituradora con el uso de bolsas protectoras la exposición a las fibras de crisotilo puede verse minimizada notablemente. Es de importancia mencionar que durante el proceso de trituración la cantidad de polvo desprendido fue muy bajo, siendo atrapado por las bolsas que se emplearon en la maquinaria, además de que las láminas se sometieron a un proceso de mojado por inmersión en agua durante un día, siendo el corte de ellas en estado húmedo unas de las medidas de seguridad recomendada por el fabricante (Eternit® para este caso).

**Índice de alargamiento:** el índice de alargamiento o aplanamiento es la diferencia entre el grosor y el largo de un agregado, para las láminas de fibrocemento este puede llegar a ser elevado si no se tiene control sobre el tamaño de las partículas, por lo cual puede afectar negativamente la resistencia del concreto.

Sin embargo, y a pesar de las dificultades observadas, el material presenta otras características que brindan una mejor perspectiva para su uso como agregado artificial. Logísticamente, el material es de fácil transporte, no presenta mayores niveles de peligrosidad siempre que sean tomadas en cuenta las medidas de seguridad y protección, la contaminación de las láminas no es significativa, basta con una limpieza básica para eliminar las impurezas y elementos externos que puedan tener. Por su composición, en la que existe un gran porcentaje de cemento, se convierte en un material fácilmente asimilable por la mezcla de concreto, y bajo el mezclado y proporcionado correcto es posible encerrarlo dentro del concreto, quedando aislado completamente del medio, evitando así el retorno del problema planteado en esta investigación.

#### **7.4 ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA DEL USO DE LÁMINAS DE FIBROCEMENTO COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA DE CONCRETO PARA LA ELABORACIÓN DE ADOQUINES**

La viabilidad económica del uso de las láminas de fibrocemento como agregado para el concreto, fue determinada en los costos que el proceso de obtención, limpieza, transporte primario, trituración, almacenamiento y transporte secundario del material de fibrocemento representa para el proyecto de fabricación de adoquines en concreto. Solo se analizaron estas variables ya que los aspectos tales como el costo de los agregados naturales y el cemento y el costo del alquiler o adquisición de la maquina fabricadora de adoquines, son valores que no son afectados considerablemente por el uso o no del agregado de fibrocemento, solo podría mencionarse el ahorro respectivo al verse reducida la cantidad de agregado grueso natural necesaria para la elaboración de la mezcla.

Para realizar el análisis se determinó un escenario en el que son reutilizadas 20 láminas del tipo N. 6, las cuales, según los datos proporcionados por el fabricante<sup>12</sup> tienen las siguientes características:

Espesor: 6 mm

Largo: 1.83 m

Ancho: 1.05 m

Área: 1.9215 m<sup>2</sup>

Peso: 27.24 Kg

Peso por superficie: 14.2 Kg/m<sup>2</sup>

$$Masa\ total = 20 * 27.24\ Kg = 544.8\ Kg$$

Significa que el total de masa a transportar es de 544.8 Kg

**Costo de obtención de las láminas:** dentro del costo de obtención de la materia prima, la fracción más significativa está dada por el valor de la mano de obra para un operario en la actividad de separación en la fuente, cargue y transporte hasta el vehículo transportador. El valor del salario mínimo legal diario para la vigencia del año 2019 es de \$43,336, incluyendo los aportes de salud y pensión y todas las demás prestaciones sociales del empleado. El costo de adquisición del material propiamente dicho es nulo, al ser considerado en esta circunstancia material de reciclaje.

$$Costo\ de\ obtención = \frac{\$ 43336}{544.8\ Kg} = \$79.55/Kg$$

---

<sup>12</sup> Tejas de Fibrocemento, Eternit

[http://www.eternit.com.co/index.php?option=com\\_remository&Itemid=46&func=fileinfo&id=75](http://www.eternit.com.co/index.php?option=com_remository&Itemid=46&func=fileinfo&id=75)

**Costo del transporte:** el transporte del material se puede hacer en cualquier vehículo transportador de agregados naturales, el costo va en función del tipo y tamaño del vehículo y este a su vez va en función de la cantidad de material a reutilizar, el costo de transporte aproximado es de \$40,000 pesos.

$$\text{Costo de transporte} = \frac{\$ 40000}{544.8 \text{ Kg}} = \$73.42/\text{Kg}$$

**Costo de limpieza:** debido a su fácil limpieza, un solo operario está en capacidad de limpiar en un día de labores las 20 láminas especificadas en este escenario, el valor del salario mínimo legal diario para la vigencia del año 2019 es de \$43,336.

$$\text{Costo de limpieza} = \frac{\$ 43336}{544.8 \text{ Kg}} = \$79.55/\text{Kg}$$

Este valor es susceptible de cambios, pudiéndose ajustar hacia abajo si se incrementa la productividad del operario.

**Costo del triturado:** el costo de trituración es variable y depende de si se es propietario o no de la máquina trituradora, el número de operarios, de la cantidad a triturar y de los acuerdos que se lleven a cabo entre las partes. En el caso de esta investigación el costo fue determinado por unidad de tiempo (Horas), costando el triturado de tres láminas, previa descomposición manual en partes manejables, un total de \$30,000 pesos/hora, cabe destacar que el tiempo necesario fue mucho menor para esa cantidad y se puede estimar que para el caso de 20 láminas se emplearían 4 horas, a un ritmo de 5 láminas/hora.

$$\text{Costo de triturado} = \frac{\frac{\$30000}{\text{hora}} * 4 \text{ horas}}{544.8 \text{ Kg}} = \$220.26/\text{Kg}$$

**Costo del transporte secundario:** este es el costo del transporte del material triturado hasta el lugar donde se fabricarán los adoquines y es el mismo que para el transporte primario, este costo podría ser descartado si se realiza la trituración en el sitio de fabricación de los adoquines.

$$\text{Costo de transporte secundario} = \frac{\$ 40000}{544.8 \text{ Kg}} = \$73.42/\text{Kg}$$

**Costo total por Kilogramo de material fabricado:**

$$\text{Costo total} = (C. \text{Obtención} + C. \text{Transporte} + C. \text{Timpieza} + C. \text{Trituración})$$

$$\text{Costo total por kilogramo} = \frac{\$79.45}{\text{Kg}} + \left( \frac{\$73.42}{\text{kg}} * 2 \right) + \frac{\$79.45}{\text{Kg}} + \frac{\$220.26}{\text{Kg}}$$

$$\text{Costo total} = \$526/\text{Kg}$$

**Estimación del costo de fabricación de un adoquín:**

Para estimar el valor aproximado de la fabricación de un adoquín se necesita conocer el valor de los materiales que lo componen; cemento, arena, grava, agua, y el costo de la maquinaria y mano de obra requerida para tal efecto.

**Costo de la arena:** \$100 pesos por kilogramo, aproximadamente.

**Costo de la grava:** \$160 pesos por kilogramo, aproximadamente.

**Costo del agua y electricidad:** la empresa que brinda el servicio de acueducto en la ciudad de Valledupar es Emdupar S.A. Tiene una tarifa de \$491.12 pesos por metro cúbico de agua, \$0.49/Kg. Y la empresa que presta el servicio de electricidad es Electricaribe S.A. Tiene una tarifa de \$468.39 pesos por KW/hora. Al ser valores bajos son despreciables para el cálculo en el precio de un único adoquín (menor a

\$1 peso) pero debe ser tomado en cuenta cuando se pretende la fabricación en grandes cantidades.

**Costo del cemento:** \$20,000 pesos, bolsa por 50 Kg. Esto es \$400 pesos/Kg.

**Costo de alquiler de la máquina adoquinadora:** \$50,000 pesos cada hora, cabe destacar que en una hora es posible obtener entre 160 y 320 adoquines. Esto es entre \$156.2 y \$312.5 pesos por adoquín.

**Costo para un adoquín sin agregado de reemplazo:**

$$\text{Costo unitario} = (c. \text{ arena} * \text{cant.}) + (c. \text{ grava} * \text{cant.}) + (c. \text{ cemento} * \text{cant.}) + \text{costo alquiler unitario}$$

$$\text{Costo unitario} = \left( \frac{\$100}{\text{Kg}} * 0.8727 \text{ Kg} \right) + \left( \frac{\$160}{\text{Kg}} * 0.9319 \text{ Kg} \right) + \left( \frac{\$400}{\text{Kg}} * 0.5471 \text{ Kg} \right) + \$156.2$$

$$\text{Costo unitario} = \$611.4$$

**Costo para un adoquín con 20% de agregado de fibrocemento:**

$$\text{Costo unitario} = (c. \text{ arena} * \text{cant}) + (c. \text{ grava} * \text{cant}) + (C. \text{ Ag Fibro} * \text{cant}) + (c. \text{ cemento} * \text{cant}) + (\text{Costo alquiler unitario})$$

$$C. \text{ Unit.} = (\$ 87.27) + \left( \frac{\$160}{\text{Kg}} * 0.7455 \text{ Kg} \right) + \left( \frac{\$526}{\text{Kg}} * 0.1834 \text{ Kg} \right) + (\$ 218.84) + \$156.2$$

$$\text{Costo unitario} = \$ 678$$

$$\text{Sobrecosto adoquin al 20\%} = \$ 678 - \$ 611.4 = \$ 66.6$$

**Costo para un adoquín con 30% de agregado de fibrocemento:**

$$\text{Costo unitario} = (c. \text{ arena} * \text{cant}) + (c. \text{ grava} * \text{cant}) + (C. \text{ Ag Fibro} * \text{cant}) + (c. \text{ cemento} * \text{cant}) + (\text{Costo alquiler unitario})$$

$$C. \text{ Unit.} = (\$ 87.27) + \left( \frac{\$160}{\text{Kg}} * 0.6108 \text{ Kg} \right) + \left( \frac{\$458.8}{\text{Kg}} * 0.2795 \text{ Kg} \right) + (\$ 218.84) + \$156.2$$

$$\text{Costo unitario} = \$ 707$$

$$\text{Sobrecosto adoquin al 30\%} = \$ 707 - \$ 611.4 = \$ 95.6$$

El valor de venta en el mercado de un adoquín de estas características es de aproximadamente \$1,200 pesos la unidad. Los valores calculados para los adoquines con agregado de reemplazo de 20% y 30% arrojaron un sobrecosto de \$ 66.6 y \$ 95.6 pesos respectivamente sobre el valor de fabricación de un adoquín sin adición de agregado artificial a base de fibrocemento. Estos valores de sobrecostos representan aumentos del 10.9 % y 15.6 % respectivamente, porcentajes que pueden ser algo elevados pero que para efectos de esta investigación están acorde con el beneficio ambiental obtenido.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La totalidad de los adoquines fabricados y ensayados cumplieron con los parámetros requeridos que establece la norma NTC 2017 para adoquines en concreto, con una resistencia a la flexión mínima obtenida por la proporción de mayor concentración de agregado grueso artificial a base de fibrocemento (30% vs 70% de agregado grueso natural) de 4.0 MPa, superior a la mínima establecida en la norma mencionada (3,6 MPa). A su vez en los ensayos de resistencia a la compresión se determinó que la proporción que arrojó mejores resultados fue la de menor proporción de agregado grueso a base de fibrocemento (5%-95%), con una resistencia a los 28 días de 3183 PSI, solo 54 PSI por debajo de la resistencia a los 28 días obtenida por el concreto patrón, en ambos casos la resistencia fue superior a la de diseño.

A pesar de que la proporción que arrojó mejores resultados fue la de 5% de agregado de fibrocemento y 95% de grava natural, en el balance de la relación resistencia/proporción son más favorecidas las proporciones intermedias 10%-90% y 20%-80%, toda vez que sus valores de resistencias son óptimos y por encima de los valores requeridos para la fabricación de adoquines en base a concreto, estas son las que permiten un mayor aprovechamiento y reutilización del material sin perder demasiada resistencia, la proporción mayor (30%-70%) a pesar de cumplir también con las resistencias requeridas, es la que presenta la menor calidad de mezcla de todas las muestras analizadas, presenta adoquines con mayor porosidad e irregularidades.

La proporción que arrojó los peores resultados fue la de 30% de agregado de fibrocemento y 70% de agregado natural, con una resistencia a los 7 días de solo 1491 PSI, un 32.8% menor que la resistencia patrón, y una resistencia a los 28 días un 19% menor que la patrón, además fue la que quedó peor ubicada en términos de calidad, con una mezcla menos homogénea y consistente que las demás.

En términos de viabilidad técnica del uso del material de láminas de fibrocemento como agregado constitutivo dentro de la mezcla de un concreto para elaborar adoquines se comprobó que a pesar de las dificultades que el material en sí mismo presenta, esta puede ser una opción más de tratamiento de estos residuos, que tienen poca o nula reutilización, si se garantiza de por medio el uso y manejo adecuado y se emplean las medidas de seguridad correspondientes.

El estudio de la viabilidad económica arrojó que utilizar el agregado grueso con base en fibrocemento en la mayor proporción estudiada (30%) para la elaboración de un adoquín tiene un sobre costo aproximado de \$95.6 por unidad fabricada, esto es un 8% aproximadamente del valor comercial de un adoquín de estas características sin embargo, es un valor que puede ser reducido significativamente, ajustando algunas variables como pueden ser el lugar de trituración del material y la escala del proyecto.

La calidad de los adoquines elaborados en esta investigación permiten su uso en zonas de tránsito ligero por lo cual se recomienda en aplicaciones tales como: elaboración vías de placa huellas, vías de ingreso para fincas y canales de desagüe en áreas rurales.

## 8.1 RECOMENDACIONES

La recomendación principal de esta investigación es el uso adecuado y obligatorio de los elementos de protección personal (EPP) durante las labores más delicadas del proceso, como puede ser la trituración del material. De esto depende que la finalidad última del proyecto sea realizable sin percances y contradicciones. No se recomienda emplear una fuerte trituración del material a partículas menores de 3 mm, toda vez que lo que se quiere evitar es la emanación de polvo del mineral crisotilo, es por esto que se prefiere un tamaño de partículas de 4.7 mm en adelante, clasificadas como agregado grueso o grava.

Se recomienda una baja diferencia de tamaños entre partículas del agregado de fibrocemento y conseguir partículas con un índice de alargamiento reducido.

Se recomienda realizar ensayos a la tracción del concreto presente en los adoquines, así como también ensayos de compresión y flexión a edades mayores a 28 días para analizar el comportamiento a largo plazo del concreto de estos adoquines.

Se recomienda la fabricación de adoquines de dos capas como mayor medida de seguridad frente a los de una sola capa, con esto se consigue un mayor aislamiento del material de fibrocemento.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Asbesto. Greenpeace  
<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/asbesto1/>
- ASTM C31: Procedimientos para elaborar y curar las probetas cilíndricas y vigas, utilizando muestras representativas del hormigón fresco para la construcción de un proyecto.
- ASTM C125: Terminología relacionada con el concreto y agregados del concreto.
- ASTM C219: Terminología relacionada con el concreto y agregados del concreto.
- Exposición al Asbesto y riesgo de Cáncer, Cancer.gov  
<https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/asbesto/hoja-informativa-asbesto>
- Esfuerzo de compresión, Wikipedia.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo\\_de\\_compresi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_compresi%C3%B3n)
- INV E 213: Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- INV E402: Procedimiento para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración como se describe en la presente norma.
- INV E414-7: Procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto, por medio del uso de una viga simple cargada en los tercios de la luz.
- NILSON A. Diseño de estructuras de concreto 1999, 12° edición.

- NTC 31: Definiciones para el cemento, algunas de sus propiedades, subproductos y componentes.
- NTC 92: Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.
- NTC 121: Especificaciones de desempeño para cemento hidráulico.
- NTC 176: Métodos para determinar la densidad u absorción del agregado grueso.
- NTC 237: Métodos para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.
- NTC 321: Requisitos químicos, las condiciones de empaque y rotulado.
- NTC 2017: Adoquines de concreto para pavimentos.
- RIVERA, G. (2001). Concreto simple, Universidad del Cauca.
- RODRÍGUEZ, D., GÓMEZ J. Manual de guías de laboratorio enfocadas al control de calidad de materiales y tecnología del concreto. [En línea]. Disponible en internet:  
[http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual\\_gu%C3%ADAs\\_laboratorio\\_enfocadas\\_CC\\_materiales-tecnolog%C3%ADa\\_concreto.pdf](http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1601/1/Manual_gu%C3%ADAs_laboratorio_enfocadas_CC_materiales-tecnolog%C3%ADa_concreto.pdf)
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana.
- Tipos de Asbestos, Centro de Recursos de Mesotelioma  
<https://espanol.mesolawsuit.com/asbesto/tipos-de-asbesto/>

## 10. ANEXOS FOTOGRAFICOS



*Ilustración 10: lámina de fibrocemento en sitio.*



*Ilustración 11: determinación de la humedad de la muestra.*



*Ilustración 12: medición de los adoquines terminados*



*Ilustración 13: marcación del adoquín para ensayo de flexión*



*Ilustración 14: curado de los adoquines.*



*Ilustración 15: adoquín luego de ser ensayado a flexión.*



*Ilustración 16: máquina trituradora de piedras*



*Ilustración 17: tanda de adoquines*



*Ilustración 18: máquina fabricadora de adoquines.*



*Ilustración 19: máquina para ensayo de cilindros*



*Ilustración 20: láminas trituradas.*



*Ilustración 21: operación de la máquina adoquinadora.*



*Ilustración 22: especímenes cilíndricos.*