

# **INFLUENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS DE CONCRETO**

**SAMUEL ARANGO CORDOBA**

**COD: 200610009013**

**JHON ANDERSON ZAPATA**

**COD: 200613001013**

**ASESOR: ANA BEATRIZ ACEVEDO J. MSc, PhD.**

**UNIVERSIDAD EAFIT**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**MEDELLÍN-COLOMBIA**

**2013**



## RESUMEN

Este proyecto de grado tuvo como objetivo principal determinar las propiedades mecánicas que obtiene el concreto al adicionarle fibra de vidrio tipo AR, esto se logró mediante una serie de ensayos de resistencia a la compresión, a la tensión y módulo de elasticidad, realizando un trabajo comparativo con una mezcla de referencia, dichos ensayos fueron realizados en el laboratorio Construlab Ltda y el laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad EAFIT.

Se buscó trabajar con una mezcla de referencia la cual permitiera que al adicionarle la fibra de vidrio lograra una trabajabilidad de la mezcla aceptable, y que a la vez obtuviera valores de resistencia a la compresión, tensión y modulo elasticidad de las mezclas más comerciales en el medio de la construcción. Los porcentajes de fibra que se usó durante la fase experimental fue de 0.5%, 1%, 1.5%, 2% y 2.5% del peso total de la mezcla realizada.

También se realizó un estudio conceptual recopilando toda la información existente en cuanto a adiciones y aditivos utilizados en el concreto, estudiando específicamente la fibra de vidrio, sus propiedades y la influencia que esta tiene en el concreto.

Durante el proyecto de grado se logró concluir que la fibra de vidrio como adición a las mezclas de concreto aporta de manera positiva en cuanto a los tres parámetros estudiados adicionándole un 1% de fibra de vidrio a la mezcla, si se usa menos cantidad de fibra que la indicada no afecta en nada a ningún parámetro de los estudiados a la mezcla de referencia, pero si se usa en exceso ya empieza a afectar la mezcla en varios aspectos, principalmente en la cuestión de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y trabajabilidad, pero de cierto modo también aporta de manera positiva en tensión, por ende se buscó objetar una mezcla con porcentaje de adición de fibra de vidrio balanceada la cual aportara de manera positiva a los parámetros analizados, en cuanto a resistencia a compresión logro una ganancia casi nula del 3%, en cuanto a tensión se logró una ganancia importante del 11.66%, y en cuanto a módulo de elasticidad un aumento del 16 %, todos estos valores comparados con la mezcla de referencia.



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirnos estudiar una carrera universitaria tan importante y valiosa como es la ingeniería civil, por mantener la fe y el gran sueño de llegar a ser ingenieros.

A nuestras familias por ser incondicionales en nuestro proceso universitario de pregrado y creer en nosotros.

A las empresas Bienes y Bienes y AIA que son en las actualmente trabajamos por permitirnos continuar estudiando paralelamente al desempeño laboral y proveernos partes de los materiales.

A la Universidad EAFIT y profesores que contribuyeron a nuestro proceso formativo, en especial a aquellos que nos enseñaron a ser personas.

A la profesora Ana Beatriz Acevedo por su gran apoyo y acompañamiento durante el proceso de elaboración e investigación de este trabajo de grado.

A la empresa Ditechmo por su gran ayuda en toda la parte investigativa de la fibra de vidrio y por proveernos la fibra de vidrio para la fase experimental.

A el laboratorio Construlab por brindarnos tan buena atención y ayudarnos en toda la fase experimental.

Al Laboratorio de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad EAFIT, en especial al ingeniero Vladimir Rodríguez y al Jefe de Departamento Julián Vidal por su apoyo durante la fase experimental.



## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS	v
TABLA DE CONTENIDO	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xi
1. INTRODUCCIÓN	15
1.1 FIBRA DE VIDRIO	16
1.1.1 Tipos de fibra	16
1.2 JUSTIFICACIÓN	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo general	18
1.3.2 Objetivos específicos	18
1.4 ESQUEMA GENERAL	18
2. CONCRETO	19
2.1 CONCRETO COMÚN	19
2.1.1 Cemento	19
2.1.2 Agua	21
2.1.3 Agregado	21
2.2 CONCRETO CON ADICIONES	22
2.2.1 Concreto con partículas minerales	22
2.2.2 Concreto con fibras	25
2.3 CONCRETO CON ADITIVO	28
2.3.1 PLASTIFICANTES	29
2.3.2 SUPERPLASTIFICANTE	29
3. FIBRA DE VIDRIO	35
3.1 TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO	35
3.1.1 Vidrio E	35

---

3.1.2 Vidrio R	35
3.1.3 Vidrio D	36
3.1.4 Vidrio C	36
3.1.5 Vidrio AR	36
3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA AR	36
3.2.1 Fusión	37
3.2.2 Fibrado	37
3.2.3 Ensimado	37
3.2.4 Bobinado	38
3.2.5 Secado	38
3.2.6 Transformación final	38
3.3 INCIDENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL CONCRETO COMÚN	38
3.3.1 Según la longitud de las fibras	38
3.3.2 Según la orientación de las fibras	39
4. CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO	41
4.1 ÁGUILA (2010)	41
4.2 SÁNCHEZ Y SÁNCHEZ (1991)	41
4.3 JIMÉNEZ (2011)	41
4.4 DÍAZ (2008)	42
4.5 VILANOBA (2009)	42
4.6 MUÑOZ (2007)	42
4.6.1 Resistencia a la compresión	43
4.6.2 Resistencia a la flexotensión	44
5. PROGRAMA EXPERIMENTAL	47
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
5.2 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	48
5.3 RESULTADOS	49
5.3.1 Trabajabilidad	49
5.3.2 Resistencia a la compresión	50
5.3.3 Resistencia a la tensión	53
5.3.4 Módulo de Elasticidad	55
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	59



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 2.1. Algunas partículas minerales que se adicionan al concreto (Vilanova, 2009)	22
Figura 2.2. Cenizas volantes (Vilanova, 2009)	23
Figura 2.3. Humo de sílice (Vilanova, 2009)	24
Figura 2.4. Fibra de fique (Jiménez, 2011)	26
Figura 2.5. Fibra de acero (Mármol, 2010)	27
Figura 4.1. Trabajabilidad de concreto con adición de fibra (Muñoz, 2007)	43
Figura 4.2. Resistencia a la compresión [ $\text{kg/cm}^2$ ] (Muñoz, 2007)	44
Figura 4.3. Resistencia a la flexotensión [ $\text{Kg/cm}^2$ ] (Muñoz, 2007)	44
Figura 5.1. Asentamiento de las mezclas	50
Figura 5.2. Resistencia a la compresión para 7 y 28 días	53
Figura 5.3. Resistencia a la tensión para 7 y 28 días	54
Figura 5.4. Módulo de elasticidad	56



## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Compuestos del cemento Portland (NTC 31)	20
Tabla 2.2. Características físicas de la fibra de fique (Jiménez, 2011)	26
Tabla 2.3. Características físicas de la fibra de fique (Jimenez, 2011)	26
Tabla 2.4. Usos y consideraciones prácticas de plastificantes (Tecnología y construcción, 2006)	29
Tabla 3.1. Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio (Muñoz, 2007)	37
Tabla 4.1. Tabla mezcla de referencia para 1 m <sup>3</sup>	43
Tabla 5.1. Dosificación de la mezcla de referencia	48
Tabla 5.2. Asentamiento de las mezclas	49
Tabla 5.3. Resistencia a la compresión para 7 días	51
Tabla 5.4. Resumen de la resistencia a la compresión para 7 días	51
Tabla 5.5. . Resistencia a la compresión para 28 días	52
Tabla 5.6. Resumen de la resistencia a la compresión para 28 días	52
Tabla 5.7. Resistencia a la tensión para 7 días	54
Tabla 5.8. Resistencia a la tensión para 28 días	54
Tabla 5.9. Módulo de elasticidad a 28 días	55







## 1.INTRODUCCIÓN

El concreto, material indispensable para la ejecución de las construcciones más importantes del planeta, es considerado de gran importancia en el desarrollo de la comunidad, por ende es estudiado cautelosamente por laboratorios enfocados en los desarrollos ingenieriles de mayor alcance mundial.

En la gran mayoría de los procesos constructivos que se usan actualmente en Colombia se encuentran comprometidas mezclas de concreto, las cuales se componen generalmente de una mezcla de cemento, aire, agua y uno o más conglomerantes; los conglomerantes pueden ser de varios tipos entre los cuales se encuentra, los calcáreos, bituminosos, áridos finos o gruesos (que son las grava o arenas). Adicionalmente, el concreto puede incluir adiciones y/o aditivos dependiendo de un objetivo; entre estos existen colorantes, retardantes, fluidificantes, impermeabilizantes en el caso de los aditivos y elementos como fibras, minerales y polímeros en el caso de las adiciones. El proceso de elaboración de concreto comienza cuando el cemento se hidrata con agua, a partir de este momento es donde se inician reacciones químicas que provocan el endurecimiento de la mezcla; al final se logra un material con consistencia en forma de piedra (Mejía, 2009).

La mayoría de las investigaciones sobre el concreto han hecho énfasis en estudiar las propiedades mecánicas del material; a partir de estos estudios se ha determinado que el concreto presenta propiedades que ayudan al material a comportarse ante unos esfuerzos determinados de manera positiva y ante otros esfuerzos no presenta buenos resultados. Por ejemplo, el concreto ha demostrado comportarse de óptima manera ante esfuerzos de compresión, pero a la hora de someterlo a esfuerzos de tensión, muestra deficiencias. Durante años se han realizado proyectos investigativos enfocados a mejorar la capacidad a tensión del concreto. El aumento de la capacidad a tensión se ha obtenido al incluir elementos a las mezclas de concreto; entre estos elementos se encuentra la fibra de vidrio (Muñoz, 2007; Sánchez y Sánchez, 1991).

Entre los problemas más agravantes que comprometen la poca resistencia a la tensión del concreto se encuentra la fisuración, que son pequeñas grietas que se forman en la mezcla del concreto de manera interna o superficialmente, lo cual depende del fenómeno de la fisuración que ocurra. Adicionar porcentajes de fibras de vidrio a las mezclas de concreto puede evitar que ocurra este tipo de fenómeno.

Otra de las cualidades que se puede mejorar en las mezclas de concreto al adicionar pequeños porcentajes de fibra de vidrio es la ductilidad, característica de la cual carece el concreto común.

Mejorar el comportamiento a tensión en las mezclas de concreto con aplicación de fibra de vidrio disminuye la fisuración por retracción del concreto, fenómeno que ocurre en las mezclas debido a los cambio de temperatura del material mientras pasa de estado líquido a sólido. La disminución de la fisuración por retracción se refleja en cualidades como

durabilidad, mayor flexión y aumento de ductilidad en elementos estructurales compuestos de concreto (Susetyo, 2009).

## 1.1 FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica, este compuesto es utilizado y producido en gran cantidad por las siguientes propiedades (Muñoz, 2007):

- Es fácilmente hilable en fibras de alta resistencia.
- Es fácilmente disponible y se puede aplicar económicamente para producir plástico reforzado con vidrio utilizando una gran variedad de técnicas de fabricación de materiales compuestos.
- Cuando está embebida en una matriz plástica produce un compuesto con muy alta resistencia específica.
- Cuando está unida a varios plásticos se obtienen materiales compuestos químicamente inertes muy útiles en una gran variedad de ambientes corrosivos.

### 1.1.1 Tipos de fibra:

Existen básicamente 5 tipos de fibra vidrio, los cuales tienen las siguientes características principales (Muñoz, 2007):

- **Vidrio E:** Es el más comúnmente usado en la industria textil, como primera evolución industrial en el tema de las fibras.
- **Vidrio R:** De alto desempeño mecánico en relación a fatiga, temperatura y humedad, pedido para sectores como la aviación, espacio y armada.
- **Vidrio D:** De características dieléctricas, usado como material permeable a ondas electromagnéticas.
- **Vidrio C:** De características anticorrosivas, utilizado en capas de materiales que necesitan dicha protección.
- **Vidrio AR:** Desarrollado especialmente para reforzar el concreto, ofrece una alta resistencia para compuestos alcalinos durante el sacado, además de brindar una alta resistencia a la tensión, será este tipo de fibra la utilizada en el análisis práctico.



## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Las mezclas de concreto con adiciones de fibra de vidrio han sido usadas en el mundo occidental, pero en Colombia no se ha logrado aún un uso generalizado de este tipo de adición. En investigaciones realizadas a lo largo de la historia se ha logrado muy buenos resultados en cuanto a la mejora de las propiedades mecánicas de tensión del concreto (Muñoz, 2007; Águila, 2010; Sánchez y Sánchez, 1991).

El éxito de las investigaciones mencionadas impulsa la realización de este proyecto, en donde se desea analizar el comportamiento de mezclas de concreto con fibra de vidrio utilizando materiales locales.

Las mezclas con adiciones de fibras se componen de los mismos materiales que contiene el concreto común, con una modificación en las cantidades de finos y gruesos, y adicionándoles porcentajes de fibra en diferentes presentaciones. En estudios realizados se han investigado diferentes clases de fibras usadas para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas de concreto, entre las cuales se encuentran fibras de acero, sintéticas, de vidrio, naturales procesadas y no procesadas. El concreto reforzado con fibras se ha usado en diferentes tipos de elementos como por ejemplo en vigas, columnas, muros estructurales, pisos industriales, concretos lanzados, pasadores de pavimentos rígidos y en reparación de concretos. Otro énfasis entre los estudios de mezclas de concreto con adición de fibras es la técnica de mezcla y la colocación de la fibra, esto dependiente de la fibra adicionada (Jiménez, 2011).

En mezclas de concreto con adición de fibra de vidrio se encuentran fibras enteras que son colocadas en las mezclas de manera de costura de hilo o "vaivén", y otras donde se combina con el resto de los componentes un porcentaje determinado de fibras cortadas en unos dimensiones específicas. El segundo método es el más aplicado en la actualidad (Sánchez y Sánchez, 1991).

Actualmente en Norte-América, algunos países de Sur-América, Europa y parte occidental de Asia se usa este tipo de mezclas de concreto con adiciones de fibra de vidrio para la elaboración de prefabricados, usados en construcción de casas de 1 y 2 pisos, enchapes de edificios, morteros de piso, morteros lanzados, losas para evitar retracción del concreto, (Díaz, 2008).

Otros usos diferentes a la construcción es la elaboración de monumentos u obras artísticas elaboradas en concreto; esto se debe a que el material ofrece muy buen acabado final y permite altos módulos de elasticidad que permiten realizar diseños atrevidos de formas angulosas y esbeltas, que el concreto común no puede soportar y adicionándole fibra de vidrio es posible.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar el comportamiento mecánico de mezclas de concreto común con inclusión de fibras de vidrio.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar y analizar una mezcla de referencia.
- Definir el porcentaje de fibras que se va a incluir en cada muestra.
- Realizar mezclas con diferentes porcentajes de fibra inducido y medir la resistencia a la compresión.
- Realizar mezclas con diferentes porcentajes de fibra inducido y medir la resistencia a la tensión.
- Realizar mezclas con diferentes porcentajes de fibra inducido y medir el módulo de elasticidad.
- Comparar las mezclas con porcentaje de fibra de vidrio incluido, con la mezcla de referencia, para analizar los cambios encontrados.

## **1.4 ESQUEMA GENERAL**

El desarrollo de la investigación se expone en este informe en seis capítulos. En el segundo capítulo se muestran las características del concreto común, concreto con adiciones y concreto con aditivos. En el capítulo tres se exponen las características principales de la fibra de vidrio, tipos de fibra de vidrio e incidencia de la fibra de vidrio en el concreto común. En el capítulo cuatro se muestra el concreto con adición de fibra de vidrio. En el capítulo cinco se describe la etapa experimental del proyecto, donde se describen los ensayos realizados durante dicha fase, de igual manera se presentan los resultados obtenidos, los cuales son analizados en este mismo capítulo. Finalmente, en el capítulo seis se concluye y se hace una serie de recomendaciones.

## **2. CONCRETO**

El concreto básicamente es una mezcla de pasta y agregados, donde la pasta se compone de cemento y agua, encargándose por medio de una reacción química, de aglutinar los agregados que son arena y grava. Al mezclar la pasta con el agregado se obtiene una masa endurecida parecida a una roca, adquiriendo una alta resistencia a la compresión. El concreto es el material más utilizado en el medio de la construcción debido a sus propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y características como la durabilidad, impermeabilidad, aislante térmico, entre otras. El concreto al utilizarse junto con el acero forma el concreto reforzado (u hormigón armado), un material compuesto capaz de resistir esfuerzos de tensión y compresión.

A continuación se mencionan las características de los componentes del concreto común y cómo es posible obtener concretos con mejor desempeño al incluir adiciones y/o aditivos.

### **2.1 CONCRETO COMÚN**

El concreto común está compuesto por cemento, agua y agregados. Generalmente entre el 25% hasta el 40% lo componen el cemento, el agua y el aire que queda introducido en esta pasta; y entre el 60% hasta el 75% lo componen los agregados gruesos y finos (Jiménez, 2011).

Las principales características de los componentes del concreto común se presentan a continuación.

#### **2.1.1 Cemento**

El cemento es un material que se obtiene a partir de materias primas que son abundantes en la naturaleza, tales como la piedra caliza, arenas silíceas, esquistos y mineral de hierro, entre otros. Para poder producir el cemento es necesario un complejo proceso industrial el cual consiste en varias moliendas para alcanzar un alto grado de finura, cocción a elevadas temperaturas en hornos especiales, control estricto en todo el proceso y por último, cuidados ambientales necesarios para evitar la contaminación de las zonas adyacentes a la industria procesadora de la materia prima.

De las características más sobresalientes del cemento se destaca que al mezclarse con cierta cantidad de agua, forma una pasta aglomerante que tiene propiedades adhesivas y cohesivas. Lo anterior le permite, junto a los agregados, formar el material compuesto llamado concreto u hormigón, el cual es el material más usado en el medio de las construcciones. La función principal del cemento en dicha mezcla es otorgarle a la misma

fluidez y lubricación en estado fresco y la resistencia adecuada una vez que el concreto se encuentre en estado sólido (Abdev y Blanco, 2002).

En el mercado Colombiano existen varios tipos de cemento los cuales poseen ciertas características que los diferencian entre sí. El tipo o clase de cemento más utilizado en nuestro medio es el cemento Portland (Abdev y Blanco, 2002).

En la fabricación del cemento Portland se utiliza como materia prima la cal, la sílice, la alúmina y el óxido de hierro, los cuales son sometidos en un horno a altas temperaturas hasta alcanzar un estado de equilibrio químico en donde se forman escorias (o clinker), las cuales posteriormente se muelen obteniendo de este modo el cemento. Los principales componentes del cemento Portland se presentan en la Tabla 2.1 (Neville y Brooks, 1998).

Tabla 2.1. Compuestos del cemento Portland (NTC 31).

Compuesto	Fórmula química	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato bicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

El Clinker Portland es el componente del cemento que se presenta de manera granulada; está constituido básicamente de silicatos, aluminatos y ferroaluminatos de calcio. Éste se logra gracias a la cocción de sus componentes hasta el punto en que ocurre una fusión parcial de una mezcla proporcionada y homogenizada con los materiales indicados debidamente seleccionados (NTC 31).

El Clinker Portland con adición de sulfato de calcio es la materia prima componente del cemento Portland (NTC 31). En algunos casos se puede adicionar al cemento Portland otros productos, siempre y cuando no alteren las propiedades del cemento. La Norma Técnica Colombiana 31 (NTC 31), recomienda que en el caso de usar productos adicionales, éstos deben ser pulverizados de manera simultánea con el Clinker Portland.

El cemento Portland está compuesto en su gran mayoría por silicato bicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ) y silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ); estos dos componentes forman entre el 70% y 80% del cemento y son los encargados de aportar la resistencia. El silicato tricálcico fragua y obtiene la resistencia inicial entre las 24 horas y los 7 días, el cual genera endurecimiento y aporta la resistencia en el día siete. El silicato bicálcico obtiene su resistencia de manera más lenta, generalmente la obtiene entre los 7 y 28 días, pero puede continuar obteniendo resistencia por periodos de 12 meses. A diferencia de los silicatos el aluminato tricálcico tiene hidratación veloz y es el encargado de generar altas temperaturas en el material compuesto, pero solo contribuye a la resistencia las primeras 24 horas (Jiménez, 2011).

### 2.1.2 Agua

La función principal del agua en la mezcla es otorgarle a la misma trabajabilidad, lubricación y resistencia. Para lograr que este componente cumpla con estas funciones dentro de la mezcla la cantidad de agua debe ser calculada de la manera más exacta posible, pues al concreto no debe faltarle ni sobrarle agua, ya que las mezclas elaboradas podrían quedar muy secas y poco trabajables o muy fluidas y altamente segregables. Debido a esto es que la cantidad de agua y de los demás componentes del concreto, se calcula a través del diseño de mezcla inicial.

El agua influye de manera notoria en la resistencia de las mezclas de concreto: a mayor agua menor es la resistencia obtenida. Por lo anterior, en los casos en que se requiere mezclas con alta trabajabilidad es conveniente adicionar aditivos plastificantes o superplastificantes que dan trabajabilidad a la mezcla sin necesidad de aumentar la cantidad de agua. La cantidad de agua introducida en la mezcla generalmente se mide con la relación agua-cemento, la cual es la cantidad de agua requerida por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese mismo volumen, para lograr producir una pasta lo suficientemente hidratada, que obtenga una fluidez que permita la lubricación adecuada de los agregados de la mezcla cuando ésta se encuentra aún en un estado plástico y obtenga la resistencia deseada en estado sólido (Jimenez, 2011).

No sobra hacer la recomendación que el agua usada en la mezcla debe ser de uso potable, por lo tanto, si se usa agua no potable o contaminada esta podría alterar los resultados finales de la mezcla elaborada. Al igual que el agua no potable tampoco es recomendable usar agua proveniente del mar sin hacerle un tratamiento previo, esto se debe a que su salinidad altera la resistencia del concreto y corroe el acero de refuerzo.

Por tales motivos es muy importante realizar estudios de la calidad del agua que se va usar en una mezcla para evitar posibles retrasos y pérdidas monetarias y de tiempo en los proyectos realizados (Abdev y Blanco, 2002).

### 2.1.3 Agregado

El agregado es otro componente procedente de origen natural: consta de fragmentos o granos pétreos que provienen de rocas. El agregado se puede clasificar en dos tipos según el tamaño de los granos que lo componen, agregado grueso y agregado fino (Abdev y Blanco, 2002).

Las arenas o agregados finos pueden ser naturales o manufacturadas; el tamaño de éstas puede ser un máximo de 4.76 mm. Los agregados gruesos son las partículas más grandes, de un tamaño mayor a 4.76mm Los agregados gruesos deben tener una proporción entre los más pequeños, intermedios y grandes, para obtener una granulometría muy buena (Jiménez, 2011).

Los agregados finos y gruesos constituyen aproximadamente entre el 60% al 75% del volumen total del concreto. La resistencia mecánica de éstos debe ser la adecuada, los componentes no deben contener materiales que puedan causar deterioro del concreto (Jiménez, 2011).

Por ende la calidad del agregado es muy importante, pues cumple ciertas funciones dentro de la mezcla. Estas funciones, entre otras, son la reducción de costos y aporte de resistencia a la mezcla. Para garantizar su calidad, es necesario hacerle al agregado una serie de estudios normativos como son la granulometría, peso específico, absorción, partículas en suspensión, entre otros. Estos ensayos de laboratorio son muy importantes para poder clasificar el material dependiendo sus características y así mismo poder realizar y diseñar una buena mezcla de referencia, ya que para ésta poder garantizar un buen diseño y obtener buenos resultados es sumamente importante saber con qué tipo y que características tienen los agregados que la componen (Abdev y Blanco,2002).

## 2.2 CONCRETO CON ADICIONES

Para el mejoramiento de las propiedades del concreto se han adelantado varias investigaciones, que incluyen en la mezcla de concreto común otros materiales en forma de partículas, fibras, granos y pequeños trozos (Muñoz, 2007). Son muchos los materiales utilizados para mejorar las propiedades del concreto común tales como partículas minerales (cenizas volantes, humo de sílice y puzolanas) y fibras (de carbono, acero, polímeros, fique, entre otras).

### 2.2.1 Concreto con partículas minerales

Las partículas minerales adicionadas al concreto por lo general son materiales inorgánicos que divididos generan mejoramiento en las propiedades o características del concreto. Las partículas pueden ser cenizas volantes, humo de sílice, puzolanas, entre otras. La figura 2.1 presenta las partículas minerales más usadas en el concreto, como cenizas volantes, bentonita, humo de sílice, cal, puzolanas, entre otras (Vilanova, 2009).



Figura 2.1. Algunas partículas minerales que se adicionan al concreto (Vilanova, 2009).

## Cenizas Volantes

Las cenizas volantes son residuos sólidos recogidos a partir de polvos producidos por gases de combustión. Al incluirlos en el concreto mejoran la impermeabilidad y la trabajabilidad, disminuyen la resistencia inicial y aumentan la resistencia final.

Son un polvo fino como lo muestra la figura 2.2, constituido por partículas esféricas pequeñas: los diámetros de estas partículas oscilan entre 1 y 150 micras, siendo más comunes las cenizas con diámetros menores a 20 micras, constituidas principalmente por dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) reactivo y trióxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), más conocido como dióxido de silicio.

Existen dos tipos de cenizas volantes que pueden utilizarse con el concreto, se conocen simplemente como: cenizas clase F, que es la más general y la cual proviene del residuo quemado del carbón bituminoso y clase C, que proviene del residuo quemado el carbón sub-bituminoso.

Debido a la forma esférica de sus partículas, las cenizas volantes también reducen el calor de hidratación y mejoran la durabilidad del hormigón, aunque pueden retrasar el desarrollo de las resistencias iniciales, lo cual puede llevar a la utilización de aditivos acelerantes para compensar ese efecto. Es importante saber que si se utiliza con elevados porcentajes de residuo no quemado puede generar manchas negras en el acabado del hormigón (Vilanova, 2009).



Figura 2.2. Cenizas volantes (Vilanova, 2009).

## Humo de sílice

El humo de sílice es un subproducto que se recoge de los hornos eléctricos que producen silicio y ferro silicio a partir del cuarzo. Su uso en el concreto aumenta la resistencia ya que 1 kg de humo de sílice equivale de 3 a 5 kg de cemento; también protege el acero de

refuerzo ya que reduce el PH del concreto en ambientes de alta carbonatación (Águila, 2010).

Al igual que las cenizas volantes, el humo de sílice está compuesto por partículas esféricas pequeñas de diámetros promedio menores a 0.5 micras, tal como lo muestra la figura 2.3, formadas principalmente por sílice muy reactiva que al utilizarse como adición en la mezcla de hormigón actúa proporcionándole al hormigón altas resistencias y una gran durabilidad. Las características del humo de sílice hacen que las mezclas de hormigón requieran grandes cantidades de agua, por lo que el uso de superplastificantes, que son reductores de agua de alto rango, es imprescindible.

Una vez el humo de sílice entra en proceso de hidratación genera una matriz muy densa: entre 100000 y 50000 micro esferas por cada grano de cemento.

El humo de sílice tiene la posibilidad de ser utilizado de dos formas: formar parte de la mezcla de concreto como adición a la matriz o ser combinado con el cemento debido al tamaño tan pequeño de sus partículas. Generalmente se recomienda usarse entre el 3% y el 10% del contenido de cemento en ambos casos o formas de uso (Vilanova, 2009).

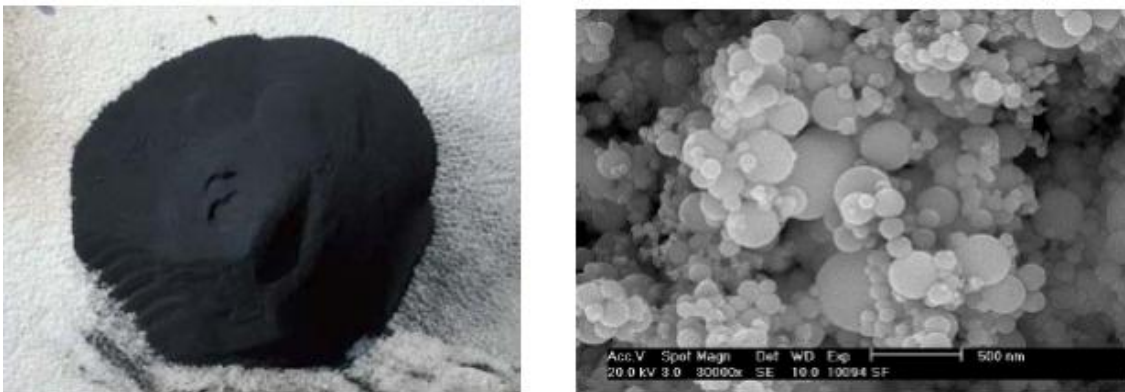


Figura 2.3. Humo de sílice ( Vilanova, 2009).

## Puzolanas

El término Puzolana originalmente se refiere a las cenizas de origen volcánico o sedimentario que se adicionan al concreto, pero comúnmente se refiere a todos los materiales inorgánicos –naturales o artificiales– que pueden mezclarse con la cal a temperatura ambiente para formar compuestos similares a los que se originan en la hidratación del cemento Portland (Soriano, 2007).

Las puzolanas en el concreto mejoran la resistencia a la compresión del concreto además de brindarle una protección ante los agentes químicos agresivos, las puzolanas deben estar compuestas principalmente por  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  reactivas.



Además de un alto contenido de sílice, sus características son alta superficie específica y estructura amorfa; sus partículas son esféricas y sus diámetro medio esta alrededor de una micra. Se presenta en el mercado de varias formas: seco densificado, en polvo o suspendido en agua (Soriano, 2007).

### **2.2.2 Concreto con fibras**

Las fibras que se incluyen en el concreto son materiales fibrosos o poliméricos que se adicionan a la mezcla de concreto común, aportando a ésta propiedades mecánicas y que influyen en sus características principales (Águila, 2010). Entre las fibras más comúnmente utilizadas están las fibras de carbono, fibras de fique, fibras de vidrio y fibras de acero.

#### **Fibras de carbono**

La fibra de carbono es un compuesto no metálico de tipo polimérico, cuya materia prima es el PAN (poliacrilonitrilo). Para su fabricación está acompañada de un dispersante (resina por lo general). Una vez está conformada la fibra, tiene altas propiedades mecánicas y muy baja densidad.

Para la fabricación de la fibra de carbono se necesitan varias etapas: polimerización, hilado, oxidación, carbonización y tratamiento superficial, lo cual incide en un elevado costo.

Las altas propiedades mecánicas que presentan las fibras de carbono se deben en gran parte al alto grado de orientación de los cristales a lo largo del eje de las fibras, dividiéndose en dos, las de alto módulo de elasticidad y las de bajo módulo de elasticidad.

La fibra de carbono, debido a su pequeño diámetro y a su alto rango elástico, proporciona al concreto un incremento en las propiedades mecánicas como resistencia a la tensión y resistencia a la flexión, todo esto con una baja densidad pero con un alto costo para la producción de estas fibras, debido a lo complejo que son los procesos anteriormente mencionados (Águila, 2010).

#### **Fibras de fique**

El fique es una planta nativa del trópico americano, inicialmente hallada en Colombia y Venezuela, luego expandida hacia las Antillas y oriente de Brasil. De las hojas de esta planta se extrae fibra textil conocida como fique.

Las hojas de fique están compuestas por filamentos, que a su vez están compuestos por fibrillas que están unidas entre sí por una goma. Estas fibrillas se unen y entrelazan en los extremos formando la fibra de fique, como se muestra en la figura 2.4 (Jiménez, 2011).



Figura 2.4. Fibra de fique (Jiménez, 2011).

Las tablas 2.2 y 2.3 presentan las características físicas y propiedades físicas de la fibra de fique.

Tabla 2.2. Características físicas de la fibra de fique (Jiménez, 2011).

ATRIBUTOS	OBSERVACIONES
Longitud	80 a 120 cm
Color	Habano
Brillo	Opaco
Textura	Dura
Absorción al calor	Superficial
Absorción a la humedad	Mala
Punto de fusión	No se funde
Efectos ante los álcalis	Resistente
Efectos antes los ácidos	Mala
Resistencia a la luz solar	Regular
Efectos de los oxidantes	Variable
Elongación	3.50%
Resistencia (100 g de fibras)	26 kg

Tabla 2.3. Características físicas de la fibra de fique (Jimenez, 2011).

Propiedad	Promedio	Mínimo	Máximo
Resistencia a la tensión (MPa)	305.15	200.00	625.20
Módulo de Elasticidad (GPa)	7.52	5.50	25.50
Porcentaje de elongación a la fractura (%)	4.96	3.20	5.70

## Fibras de acero

Las fibras de acero son elementos de pequeña relación longitud - diámetro, diseñadas para mezclarse lo mejor posible con la mezcla de concreto, y de este modo proporcionar al concreto propiedades diferentes a las de una mezcla común. Dichas propiedades están relacionadas con el aumento de la resistencia a la tensión, manejabilidad o trabajabilidad una vez estén incluidas en la mezcla y un aumento del módulo de elasticidad de la mezcla con la fibra adicionada.

Las fibras de acero presentan una reducción en fisuración por retracción, alta resistencia al fuego, a la abrasión y protección al elemento de concreto ante impactos, entre otras propiedades.

Las fibras de acero pueden estar hechas de acero al carbono o acero inoxidable, también se encuentran en el mercado con revestimientos de zinc o galvanizadas, siendo estas últimas menos costosas, además presentan resistencia a la corrosión.

Estas fibras se clasifican en alambres estirados en frío, láminas cortadas, extractos fundidos, conformados en frío y acerrados en bloques de acero. Además de estos grupos de clasificación se pueden encontrar de varias formas: rectas, onduladas, corrugas, conformadas en las puntas, dentadas, entre otras como lo muestra la figura 2.5.

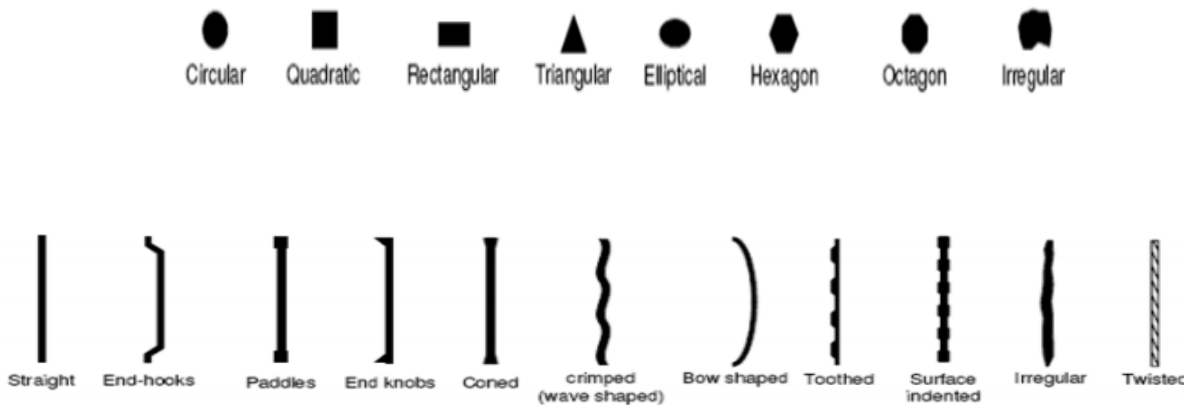


Figura 2.5. Fibra de acero (Mármol, 2010).

## **Fibras de vidrio**

La fibra de vidrio nace desde la industria textil como solución a algunos problemas que presenta el concreto al ser sometido a tensión, a flexión o cuando la retracción ocasiona fisuras, además de problemas relacionados con la impermeabilidad y ataques químicos.

La fibra de vidrio incluye dentro de sus propiedades baja densidad, funciona muy bien como material dieléctrico, de alto desempeño mecánico en relación a fatiga, temperatura y humedad, con propiedades anticorrosivas, todo esto dependiendo de sus presentaciones y grupos de uso.

La fibra de vidrio es el tema central de esta investigación, es por esta razón que en el siguiente capítulo se describirá y se hará una exploración más amplia sobre la fibra de vidrio y sus propiedades para reforzar el concreto.

## **2.3 CONCRETO CON ADITIVO**

Los aditivos son químicos que se agregan al concreto en la etapa de mezclado para modificar algunas de las propiedades de la mezcla. Los aditivos no deben ser considerados como un sustituto de un buen diseño de mezcla, de buena mano de obra o del uso de buenos materiales (Tecnología y construcción, 2006).

Entre las razones más comunes para usar aditivos en el concreto se encuentran:

- Incrementar la trabajabilidad, sin modificar el contenido de agua de la mezcla.
- Reducir el contenido de agua, sin cambiar la trabajabilidad.
- Así mismo, efectuar una combinación de lo anterior.
- Ajustar el tiempo de fraguado, tanto para retardarlo como para acelerarlo.
- Reducir la segregación
- Mejorar la bombeabilidad.
- Acelerar el desarrollo de la resistencia a edades tempranas.
- Incrementar la resistencia.
- Mejorar la durabilidad y reducir la permeabilidad.
- Disminuir el costo total de los materiales usados en el concreto.
- Compensar las pobres propiedades del agregado.

Los principales tipos de aditivos usados en la construcción se pueden clasificar en categorías de acuerdo con su efecto en plastificantes, superplastificantes, inclusores de aire, acelerantes y retardantes (Tecnología y construcción, 2006).

### 2.3.1 PLASTIFICANTES

Cuando se agregan a una mezcla de concreto, los plastificantes (agentes reductores de agua) son absorbidos en la superficie de las partículas de los aglomerantes, haciendo que se repelan entre sí, lo cual da como resultado una mejora en la trabajabilidad y proporciona una distribución más uniforme de las partículas del aglomerante a través de la mezcla.

Los principales tipos de plastificantes son los ácidos lignosulfónicos y sus sales, los ácidos carboxílico hidroxilados y sus sales, y modificaciones de ambos (Tecnología y construcción, 2006).

La tabla 2.4 presenta los principales usos y consideración prácticas de plastificantes.

Tabla 2.4. Usos y consideraciones prácticas de plastificantes (Tecnología y construcción, 2006).

PLASTIFICANTES	
USOS	CONSIDERACIONES PRACTICAS
Incrementan la manejabilidad del concreto con un contenido de agua dado	Algunos plastificantes contienen un retardador y pueden causar problemas si se aplican en dosis mayores.
Pueden reducir el requisito de agua de una mezcla de concreto para una trabajabilidad en aproximadamente 10%.	Algunos plastificantes contienen cloruros que pueden incrementar el peligro de corrosión del acero de refuerzo.
La adición de un plastificante a la mezcla posibilita alcanzar una resistencia dada con un menor contenido de cemento.	Cuando se usa el plastificante para aumentar la trabajabilidad, hay una relación directamente proporcional con respecto a la contracción y fluencia.
Pueden mejorar la bombeabilidad	

### 2.3.2 SUPERPLASTIFICANTE

Los superplastificantes son aditivos químicamente distintos de los plastificantes normales y aunque su acción es casi la misma, es más notable. Generalmente los superplastificantes son compuestos químicos como formaldehído de melamina sulfonatada, formaldehído-naftaleno sulfonatado y lignosulfonatos modificados.

La tabla 2.5 presenta los usos y consideraciones prácticas generales de superplastificantes.

Tabla 2.5 Usos y consideraciones prácticas de superplastificantes (Tecnología y construcción, 2006).

<b>SUPERPLASTIFICANTES</b>	
<b>USOS</b>	<b>CONSIDERACIONES PRACTICAS</b>
En elementos de concreto donde se encuentren áreas de refuerzo congestionado	Cuando se usan para producir concreto fluido puede esperarse una pérdida rápida de trabajabilidad y, por tanto, éstos deben ser agregados justo antes de la colocación
En donde una consistencia autonivelante facilita la colocación	Deben diseñarse mezclas especiales para los superplastificantes y su uso debe ser cuidadosamente controlado.
	El efecto de un superplastificante puede desaparecer tan rápido como en 30 minutos después del mezclado.
Para concreto de alta resistencia, disminuyendo la relación agua/cemento como resultado de reducir el contenido de agua en 15-25%.	Los superplastificantes tienen un costo unitario relativamente alto
	Al igual que en el plastificante, cuando se usan para aumentar la trabajabilidad hay una relación directamente proporcional con respecto a la contracción y fluencia

### 2.3.3 INCLUSORES DE AIRE

Un agente inclusor de aire es aquel que introduce aire en forma de pequeñas burbujas distribuidas de modo uniforme a través de toda la pasta de cemento, llevando a mejorar la impermeabilidad del concreto.

Los tipos de inclusores de aire más usados contienen sales de resinas de madera, grasas y aceites animales y vegetales, e hidrocarburos sulfonados.

La tabla 2.6 muestra los principales usos y consideraciones prácticas de los inclusores de aire:

Tabla 2.6. Usos y consideraciones prácticas de inclusores de aire (Tecnología y construcción, 2006).

INCLUSORES DE AIRE	
USOS	CONSIDERACIONES PRACTICAS
En donde se requiera una resistencia mejorada del concreto endurecido contra los daños causados por congelación y deshielo.	La inclusión de aire puede reducir la resistencia del concreto y la sobredosis puede causar una pérdida importante de la resistencia.
	Generalmente un 1% de aditivo inclusor de aire puede causar una pérdida de resistencia de 5%. Por lo tanto, es importante que las mezclas sean especialmente diseñadas para la inclusión de aire y que el porcentaje de aire incluido durante la construcción sea debidamente controlado.
Para una trabajabilidad mejorada, en especial, en mezclas gruesas o pobres	Puesto que las dosis son pequeñas, se requiere de despachadores especiales y un control muy exacto.
	Diferentes tipos y fuentes de cemento pueden dar como resultado la introducción de otras cantidades de aire para la misma dosis y proporciones de la mezcla.
Para reducir la segregación, sobre todo cuando una mezcla tiene un déficit de finos	Un cambio en el contenido del cemento, granulometría o en las proporciones de las fracciones de finos de arena normalmente alterará el volumen de aire incluido.
	La cantidad de aire incluido puede depender de la fuente y granulometría de la arena en el concreto.
Para evitar la permeabilidad del concreto, generalmente en losas de cubiertas	Las mezcladoras de acción forzada transportan volúmenes más grandes de aire que otros tipos.
	El incremento de la temperatura ambiente tiende a reducir el volumen de aire incluido

### 2.3.4 ACELERANTES

Los acelerantes tienen como función principal hacer que se acelere la reacción química del cemento y el agua, y, de este modo, acelerar la tasa de fraguado y a la vez la ganancia temprana en la resistencia del concreto.

Entre los tipos principales de acelerantes están el cloruro de calcio, el formiato de calcio, ceniza de sosa, cloruro de potasio y varios materiales orgánicos. El cloruro de calcio parece ser el único predecible, de modo razonable, en su desempeño, pero tiende a promover la corrosión del acero en el concreto.

Los aceleradores de concreto lanzado reaccionan casi instantáneamente, causando rigidez, fraguado rápido y endurecimiento rápido del concreto lanzado.

A continuación se puede ver los principales usos y consideraciones prácticas de acelerantes:

Tabla 2.7. Usos y consideraciones prácticas de acelerantes (Tecnología y construcción, 2006).

<b>ACELERANTES</b>	
<b>USOS</b>	<b>CONSIDERACIONES PRACTICAS</b>
Cuando se requiere de fraguado rápido y altas resistencias tempranas (por ejemplo, en la profundización de pozos).	Ciertos acelerantes pueden incrementar la contracción por secado, el agrietamiento y la fluencia.
	Pueden causar menores resistencias a flexión.
Cuando se requiere la reutilización rápida de moldes o de cimbras.	Muchos acelerantes en base de cloruros promueven la corrosión del acero de refuerzo.
	El cloruro de calcio no debe usarse en concreto reforzado, estructuras para retener agua, concreto preesforzado, concreto curado a vapor.
Cuando el colado del concreto tenga lugar bajo condiciones muy frías. Consideraciones prácticas	La sobredosis con estos materiales puede causar un retraso marcado.
	Los aceleradores trabajan más efectivamente a bajas temperaturas ambientales

### 2.3.5 RETARDANTES

La función de los retardantes como aditivos es disminuir la velocidad de la reacción química del cemento y el agua conduciendo a tiempos más largos de fraguado y ganancia de resistencia iniciales más lentas.

Los retardadores más comunes son los ácidos carboxílicos hidroxilados, bórax, lignina, azúcar y algunos fosfatos.

En la tabla 2.8 se puede observar los principales usos y consideraciones prácticas de los retardantes en el concreto.



Tabla 2.8. Usos y consideraciones prácticas de retardantes (Tecnología y construcción, 2006).

<b>RETARDANTES</b>	
<b>USOS</b>	<b>CONSIDERACIONES PRACTICAS</b>
Para evitar juntas frías debido a la duración de la colocación.	Los retardantes con frecuencia incrementan la contracción plástica y el agrietamiento por asentamiento plástico.
Cuando el concreto debe transportarse durante un largo tiempo	



### **3.FIBRA DE VIDRIO**

Como se mencionó anteriormente, la fibra de vidrio es un material compuesto de baja densidad consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebida en una matriz plástica (Muñoz, 2007). Estas fibras se utilizan en el concreto para disminuir la fisuración por retracción y mejorar características como su capacidad a tensión y ductilidad.

Al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza con pequeños agujeros llamada *spinnerette* se obtiene la fibra de vidrio como material fibroso, que luego de solidificarse tiene la flexibilidad para ser usado como fibra.

La fibra de vidrio tiene como propiedades un buen aislamiento térmico, inmunidad a ácidos, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la flexión y a la tensión. Adicionalmente, sus materias primas y fabricación son de bajo costo (Águila, 2010).

La fibra de vidrio es fácilmente hilable en fibras de alta resistencia y cuando es embebida en una matriz plástica adquiere una alta resistencia específica.

A continuación se describen brevemente los diferentes tipos de fibras de vidrio, las propiedades mecánicas del tipo de fibra AR (tipo usado en esta investigación) y cómo influye la fibra de vidrio en el comportamiento del concreto común.

#### **3.1 TIPOS DE FIBRA DE VIDRIO**

La fibra de vidrio se divide en cinco tipos: E, R, D, C y AR.

##### **3.1.1 Vidrio E**

Este tipo fibra es el más comúnmente usado desde principios del siglo XX. Su investigación es debida a sus propiedades dieléctricas, su bajo costo, la buena impermeabilización que se adquiere cuando se mezcla en matrices cementantes y su baja densidad. La fibra de tipo E, Inicialmente se usó sólo en barnices o resinas sintéticas, para efectos de la industria textil (Muñoz 2007).

##### **3.1.2 Vidrio R**

La fibra de vidrio tipo R fue creada para satisfacer algunas necesidades de la aeronáutica, exigiéndole a la fibra de vidrio propiedades mecánicas más altas, relacionadas con la fatiga, la humedad y las altas temperaturas. Encontró sus mayores utilidades en la fabricación de pisos para aviones debido a su baja densidad, recubrimiento de rotores de alta resistencia, tanques de combustible por su alta impermeabilidad y alta resistencia, etc. Expandiéndose así, a otros sectores de la industria del entretenimiento, deportes, recreación, entre otras (Muñoz 2007).

### 3.1.3 Vidrio D

Las fibras de vidrio tipo D presentan unas características dieléctricas superiores, diseñadas para tener cierta permeabilidad ante ondas electromagnéticas, presenta pocas pérdidas eléctricas. Son muy usadas para la fabricación de ventanas electromagnéticas y tarjetas de circuitos impresos eléctricos (Muñoz 2007).

### 3.1.4 Vidrio C

Las fibras de vidrio tipo C tienen como uso el recubrimiento de materiales que se ven afectados por la corrosión. Este tipo de fibra se presenta en el mercado como “mats” o mantas, en rollos de varios calibres y espesores; por lo general se utilizan para el recubrimiento de tuberías (Muñoz 2007).

### 3.1.5 Vidrio AR

Este tipo de fibra fue desarrollado especialmente para reforzar el concreto debido al alto contenido de óxido de zirconio, el cual ofrece una resistencia contra los compuestos alcalinos que se forman con el secado del concreto, mejorando la resistencia a tensión del concreto, sus propiedades impermeables y reduciendo la retracción en el fraguado. Usado para modulaciones ligeras, paneles de piso y recubrimientos (Muñoz 2007). La fibra de vidrio tipo AR es la utilizada en esta investigación.

## 3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA AR

La baja resistencia a tensión del concreto, luego de posicionarse como uno de los elementos más importantes de la construcción en todo el mundo, ha sido la problemática a resolver por numerosos estudios e investigaciones. Esta carencia ha sido el camino de investigación de la ciencia de los materiales compuestos, a través de muchos años. Una de las más conocidas soluciones es la de reforzar el concreto con barras de acero en las zonas de tensión, conociéndose como concreto reforzado; éste proporciona inconvenientes, aumentando las secciones y el peso de los elementos, incrementando los tiempos de construcción debido al armado del acero e incrementando también la mano de obra y así el costo total de los elementos.

Una posible solución a estos problemas llegó con la inclusión de fibras a la mezcla del concreto, que en primera instancia se dio con fibras de asbesto, llamando la mezcla asbesto-cemento, brindando un incremento en las propiedades mecánicas y un aligeramiento de los elementos (Muñoz 2007).

Luego de que la búsqueda pasara por numerosos materiales, tanto orgánicos como inorgánicos, como asbesto, carbono, nylon, entre muchos otros, fue el vidrio quien presentó la mejor relación costo beneficio para su utilización. Varios intentos sobre la fibra de vidrio tipo E fracasaron al ser la fibra atacada por agentes alcalinos luego de ser incluidas a la mezcla de concreto y principalmente a morteros, lo que llevó a incrementar los estudios e investigaciones para encontrar esa fibra de vidrio resistente a estos agentes, como lo fue la fibra de vidrio tipo AR.

La fibra de vidrio tipo AR llega luego de que en 1967 el doctor A.J. Majundar, del *Building Research Establishment* del Reino Unido, comenzara a estudiar los vidrios con contenido de zirconio, hasta que logró incluir este tipo de vidrio en la fabricación de las fibras obteniendo excelentes resultados en los ambientes extremos que propician los cementos por sus agentes alcalinos (Muñoz, 2007). La tabla 3.1 presenta las propiedades mecánicas más representativas de la fibra de vidrio tipo E y tipo AR, tipos de fibra comúnmente usadas como adiciones para reforzar el concreto.

Tabla 3.1. Propiedades mecánicas de la fibra de vidrio (Muñoz, 2007).

	Vidrio E	Vidrio D	Vidrio R	Vidrio AR
<b>Densidad</b>	2.6	2.14	2.56	2.68
<b>Resistencia a la tensión (MPa)</b>	3400	2500	4400	3000
<b>Módulo elástico (MPa)</b>	72	55	86	72
<b>Resistencia a la ruptura (%)</b>	4.5	4.5	5.2	4.3

La fibra de vidrio pasa por las siguientes etapas para su fabricación y producción (Aguila, 2010):

### 3.2.1 Fusión

Primero se muelen y se mezclan las materias primas, que son arena, carbonato de sodio, piedra caliza y cristal reciclado; esta mezcla se llama *vitrificante* y es introducida en un horno a una temperatura alrededor de 1550°C.

### 3.2.2 Fibrado

Al salir por el horno el vidrio queda en estado líquido, es allí donde se hace pasar por los agujeros un elemento hecho de aleaciones de platino llamado hilera, que le dan la forma de fibra. La fibra se mantiene en la hilera a unos 1250°C, hasta que la gravedad hace que la fibra pase a diámetros menores del milímetro. Luego de estar *fibrado* se produce un rápido enfriamiento del vidrio por radiación y por pulverización de agua fría, como resultado se obtienen filamentos con diámetros entre 14 micras y 20 micras, dependiendo de la orientación de las fibras y del requerimiento de éstas.

### 3.2.3 Ensimado

Luego del proceso de fibrado no existe una cohesión entre los filamentos desnudos al salir de la hilera, lo que no permite que trabajen unidas con flexibilidad, ni le permite ser resistente a la abrasión, como tampoco a agentes químicos. Para corregir los problemas anteriores y agregar las propiedades mecánicas requeridas, es necesario agregar a los filamentos desnudos un revestimiento de un material compuesto por agentes químicos llamado *Ensimaje*, el cual se aplica a los filamentos al salir de la hilera a una temperatura entre los 60°C y los 120°C, en cantidades entre el 0.5% y el 5% para su aplicación.

Luego de este ensimaje se unen los filamentos convirtiéndose en fibras de presentación comercial mediante unos peines con gargantas especiales. Este proceso fuera de unir los filamentos, proporciona a la fibra resistencia contra la abrasión, elimina las cargas electrostáticas de la unión de los filamentos, facilita la trabajabilidad de los filamentos y rigidiza la fibra.

### **3.2.4 Bobinado**

Este proceso consiste simplemente en estirar la fibra controlando la velocidad de la bobinadora, bobinando la fibra y acumulándola para su disposición comercial.

### **3.2.5 Secado**

Luego del bobinado, la fibra pasa por diferentes tipos de secado para retirar el exceso de agua, lo que conlleva a terminar el proceso de ensimaje al aplicarle un tratamiento térmico necesario para obtener sus propiedades y características.

### **3.2.6 Transformación final**

En este proceso se realizan las operaciones necesarias para dejar la fibra en el formato adecuado para su etapa comercial, según sus especificaciones y lista para ser usada en concretos y morteros.

## **3.3 INCIDENCIA DE LA FIBRA DE VIDRIO EN EL CONCRETO COMÚN**

Las propiedades mecánicas de una mezcla compuesta de concreto obedecen a varias características diferentes a las propias características de las fibras, como la longitud de la fibra y su orientación.

### **3.3.1 Según la longitud de las fibras**

Cuando el elemento es sometido a un esfuerzo, la fibra y la matriz de concreto reaccionan con una deformación, es allí donde la longitud juega un papel importante a la hora de evaluar la transmisión de las cargas entre matriz y fibra. Existe una longitud crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del elemento, la cual depende del diámetro de la fibra, de la resistencia a la tensión y de la resistencia en la unión fibra-matriz (Muñoz, 2007), como se observa en la ecuación 3.1.

$$L_c = \frac{\sigma_f * d}{T_c} \quad (3.1)$$

Lo más común en fibra de vidrio es que esta longitud crítica sea del orden de 1 mm, lo que representa entre 20 y 150 veces el diámetro.

Las fibras con longitudes mayores a 15 veces la longitud crítica se llaman fibras continuas, y las fibras con menor longitud que la crítica se llaman fibras cortas o discontinuas (Muñoz, 2007).

### 3.3.2 Según la orientación de las fibras

Para la orientación de las fibras existen dos situaciones extremas: para las fibras continuas se genera una orientación de alineación paralela de los ejes de las fibras, mientras que para las fibras cortas se puede dar un alineamiento al azar o alinearse parcialmente (Muñoz, 2007).

Normalmente se usan fibras discontinuas y orientadas a azar para reforzar el concreto, logrando un módulo de elasticidad compuesto, según la ecuación 3.2.:

$$E_c = (K * E_f * V_f) + (E_m * V_m) \quad (3.2)$$

Donde  $K$  es el coeficiente de eficiencia de la fibra (entre 0.1 y 0.6),  $E$  es el módulo elástico y  $V$  es volumen. Los subíndices  $f$  y  $m$  corresponden a fibra de vidrio y matriz, respectivamente.

El módulo elástico de este compuesto es directamente proporcional al volumen de la fibra.

Se sabe que el estado fibroso en pequeños diámetros de un material posee características de alta resistencia, comparado con el material macizo. Debido a sus diámetros y características las fibras se dividen en tres: los whiskers, las fibras y los alambres. Los whiskers son mono cristales que debido a su pequeño diámetro no presentan defectos y poseen una altísima resistencia, los alambres de mayor diámetro se ven aplicados en materiales poliméricos y el acero.





## **4. CONCRETO CON FIBRA DE VIDRIO**

Esta investigación está enfocada en identificar y apreciar el comportamiento de algunas propiedades de mezclas de concreto común comparadas con mezclas de concreto con fibra de vidrio, a partir de materiales utilizados en Colombia.

Dichas propiedades como la resistencia a la tensión, fisuración debido a la retracción, permeabilidad, entre otras, han generado una serie de investigaciones interdisciplinarias buscando subsanar tales deficiencias. En esta investigación se partió de resultados de investigaciones previas, tales como: Muñoz (2011), Águila (2010), Sánchez y Sánchez (1991), Jiménez (2011), Díaz (2008), Abdev y Blanco (2002), Vilanoba (2009), y Soriano (2007). A continuación se describen brevemente los temas tratados por dichos autores, pero ilustrando especialmente en este capítulo los resultados obtenidos por el trabajo de Muñoz (2011), al coincidir con los tipos de prueba de este proyecto y coincidir también en las dosificaciones usadas.

### **4.1 ÁGUILA (2010)**

Esta investigación tuvo como objetivo estudiar la aplicación de fibras de vidrio, carbono y aramida sobre estructuras de concreto, con el fin de caracterizar las propiedades de las fibras desde su fabricación y componentes, hasta la influencia que presentan en el concreto. En la parte práctica se realizaron ensayos de tensión, compresión y flexotensión, todo esto en concretos de alta resistencia. Este estudio encontró que para incrementar la resistencia a la tensión del concreto, el tipo de fibra de vidrio AR es el más efectivo, después de hacer las pruebas también con el tipo E y tipo CE.

### **4.2 SÁNCHEZ Y SÁNCHEZ (1991)**

Se llevó a cabo un amplio programa experimental con el fin de predecir el comportamiento mecánico del concreto a corto y largo plazo, con la inclusión fibra de vidrio AR proveniente de diferentes tipos de fabricación, además se analizaron los resultados con materiales jóvenes y envejecidos. Los autores encontraron que la longitud de las fibras inferiores a 2.5 cm, no son las más eficientes para incrementar la resistencia a la tensión, recomendando longitudes superiores a 2.5 cm, además encontraron que el tipo de fibra de vidrio AR sufre de una fragilización con la edad, que induce una disminución en la resistencia. En el corto plazo se encontró que la adición de arena con el fin de reducir la retracción del concreto, hace que disminuya la resistencia a la tensión aproximadamente un 20%.

### **4.3 JIMÉNEZ (2011)**

En este proyecto se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, tensión y flexión, para determinar el comportamiento del concreto con la inclusión de fibra de fique, en porcentajes entre 1% y 1.5% respecto al volumen total de la mezcla. Los resultados se compararon con una mezcla de referencia (sin fibras) con una resistencia a la compresión de 28 MPa, encontrando una disminución en la resistencia a compresión pero un

incremento en la resistencia a la tensión. Jimenez (2011), también recomienda utilizar fibra de fique de longitudes entre 2 cm y 5 cm, para una mejor manejabilidad.

#### **4.4 DÍAZ (2008)**

Para la realización de esta Tesis Doctoral se desarrollaron trabajos experimentales que permitieron evaluar la influencia de 5 diferentes aditivos y adiciones en morteros especiales reforzados con fibra de vidrio, como superplastificantes, aireantes, metacaolín, humo de sílice y resinas arcílicas, con materiales jóvenes y envejecidos mediante la inmersión en agua caliente. Se comprobó que la inclusión de agentes químicos como metacaolín, humo de sílice y resinas arcílicas, no son efectivas para minimizar la fragilización y el deterioro de las fibras de vidrio.

#### **4.5 VILANOBA (2009)**

Este trabajo de investigación tuvo como finalidad estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante. Se realizó con diferentes tipos de mezcla y con diferentes tipos de adiciones como cenizas volantes, filler calizo, humo de sílice, escoria de alto horno entre otras. Lo anterior realizado por medio de pruebas de resistencia a la tensión, compresión y flexotensión. Se obtuvieron mayores resistencias a tensión en los hormigones elaborados con adición de filler calizo que en los elaborados con cenizas volantes cuando la resistencia a compresión es mayor de 40 MPa.

#### **4.6 MUÑOZ (2007)**

El objetivo principal de este proyecto era estudiar la influencia de la fibra de vidrio en el concreto al incorporarla a la mezcla. Se realizaron ensayos comparativos entre una mezcla de referencia y mezclas con diferentes porcentajes de fibra. Se analizaron propiedades como ductilidad, resistencia a compresión y resistencia a la flexotensión, en porcentajes de fibra de vidrio correspondiente al 0.03%, 0.5%, 1% y 1.5%.

La investigación de Muñoz (2007) se realizó con una dosificación en la mezcla de referencia, adecuada para alcanzar resistencias cercanas a los 28 MPa, las cuales se asemejan a las de este proyecto de grado; es por esto que se harán unos breves análisis a su trabajo para luego tener herramientas de comparación.

A continuación se describen los resultados obtenidos por Muñoz (2007) en cuanto a trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexotensión. Además se presenta la dosificación de la mezcla de referencia utilizada para dichos ensayos. La tabla 4.1 muestra la dosificación de la mezcla de referencia, donde H-25 es el código de la mezcla para 28 MPa.

Tabla 4.1. Tabla mezcla de referencia para 1 m<sup>3</sup>

MATERIAL	H-25
<b>Cemento (kg)</b>	25.5
<b>Agua (l)</b>	14.72
<b>Grava (kg)</b>	39.28
<b>Gravilla (kg)</b>	37.87
<b>Arena (kg)</b>	63.12

Para un concreto común de 28 MPa se presenta la figura 4.1, que muestra la trabajabilidad del concreto (medida mediante un ensayo de cono de Abrams) al adicionar fibra de vidrio en porcentajes de 0.03, 0.5, 1.0 y 1.5. En la figura HP significa hormigón patrón o mezcla de referencia.

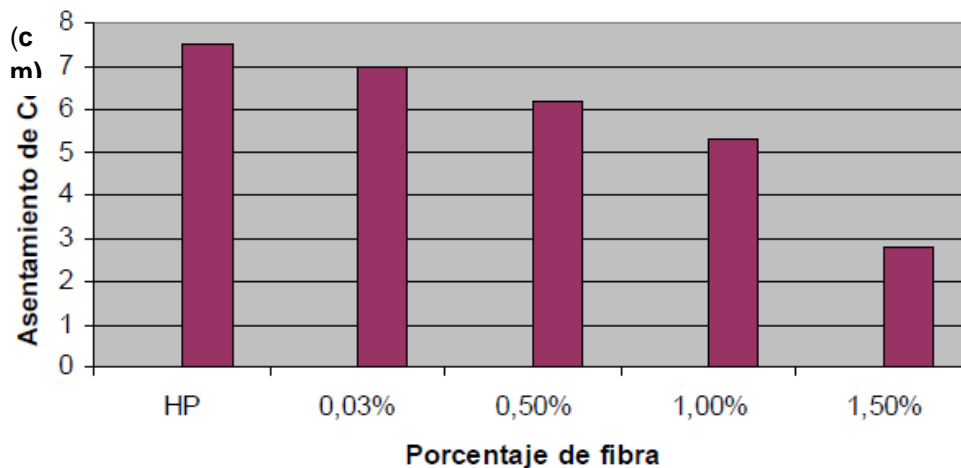


Figura 4.1. Trabajabilidad de concreto con adición de fibra (Muñoz, 2007)

Se puede observar que entre más se adiciona fibra de vidrio a la mezcla de concreto, se reduce considerablemente el asentamiento, siendo más agudo en la mezcla con 1.5% de fibra de vidrio, reduciéndose al 36.8% del asentamiento registrado en la mezcla de referencia.

#### 4.6.1 Resistencia a la compresión

La figura 4.2 muestra el aumento de la resistencia a la compresión con el tiempo. Se observa un comportamiento muy similar para las mezclas con fibras y la mezcla de referencia (H25 es la identificación que da el autor para la mezcla de referencia de 28 MPa). Aunque la mezcla con 1.5% de fibra presenta una resistencia a la compresión mayor

que la mezcla de resistencia para todas las edades, el incremento en resistencia es mínimo, lo que indica que las fibras no aportan significativamente al incremento en la resistencia a la compresión.

#### Resistencia a la compresión

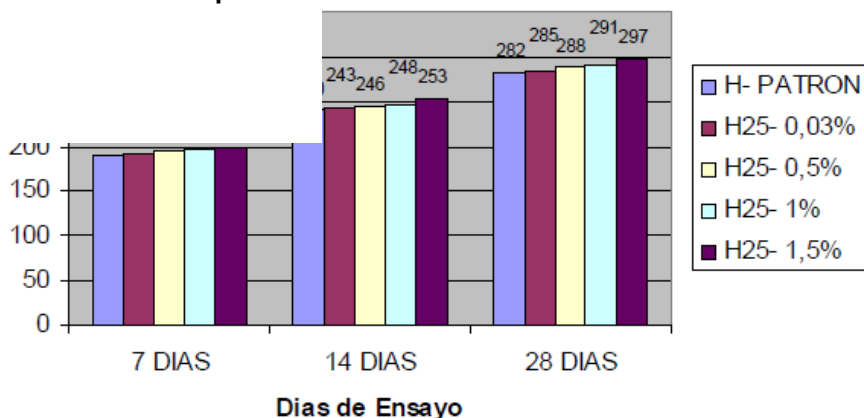


Figura 4.2. Resistencia a la compresión [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ] (Muñoz, 2007)

#### 4.6.2 Resistencia a la flexotensión

La resistencia a la flexotensión o flexotracción que se muestra en la figura 4.3, es quizá uno de los ensayos más importantes, ya que a partir de éste se puede correlacionar directamente el comportamiento a flexión y tensión de los elementos, dicha resistencia es la que se quiere intentar incrementar con la inclusión de la fibra de vidrio. En la figura 4.3 HF es el código de la mezcla de sometida a flexotensión.

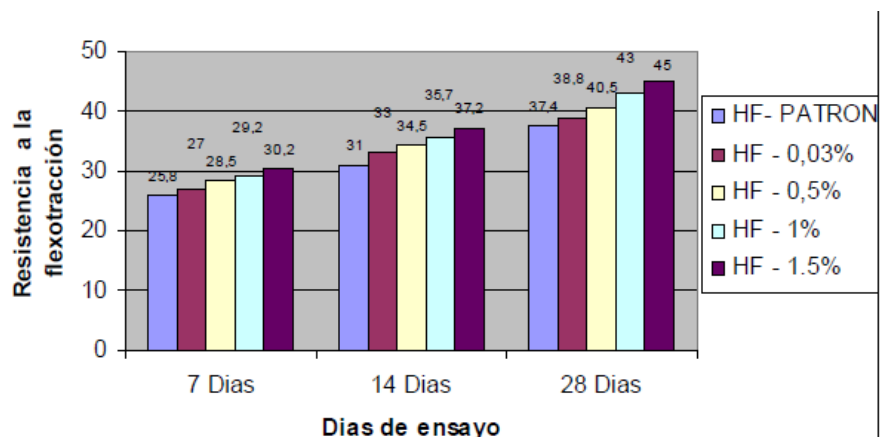


Figura 4.3. Resistencia a la flexotensión [ $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ] (Muñoz, 2007)

La figura 4.3 muestra como aumenta la resistencia a la tensión hasta llegar a los 4.5 MPa a los 28 días en la mezcla con el mayor porcentaje de fibra de vidrio. Teniendo en cuenta que

la mezcla de referencia presentó una resistencia a la tensión de 3.74 MPa los 28 días, se evidencia un incremento de la resistencia del 20% del concreto con 1.5% de fibra respecto a la resistencia de la mezcla de referencia.



## **5. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

Esta investigación es de tipo experimental y está enfocada en determinar la influencia de la fibra de vidrio en mezclas de concreto.

Para tal fin se analizó el comportamiento de mezclas con inclusión de diferentes cantidades de fibra de vidrio. Los resultados de resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y módulo de elasticidad de las mezclas se compararon con los valores de una mezcla de referencia (sin adición de fibra de vidrio).

### **5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Este proyecto de grado es de tipo experimental. Se buscó analizar el comportamiento de una mezcla de concreto cuando se le incluyen diferentes porcentajes de fibra de vidrio. Para tal fin se realizó una mezcla de referencia (sin inclusión de fibra) y mezclas con adición de diferentes porcentajes de fibra de vidrio: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5% del peso total de la mezcla. Los resultados de resistencia a la compresión y a la flexión y de trabajabilidad para las mezclas con fibras se compararon con los resultados de la mezcla de referencia.

Las características principales para esta investigación son las siguientes:

- Una mezcla de referencia o control, en la cual se basan las comparaciones.
- Una serie de mezclas a las cuales se les varió el porcentaje de fibra de vidrio inducida, pero siempre conservando la misma dosificación de la mezcla de referencia.
- Realización de ensayos de laboratorio para medir la resistencia a la compresión, esto mediante la falla de cilindros. Este ensayo se realizó tanto a los elementos compuestos por la mezcla de referencia y a las diferentes mezclas con introducción de fibras de vidrio.
- Realización de ensayos de laboratorio para medir la resistencia a la tensión, esto mediante la falla de vigas. Este ensayo se realizó tanto a los elementos compuestos por la mezcla de referencia y a las diferentes mezclas con introducción de fibras de vidrio.
- Realización de ensayos de laboratorio para medir el módulo de elasticidad, esto mediante los cilindros de muestras. Este ensayo se realizó tanto a los elementos compuestos por la mezcla de referencia y a las diferentes mezclas con introducción de fibras de vidrio.

## 5.2 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

Como primera fase del estudio se realizó la recolección de información de investigaciones similares anteriores, investigación general del concreto y sus componentes y estudio de normas.

Posteriormente se definió la mezcla de referencia buscando una resistencia a la compresión entre 21 y 28 MPa y un asentamiento entre 18 y 20 cm. Para alcanzar las características definidas para la mezcla de referencia fue necesario realizar diferentes mezclas con diferentes dosificaciones, con el fin de determinar cuál era la más propicia para esta investigación.

En la mezcla se buscó un asentamiento alto debido a que diversos investigadores han encontrado una disminución de la trabajabilidad al incluir la fibra de vidrio; es por esto que se buscó un asentamiento de 18 – 20 cm. Naaman (2006) recomienda disminuir la cantidad de agregado grueso o aumentar la cantidad de agua para obtener mayores asentamientos; sin embargo, en esta investigación se optó por el uso de un aditivo plastificante de nombre Eucon de la empresa Toxement que permitió aumentar la trabajabilidad sin necesidad de aumentar la cantidad de agua, y, por lo tanto, mantener alta la resistencia.

La dosificación final de la mezcla de referencia por metro cúbico se presenta en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Dosificación de la mezcla de referencia

MATERIAL	CANTIDAD
AGUA (l)	235
CEMENTO (kg)	460
ARENA (kg)	759
TRITURADO (kg)	892
ADITIVO (kg)	4.65

Una vez definida la mezcla de referencia se procedió con la búsqueda e investigación de que empresas en el medio y en la ciudad de Medellín principalmente, usan materiales como la fibra de vidrio como adición a mezclas de concreto y consecución de los materiales necesarios.

Para saber claramente cuanta cantidad de fibra de vidrio se iba usar durante la etapa experimental se estudió que cantidades de porcentajes de fibras de vidrio se han inducido a las mezclas en estudios anteriores. Los porcentajes más recomendados oscilaban entre el 0.5% hasta el 2.0%, por lo cual se resolvió realizar cinco muestras con diferente porcentaje de fibra, las cuales iban variando su porcentaje en múltiplos de 0.5% hasta el 2.5%. El porcentaje de fibra de vidrio inducido se tuvo en cuenta respecto al peso total de la mezcla, tal como lo han hecho en investigaciones previas (Muñoz, 2008; Sánchez y Sánchez, 1991).

En la elaboración de las mezclas de concreto con diferentes porcentajes de adición de fibra de vidrio se tuvo en cuenta para los ensayos de laboratorio lo siguiente: de cada mezcla se



realizaron 6 cilindros para fallar a la compresión (3 cilindros a fallar a los 7 días y 3 cilindros a fallar a los 28 días). Para obtener resultados de resistencia a la tensión se elaboraron 2 vigas para cada muestra, una para fallar a los 7 días y otra a los 28 días. Para obtener el módulo de elasticidad se elaboró un cilindro para cada muestra, para fallar a los 28 días.

Luego de obtener los resultados de las muestras se realizó el análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones del proyecto.

## 5.3 RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio tanto para la mezcla de referencia ( M-REF), mezcla con adición de 0.5% de fibra de vidrio (M-0.5), mezcla con adición de 1% de fibra de vidrio (M-1), mezcla con adición de 1.5% de fibra de vidrio (M-1.5), mezcla con adición de 2% de fibra de vidrio (M-2) y mezcla con adición de 2.5% de fibra de vidrio (M-2.5). Se presentan los resultados de los ensayos de trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y módulo de elasticidad.

### 5.3.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad o la manejabilidad de las mezcla se analizó según el asentamiento que presentó la mezcla de concreto cuando se adicionó la fibra de vidrio en los porcentajes estudiados; la tabla 5.2 y la gráfica 5.1 así lo muestran.

Tabla 5.2. Asentamiento de las mezclas

TABLA DE DOSIFICACION DE MEZCLAS						
CODIGO	FIBRA (%)	CEMENTO (kg)	ADITIVO (kg)	TRITURADO (kg)	ARENA (kg)	ASENTAMIENTO (cm)
M-REF	0	460	4.41	892	759	19.7
M-0.5	0.5	460	4.41	892	759	18.0
M-1	1	460	4.41	892	759	14.0
M-1.5	1.5	460	4.41	892	759	11.0
M-2	2	460	4.41	892	759	7.0
M-2.5	2.5	460	4.41	892	759	3.0

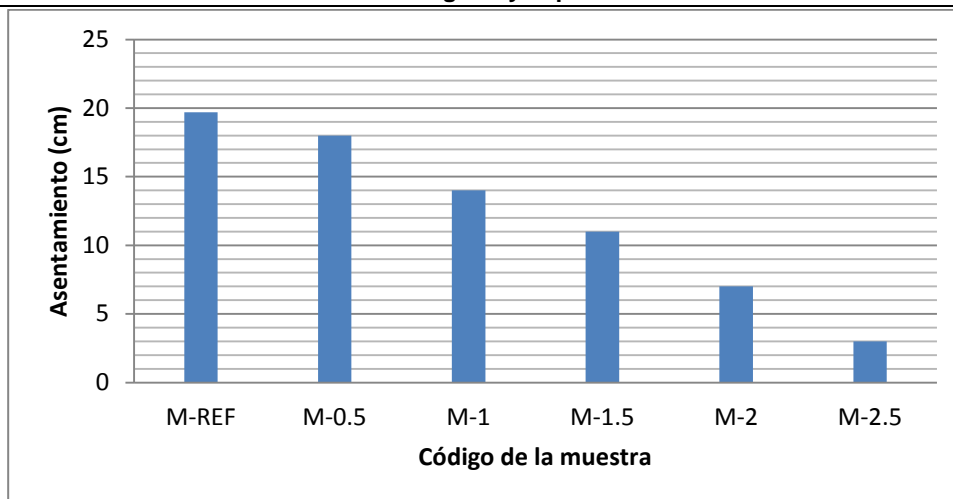


Figura 5.1. Asentamiento de las mezclas.

De la tabla 5.2 y de la figura 5.1 se puede observar que a medida que se adiciona fibra de vidrio a la mezcla se pierde la trabajabilidad, llegando a un límite al 2.5% con un asentamiento de 3 cm. Esta disminución se debe al aumento de agentes sólidos en la mezcla. El asentamiento de la muestra con mayor adición de fibra de vidrio logró solo el 15.22% respecto al asentamiento de la muestra de referencia, valor que indica que con dicho porcentaje es casi imposible trabajar la muestra de concreto con adición.

### 5.3.2 Resistencia a la compresión

El comportamiento de la resistencia a la compresión de las mezclas realizadas se presenta en las tablas 5.3 a 5.6. Las tablas 5.3 y 5.4 presentan los resultados obtenidos a los 7 días; las tablas 5.5 y 5.6 muestran los resultados obtenidos a los 28 días.

En las tabla 5.4 y 5.6 se presenta el promedio de los 3 cilindros fallados para cada muestra a los 7 y 28 días aproximadamente. Adicionalmente se presenta la relación de la resistencia a la compresión de cada mezcla ( $f'_c$ ) con respecto a la resistencia a la compresión de la mezcla de referencia ( $f'_c\text{-ref}$ ).

El equipo empleado para obtener la resistencia a la compresión fue una prensa hidráulica CONTROLS modelo C3D/E serie 83060952 calibrada en marzo 23 de 2013 y una balanza electrónica con capacidad para 50 kg, modelo XK3100-A7, calibrada en diciembre 11 de 2012.

Tabla 5.3. Resistencia a la compresión para 7 días

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA 7 DÍAS</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>RESULTADO (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
M-REF	M1-REF	19.6	19.27
	M2-REF	19.0	
	M3-REF	19.2	
M-0.5	M1-0.5	20.3	19.97
	M2-0.5	20.0	
	M3-0.5	19.6	
M-1	M1-1	18.9	18.87
	M2-1	18.7	
	M3-1	19.0	
M-1.5	M1-1.5	20.4	19.90
	M2-1.5	19.7	
	M3-1.5	19.6	
M-2	M1-2	19.3	18.63
	M2-2	18.4	
	M3-2	18.2	
M-2.5	M1-2.5	12.1	12.10
	M2-2.5	11.9	
	M3-2.5	12.3	

Tabla 5.4. Resumen de la resistencia a la compresión para 7 días

<b>RESUMEN RESISTENCIA A COMPRESIÓN 7 DIAS (MPa)</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>COMPRESION</b>	<b>f'c/f'c-ref (%)</b>
M-REF	19.3	100.0
M-0.5	20.0	103.6
M-1	18.9	97.9
M-1.5	19.9	103.2
M-2	18.6	96.7
M-2.5	12.1	62.8

Tabla 5.5. . Resistencia a la compresión para 28 días.

<b>RESITENCIA A LA COMPRESIÓN PARA 28 DÍAS</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>RESULTADO (MPa)</b>	<b>PROMEDIO (MPa)</b>
M-REF	M4-REF	30.5	30.50
	M5-REF	30.5	
M-0.5	M4-0.5	29.8	29.95
	M5-0.5	30.1	
M-1	M4-1	30.7	30.60
	M5-1	30.5	
M-1.5	M4-1.5	28.9	29.15
	M5-1.5	29.4	
M-2	M4-2	25.8	25.95
	M5-2	26.1	
M-2.5	M4-2.5	14.4	14.30
	M5-2.5	14.2	

Tabla 5.6. Resumen de la resistencia a la compresión para 28 días

<b>RESUMEN RESISTENCIA A COMPRESIÓN 28 DIAS (MPa)</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>COMPRESION</b>	<b>F<sup>´</sup>c/F<sup>´</sup>c-ref (%)</b>
M-REF	30.5	100.0
M-0.5	30.0	98.2
M-1	30.6	100.3
M-1.5	29.2	95.6
M-2	26.0	85.1
M-2.5	14.3	46.9

La gráfica 5.2 presenta la resistencia a la compresión tanto a los 7 y a los 28 días para las diferentes mezclas realizadas.

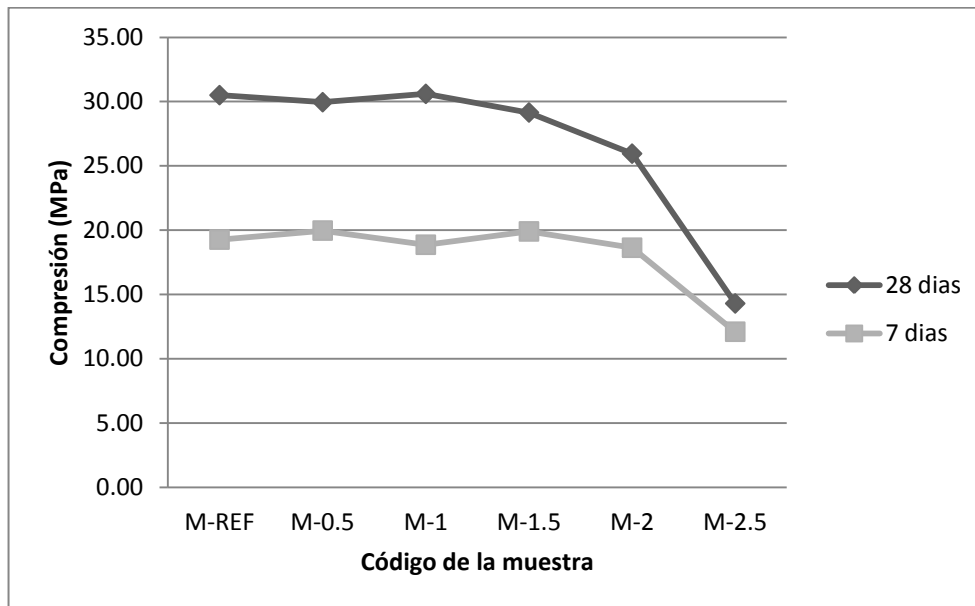


Figura 5.2. Resistencia a la compresión para 7 y 28 días.

La resistencia a la compresión luego de la adición de la fibra de vidrio tuvo un comportamiento similar a la resistencia de la mezcla de referencia para adiciones de fibra de vidrio de 0.5%, 1% y 1.5%. Al aumentar el porcentaje de fibra adicionado se presentó una caída en la resistencia (porcentajes de fibra del 2 y 2.5), siendo mayor a los 28 días. Se puede notar una caída importante en la resistencia a la compresión para la mezcla con adición de 2.5% de fibra de vidrio, obteniendo un 53% menos de resistencia que la muestra de referencia; esto puede ser causado debido al exceso de fibras que no permiten un buen recubrimiento de cemento de los agregados gruesos. Con la adición del 2% se nota una caída de resistencia a compresión en un 15% que posiblemente es causado por el mismo exceso de fibras en la mezcla.

### 5.3.3 Resistencia a la tensión

Los resultados de los ensayos a tensión se presentan en las tablas 5.7 y 5.8 para 7 y 28 días respectivamente. El comportamiento obtenido es el esperado: un incremento de la resistencia al aumentar el porcentaje de fibra. Las tablas 5.7 y 5.8 presentan la relación de la resistencia a tensión de cada mezcla ( $T_c$ ) con respecto a la resistencia de la mezcla de referencia ( $T_{c-ref}$ ).

El quipo empleado para obtener la resistencia a la tensión sobre las vigas de concreto fue una prensa hidráulica marca CONTROLS calibrada en marzo 23 de 2013 y una balanza electrónica con capacidad para 50 kg, modelo XK3100-A7, calibrada en diciembre 11 de 2012.

Tabla 5.7. Resistencia a la tensión para 7 días.

RESISTENCIA A LA TENSIÓN PARA 7 DÍAS			
CODIGO	MUESTRA	RESULTADO (MPa)	$\tau'c/\tau'c\text{-ref}$ (%)
M-REF	V1-REF	3.15	100.0
M-0.5	V1-0.5	2.84	90.12
M-1	V1-1	3.17	100.6
M-1.5	V1-1.5	3.60	114.3
M-2	V1-2	3.75	119.0
M-2.5	V1-2.5	4.70	149.2

Tabla 5.8. Resistencia a la tensión para 28 días.

RESISTENCIA A LA TENSION PARA 28 DÍAS			
CODIGO	MUESTRA	RESULTADO (MPa)	$\tau'c/\tau'c\text{-ref}$ (%)
M-REF	V2-REF	3.60	100.0
M-0.5	V2-0.5	3.96	110.0
M-1	V2-1	4.02	111.7
M-1.5	V2-1.5	4.41	122.5
M-2	V2-2	4.83	134.2
M-2.5	V2-2.5	4.92	136.7

La gráfica 5.3 muestra el comportamiento a la flexión.

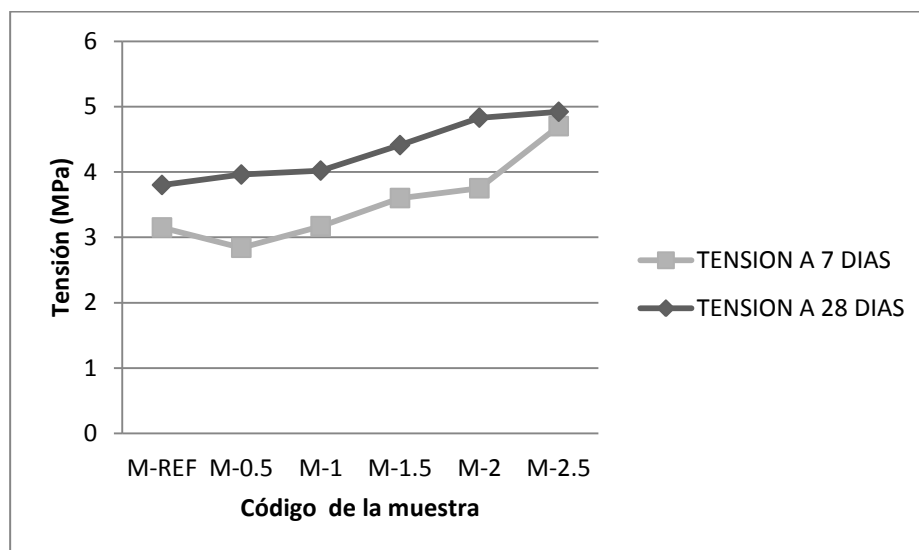


Figura 5.3. Resistencia a la tensión para 7 y 28 días.

La resistencia a la tensión presentó el comportamiento esperado, aumentando la resistencia a medida que se iba adicionando la fibra, tanto a los 7 como a los 28 días. La mezcla con un 2.5% de fibra presentó una ganancia de resistencia a la tensión a los 28 días del 36.66% con respecto a la mezcla de referencia; la mezcla con un 1% de fibra presentó una ganancia de 11.66%.

Entre mayor cantidad de fibra mayor es la ganancia de resistencia a la tensión. Sin embargo, se debe tener en cuenta que incluir fibra afecta la trabajabilidad (disminuye el asentamiento), y, para los porcentajes de fibra del 2.0 y 2.5%, se disminuye la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla de referencia.

### 5.3.4 Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad fue medido en el laboratorio de de Suelos, Concretos y Pavimentos la Universidad EAFIT. La tabla 5.9 presenta los resultados obtenidos.

Los equipos empleados para obtener el módulo de elasticidad fueron un compresómetro modulo elástico marca Controls, dial deformación vertical marca RAMBOLD de 0.001 mm - #22, dial deformación horizontal CONTROLS de 0.001 mm - #18, prensa hidráulica ELE y calibrador pie de Rey marca Mitotoyo.

Tabla 5.9. Módulo de elasticidad a 28 días.

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD A 28 DÍAS</b>			
<b>CODIGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>RESULTADO (MPa)</b>	<b>E'c/E'c-ref (%)</b>
M-REF	M2-REF	21164	100.0
M-0.5	M2-0.5	27180	128.4
M-1	M2-1	24721	116.8
M-1.5	M2-1.5	20810	98.3
M-2	M2-2	16330	77.2
M-2.5	M2-2.5	7747	36.6

La figura 5.4 muestra el comportamiento del módulo de elasticidad en las muestras de concreto con adición de fibra de vidrio.

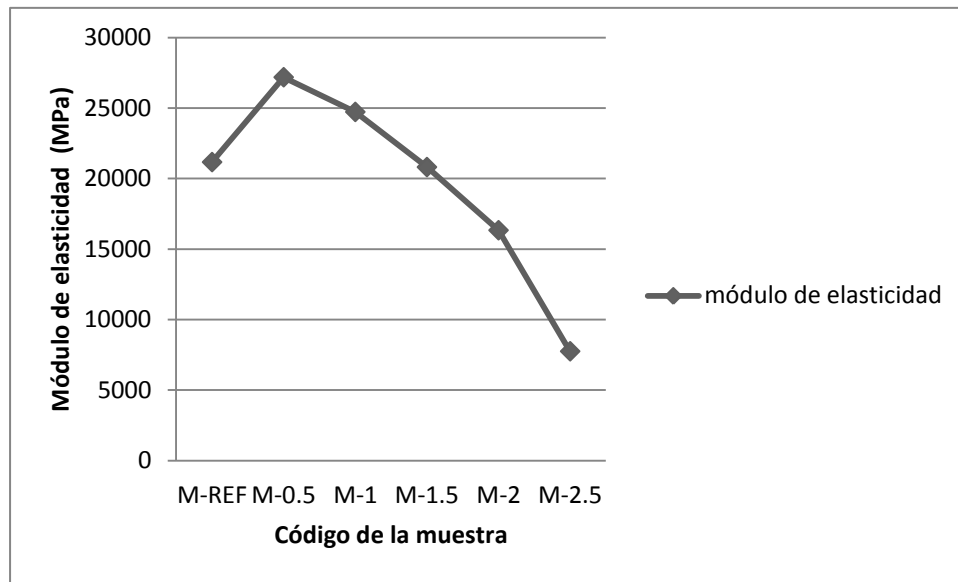


Figura 5.4. Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad presentó el comportamiento esperado en las diferentes mezclas hasta agregar el 1% de fibra de vidrio logrando un aumento del módulo elástico en un 16% en cuanto al resultado hallado en la mezcla de referencia, con la adición de 1.5% y 2% el resultado hallado es menor al módulo elástico conseguido en la mezcla de referencia por lo tanto no es conveniente usar adición de fibras para concretos que exijan módulo de elasticidad alto, y con la adición del 2.5% el modulo no logra ni un 36% del hallado en la mezcla de referencia, esto se debe a su poca resistencia a compresión por lo tanto este resultado es bastante bajo y malo.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este proyecto se estudió el efecto de adicionar diferentes porcentajes de fibra de vidrio a una mezcla de concreto diseñada para tal fin. Se estudiaron los parámetros de trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión y módulo de elasticidad.

Para el estudio de los parámetros mencionados anteriormente se realizó una mezcla de referencia de concreto convencional sin ninguna adición de fibra de vidrio. A partir de esta mezcla de referencia se compararon el resto de las mezclas con adición de fibra de vidrio. En la mezcla de referencia se usó un aditivo plastificante (Eucon, de la empresa Toxement) para darle mayor manejabilidad a las mezclas realizadas manteniendo una relación agua cemento que permitiera una buena resistencia a la compresión. Los porcentajes de fibras usados durante la fase experimental del proyecto fueron 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2% y 2.5% del peso total de la mezcla de concreto.

Para obtener los resultados de los ensayos se realizaron mezclas de concreto con las mismas características del diseño de la mezcla de referencia. Para los ensayos de compresión y módulo de elasticidad se extrajeron muestras de cilindros, y para el ensayo a tensión se extrajeron muestras en vigas. La única variación que tuvieron las muestras para realizar los ensayos fue el porcentaje de fibra de vidrio inducido.

La metodología utilizada para la realización de este proyecto permitió encontrar un porcentaje adecuado de adición de fibra de vidrio para trabajar de manera adecuada adiciones de fibra en mezclas de concreto que soliciten una mayor resistencia a la tensión, sin alterar la resistencia a la compresión ni el módulo de elasticidad. En el caso estudiado se determinó que el porcentaje de fibra de vidrio más adecuado para adicionarle a las mezclas de concreto es del 1%, valor que representa en la mezcla en cuanto al ensayo a tensión una mejora de 11.66% con respecto a la mezcla de referencia; en cuanto a la compresión continua manteniendo la misma resistencia que la mezcla de referencia; y en cuanto al módulo de elasticidad hay una pequeña mejora del 16%, valores que en todos los casos aportan positivamente a la mezcla. Por otro lado el asentamiento de la mezcla de concreto durante la etapa de colocación con este porcentaje del 1.0% de fibra corresponde una mezcla trabajable que puede garantizar homogeneidad y trabajabilidad en la etapa de colocación. Al realizar las mezclas se observó que a medida que la mezcla contiene más fibra, durante la etapa de mezclado en el trompo mezclador mecánico es más difícil homogenizar la mezcla, obteniendo una consistencia alta y provocando dificultades en el proceso de mezclado.

Durante la manipulación de la fibra de vidrio y de las mezclas con contenido de ésta, se recomienda usar guantes, camisa con manga larga y protector de boca y nariz, esto debido a que la fibra de vidrio provoca un brote y rasquiña inmediata cuando se junta con la piel humana.

También se recomienda que al igual que una mezcla normal de concreto, los cilindros y vigas compuestas por las mezclas con adición de fibras de vidrio sean curados en un tanque con agua para generar hidratación a las mezclas durante el tiempo previo a la falla.

## 7.BIBLIOGRAFÍA

- ABDEV MERRYS IBRAHIN ALI, BLANCO POSSE ORLANDO RUBEN.2002. Estudio de la exudación y la retracción en el microconcreto para la reparación de estructuras de concreto armado. Trabajo especial de grado. Caracas, Universidad central de Venezuela, facultad de ingeniería, Escuela de ingeniería civil.
- ÁGUILA HIGUERO VICTORIA. 2010. Características físicas y mecánicas de hormigones reforzados con fibras de: vidrio, carbono y aramida. Tesis de grado (maestría). Madrid, Universidad politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- DÁVILA DEL TORO FABIOLA ILIANA. 2009. Desarrollo de una tecnología refractaria basada en  $MgO-CaZrO_3$  reforzado con hercinita para hornos rotatorios de cemento. Tesos de posgrado. Nuevo Leon, universidad Autonoma de Nuevo Leon, Facultad de ingeniería Mecanica y Electrica.
- DIAZ ENFODOQUE ALEJANDRO, 2008. Morteros de cemento reforzados con fibra de vidrio. Tesis Doctoral. Barcelona, Universidad politécnico de Madrid, Escuela Superior de Caminos, Canales y Puertos.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Ingeniería civil y arquitectura, cemento, definiciones. NTC-31.Bogota.
- JIMÉNEZ BOHÓRQUEZ JONNY.2011.Usos de materiales alternativos para mejorar las propiedades mecánicas del concreto (fibra de fique). Tesis de grado. Bogotá, Universidad la Gran Colombia, facultad de ingeniería civil
- MÁRMOL SALAZAR PATRICIA CRISTINA. 2010. Hormigones con fibras de acero, características mecánicas. Tesis de maestría, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.
- MEJÍA MARTINO MARLON ESTEBAN. 2009. Componentes y procesos alternativos para la producción de concreto para muros en edificaciones de 1 y 2 pisos. Tesis de grado. Medellín, Universidad Eafit, Escuela de ingeniería.
- MEDINA SÁNCHEZ EDUARDO. 2008. Construcciones de estructuras de hormigón armado edificaciones, 2da edición, Madrid.

- 
- MUÑOZ A CAROLINA JOSELINE. 2007. Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio. Tesis de grado. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, escuela de construcción civil. 83 p.
- NEVILLE A.M, BROOKS J,J. Concrete technology. 2 ed. Malasya. 2010
- SÁNCHEZ PARADELA M. LAURA y SANCHEZ GÁLVEZ VICENTE. 1991 Comportamiento a tensión de cementos reforzados con fibras de vidrio. Informes de la Construcción, Vol. 43 n.º 413, mayo/junio. Pags 77-89
- SORIANO MARTINEZ LOURDES. 2007. Nuevas aportaciones en el desarrollo de materiales cementantes con residuo de Catalizador de Craqueo Catalítico Usado (FCC), Tesis Doctorado, Valencia, Universidad politécnica de Valencia,
- SUSETYO JIMMY. 2009. Fibre reinforcement for shrinkage crack control in prestressed, precast segmental bridges. Tesis de grado (Doctorado). Toronto, University of Toronto, Graduate Department of Civil Engineering.
- Revista Tecnología y construcción 2006, Los aditivos para concreto en seis pasos. [En línea] <<http://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>>. Agosto 8 de 2013. 9:00 am.
- VILANOVA FERNANDEZ ANGEL. 2009. Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante, tesis de doctorado Madrid, Universidad politécnica de Madrid