



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPIRITU SANTO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL**

**USO DE FIBRA DE ACERO EN VIGAS DE HORMIGÓN ARMADO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO  
PREVIO A OPTAR EL GRADO DE INGENIERO CIVIL.**

**AUTOR: CRISTIAN SANTIAGO POZO CERVANTES**

**DIRECTOR DE TESIS: ING. CARMEN TERREROS DE VARELA, PHD**

**SAMBORONDON, FEBRERO, 2015**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por protegerme y guiarme durante todo el camino dándome fuerzas para superar cualquier obstáculo que se ha presentado en mi vida. A mi familia por su apoyo incondicional y constante en mi formación personal y profesional. A mi novia Sharon por su amor, colaboración, motivación y compañía durante todo este tiempo.

A mi directora de tesis Ing. Carmen Terreros de Varela por su orientación y su conocimiento que han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Además a todos los profesores de la carrera que compartieron todos sus conocimientos y experiencias profesionales lo cual fue una guía importante para mi desarrollo como futuro Ingeniero Civil

**Cristian Pozo Cervantes**

## Tabla de contenido

Resumen .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Introducción.....	6
CAPITULO I: EL PROBLEMA.....	7
1.1 Antecedentes .....	7
1.2 Planteamiento del Problema.....	7
1.3 Formulación del Problema .....	7
1.4 Sistematización del Problema .....	7
1.5 Objetivos de la investigación.....	8
1.6 Justificación o importancia de la investigación. ....	8
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Hormigón .....	9
2.1.1 Componentes del hormigón y ensayos a sus agregados.....	9
2.1.1.1 Cemento .....	9
2.1.1.2 Agua.....	10
2.1.1.3 Agregado fino y grueso.....	11
2.1.1.4 Análisis granulométrico .....	11
2.1.1.5 Granulometría de agregado fino y grueso INEN 696 ASTM C126.....	12
2.1.1.6 Modulo de finura.....	13
2.1.1.7 Contenido de humedad del agregado .....	13
2.1.1.8 Gravedad específica y absorción del agregado fino.....	14
2.1.2 Resistencia a la compresión .....	14
2.1.2.1 Factores que afectan la resistencia a compresión.....	15
2.1.3 Resistencia a la flexión .....	16
2.2 Fibra de acero.....	16
2.2.1 Tipos de fibras de acero .....	17
2.2.2 Fibra con extremos deformados.....	17
2.2.3 Nomenclatura de fibras de acero Dramix.....	18
2.3 Introducción al hormigón reforzado con fibra de acero (HRFA).....	19
2.3.1 Relación de aspecto.....	20
2.3.2 Contenido de fibra en matriz de hormigón .....	21
2.3.3 Adherencia entre fibras de acero y la matriz de hormigón .....	21

2.3.4 Orientación de la fibra .....	22
2.4 Influencia de la fibra en la matriz de hormigón.....	22
2.4.1 Resistencia a la compresión .....	23
2.4.2 Ductilidad del HRFA .....	25
2.4.3 HRFA sometido a flexión .....	25
2.4.4 HRFA sometido a tensión directa .....	27
2.4.5 HRFA a fuerzas de corte.....	28
2.4.6 Fatiga del HRFA.....	29
2.4.7 Resistencia del HRFA al impacto. ....	29
2.5 Usos actuales al hormigón reforzado con fibra de acero .....	30
2.5.1 Pavimentos.....	30
2.5.2 Hormigón proyectado. ....	32
2.6 Propiedades mecánicas de vigas de hormigón armado.....	34
2.6.1 Introducción a vigas de hormigón armado.....	34
2.6.2 Clasificación de comportamiento de vigas de hormigón armado a flexión. ....	35
2.6.3 Refuerzo longitudinal.....	36
2.6.4 Refuerzo transversal.....	37
CAPITULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	42
3.1 Introducción.....	42
3.2 Descripción de las muestras a ensayar.....	42
3.3 Análisis y ensayos de los materiales empleados.....	43
3.3.1 Fibra de acero.....	43
3.3.2 Hormigón.....	44
3.3.2.1 Granulometría del agregado grueso .....	44
3.3.2.2 Peso volumétrico varillado, peso volumétrico suelto, densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado grueso.....	45
3.3.2.3 Granulometría del agregado fino .....	47
3.3.2.4 Peso volumétrico suelto, densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado fino.....	48
3.3.2.5 Contenido de humedad del agregado fino.....	49
3.4 Acero de refuerzo longitudinal. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
3.4 Diseño de hormigón.....	49
3.5 Ensayos al hormigón fresco.....	51

3.5.1 Revenimiento .....	52
3.6 Ensayos al hormigón endurecido .....	54
3.6.1 Resistencia a la compresión .....	54
3.6.2 Resistencia a la flexión .....	58
CAPITULO 4: ANALISIS DE RESULTADOS .....	69
4.1 Análisis de los materiales empleados.....	69
4.2 Análisis del ensayo al hormigón en estado fresco. ....	69
4.3 Ensayo de resistencia a la compresión.....	70
4.4 Ensayos a flexión en vigas.....	71
4.4.1 Vigas de hormigón simple. ....	71
4.4.2 Vigas de hormigón con 1.5% de fibra de acero .....	72
4.4.3 Vigas de hormigón con 1.5% de fibra de acero y una varilla de 10mm .....	74
4.4.2 Vigas de hormigón simple con una varilla de acero de 10mm .....	75
4.4.2 Vigas de hormigón simple con dos varillas de 10mm .....	77
CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
5.1 Conclusiones .....	79
5.2 Recomendaciones .....	80
CAPITULO VI: ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA .....	82
6.1 Anexos .....	82
Bibliografía .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## Introducción

Cuando una viga de hormigón armado está siendo cargado a fuerzas de momento y de corte, puede fallar en corte antes de alcanzar su máxima resistencia a la flexión. Este tipo de falla se produce repentinamente y el tiempo de reacción es nulo ya que el elemento no da la suficiente advertencia antes de colapsar. Para evitar este tipo de fallas al cortante, las vigas son reforzadas con estribos. En general el uso de estribos se convierte en una práctica muy costosa por la mano de obra asociada con la instalación y los materiales usados. Así mismo este reforzamiento dificulta que el hormigón fluya en vigas donde se tienen estribos muy cercanos entre sí provocando espacios vacíos y un pobre recubrimiento de hormigón al acero de refuerzo. Una solución diferente al uso de estribos es el uso de fibras de acero orientadas al azar, que podría aumentar la resistencia al corte. El uso de fibras de acero en lugar de acero de refuerzo transversal como los estribos está permitido por el Código ACI sección 11.4.6 (ACI318, 2008).

Los beneficios de usar las fibras de acero como refuerzo del hormigón para soportar fuerzas de corte aún no se ha desarrollado por la dificultad de entender el desempeño que tiene la fibra de acero en vigas con armadura y sin armadura de refuerzo. La evolución sobre el uso de las fibras de acero, la aplicación en el sector de la construcción y la propuesta para su uso en vigas de hormigón armado serán explicadas en el desarrollo de la investigación.

## **CAPITULO I: EL PROBLEMA**

### **1.1 Antecedentes**

#### **1.2 Planteamiento del Problema.**

La investigación trata sobre el análisis comparativo entre vigas de hormigón armado y vigas de hormigón armado con fibras de acero; de cómo la incorporación de fibras de acero en el hormigón podría mejorar las propiedades a flexión y corte en las vigas de hormigón armado. Las vigas de hormigón armado son diseñadas para que dichos elementos soporten deflexiones provocando que el acero de refuerzo absorba las fuerzas de tracción al máximo para lograr que el hormigón no se fisure debido a su carencia de resistencia a la tracción.

En los diseños de vigas de hormigón armado se desprecia totalmente la resistencia a tracción del hormigón pero al incorporar las fibras de acero se podría aumentar dicha resistencia a la tracción y corte del hormigón logrando así disminuir el acero de refuerzo necesario para el diseño de dicho elemento.

#### **1.3 Formulación del Problema**

Identificar las ventajas y desventajas económicas que existen en la elaboración de vigas de hormigón armado y vigas de hormigón armado con fibras de acero en nuestro país, mediante ensayos de laboratorio. Las vigas tendrán iguales dimensiones y resistencias a la flexión.

#### **1.4 Sistematización del Problema**

1. ¿Cuál es la fuerza a tracción que resiste una viga de hormigón armado de dimensiones y cargas conocidas?
2. ¿Cuál es la fuerza a tracción que resiste una viga de hormigón armado con fibras de acero de iguales características que las anteriores?

3. ¿Cuáles son los principales rubros que hay en las vigas de hormigón armado con fibras de acero?
4. ¿De qué modo incide en la resistencia a tracción y corte la incorporación de las fibras de acero en las vigas de hormigón armado?
5. ¿Qué tan económico resulta añadir al hormigón armado las fibras de acero para realizar diseños de vigas estructurales?
6. ¿Qué método es el más adecuado para diseñar las vigas estructurales de hormigón reforzado?

### **1.5 Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo General:**

Comparar la resistencia a flexión y corte en vigas de hormigón armado y de hormigón armado reforzado con fibras de acero, para proponer un sistema constructivo de vigas más económico.

#### **Objetivos Específicos:**

1. Estudiar el efecto de las fibras de acero sobre la resistencia a flexión y corte al ser aplicadas al hormigón.
2. Comparar las resistencias a flexión y corte del hormigón usando diferentes dosificaciones y tipos de fibras.
3. Analizar el comportamiento del hormigón reforzado con fibras de acero en vigas mediante ensayos de laboratorio para la determinación de sus propiedades mecánicas.

### **1.6 Justificación o importancia de la investigación.**

Elaborar cuadros comparativos basados en las pruebas obtenidas en laboratorio para proponer un método más barato en la elaboración de vigas de hormigón armado al incorporar las fibras de acero. Lo que se propone con esta investigación es obtener la misma resistencia de una viga de hormigón armado con una viga de hormigón armado reforzado con fibras de acero, al disminuir la cuantía de acero de refuerzo y posiblemente abaratar costos innecesarios en los proyectos de construcción de las vigas. Las vigas a comparar tendrán las mismas dimensiones.



## **CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Hormigón**

El hormigón es un material que está compuesto por un cementante, agua y agregados. El cemento por lo general tipo Portland, al entrar en contacto con el agua genera la adhesión química entre los componentes. Por lo general los agregados representan alrededor del 60 al 75% del volumen total del hormigón, el cemento entre el 7 al 15% y el aire atrapado entre el 1 al 3%, en ocasiones los diseñadores pueden aumentar el contenido de aire hasta el 8% sobre todo en lugares que se encuentran sometidos a procesos de hielo y deshielos. (Terreros, 2011)

El hormigón posee alta resistencia a compresión pero su resistencia a la tracción es baja y es por esto que en cálculos estructurales se desprecia dicha resistencia a tracción

#### **2.1.1 Componentes del hormigón y ensayos a sus agregados**

##### **2.1.1.1 Cemento**

El cemento es un material fino que se obtiene de la calcinación de caliza, arcilla y minerales de hierro a 1.450°C para formar el Clinker (principal componente del cemento) que al ser mezclado con yeso y otros aditivos químicos forman el cemento. El cemento es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo por su alta resistencia a la compresión, durabilidad para diversas aplicaciones en la construcción.

El cemento se conoce también como cemento hidráulico ya que al ser mezclado con agua se produce el endurecimiento del material o fraguado. El cemento

hidráulico más utilizado es el cemento portland. Existen varios tipos de cemento portland tales como:

Tipo I: Es un cemento que se destina a obras donde el hormigón no entrará en contacto con sulfatos ni cloruros. Es el cemento más utilizado a nivel de obras civiles.

Tipo II: Apropriado para obras que tendrán el hormigón expuesto a la acción moderada de sulfatos y moderado calor de hidratación como por ejemplo en tuberías de drenaje. Genera menos calor que el tipo I

Tipo III: Cemento utilizado para obras que requieren un desencofrado rápido y de altas resistencias iniciales. Su uso generalmente se da en carreteras donde se requiere un flujo vehicular en pocos días.

Tipo IV: Para obras cuyo hormigón requiere bajo calor de hidratación pero el desarrollo de la resistencia es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Este tipo de cemento se usa en vaciado de hormigones masivos como en represas.

Tipo V: Usado donde se requiere una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos como en obras portuarias, alcantarillas y todo tipo de obra cercana al mar.

### **2.1.1.2 Agua**

Según las especificaciones de la Norma (ASTM1602) la calidad del agua es importante para elaborar hormigones y que al curar el hormigón se utilice agua de la misma fuente o similar para evitar alteración en las propiedades del hormigón.

Como componente del hormigón el agua representa entre el 10 y 25% aproximadamente del volumen total mezclado dependiendo del tamaño máximo del agregado y el revenimiento utilizado en el diseño. Por lo general se trata de utilizar agua potable para la fabricación y elaboración de hormigones, pero a menudo el agua potable tiene presencia de sustancias que podrían afectar al

hormigón en poca cantidad. Las sustancias de las cuales se tiene cuidado en el agua son: grasas, aceites, azúcares y ácidos.

### **2.1.1.3 Agregado fino y grueso**

Los agregados son uno de los componentes más importantes en el hormigón ya que representan hasta el 75% del volumen del concreto. Para obtener altas resistencias en el hormigón es necesario que el agregado sea resistente ya que de esto depende la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto. Existen varias Normas y especificaciones para controlar la calidad de los agregados, las más utilizadas son las ASTM: granulometría, forma, gravedad específica y absorción, pesos unitarios de los agregados, desgaste de los agregados en la máquina de Los Ángeles, durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de Sodio, contenido orgánico de la arena, etc. Cada una de ellas tiene su importancia a la hora de diseñar el hormigón. (Terrerros, 2011).

### **2.1.1.4 Análisis granulométrico**

Consiste en separar las partículas por tamaños para determinar los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices utilizados, los porcentajes retenidos acumulados y los porcentajes pasantes de cada tamiz. El tamaño máximo de los agregados es importante para realizar el diseño del hormigón debido a su efecto en las dosificaciones. El equipo utilizado para la realización de este ensayo es el siguiente:

- Balanza de precisión con sensibilidad de 0.1% de la masa de la muestra.
- Tamices
- Horno para secado uniforme 105°C
- Bandeja
- Máquina de tamizado

El procedimiento para realizar este ensayo es el siguiente:

1. Se seca el material en el horno a una temperatura constante de 105°C.
2. Anotar el peso obtenido de la muestra seca.
3. Colocar en la maquina tamizadora los tamices en orden descendente, siendo así el de mayor abertura en la parte superior y el de menor abertura en la parte inferior y al final de todo una bandeja para recoger el material pasante de todos los tamices.
4. Colocar la muestra desde el primer tamiz y efectuar el proceso de tamizado en la máquina.
5. El tiempo del tamizado puede variar de acuerdo a la granulometría del material.
6. Una vez terminada la tamización se pesa el material retenido en cada tamiz incluyendo las partículas que estén atrapadas en las mallas y se pesa igualmente el material último que se retiene en la bandeja.

### 2.1.1.5 Granulometría de agregado fino y grueso

Según norma (ASTMC136) el tamaño del agregado se determina por la separación del material mediante una serie de tamices utilizados según **Tabla 1**

#### Agregado Grueso

Pulg	2	1,5	1	3/4	1/2	3/8	No. 4
mm	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,51	4,76

#### Agregado Fino

Pulg	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
mm	4,76	2,36	1,19	0,595	0,297	0,142

**Tabla 1 Tamices utilizados para ensayos granulométricos**

Según norma (ASTMC33) los límites granulométricos del agregado fino son:

<b>Tamiz</b>	<b>% que pasa</b>
3/8" = 9,5mm	100
No. 4 = 4,75mm	95-100
No. 8 = 2,36mm	80-100
No. 16 = 1,18mm	50-85
No. 30 = 600 um	25-60
No. 50 = 300 um	10-50
No. 100 = 150 um	2-10

#### **2.1.1.6 Modulo de finura**

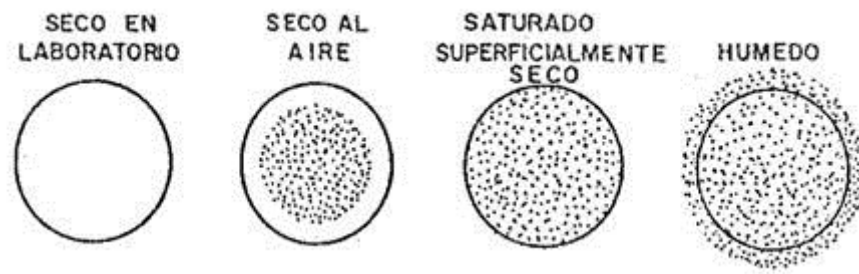
Es un índice para determinar si el agregado es fino o grueso para lo cual se calcula como la suma de los porcentajes acumulados de la 3/8 a la N 100 y dividiéndola para 100. Los valores normales para arenas están entre 2.3 a 3.1.

#### **2.1.1.7 Contenido de humedad del agregado**

De acuerdo con (Terrerros, 2011) los agregados pueden tener un grado de humedad lo cual está relacionado directamente a la porosidad de las partículas, su permeabilidad y la cantidad total de poros. **Figura 1**

Para determinar el contenido de humedad primero hay que conocer los cuatro estados del agregado que se describen a continuación y se ilustran en la figura:

- Totalmente seco. Para obtenerlo hay que secar el material al horno a 110°C
- Parcialmente seco. Se logra dejando el material expuesto al aire libre.
- Saturado y Superficialmente Seco (SSS). Es uno de los estados límites en el que el agregado tiene los poros llenos de agua pero superficialmente se encuentra seco. Para obtener este estado únicamente se lo logra en laboratorio.
- Total húmedo. Todos los agregados están llenos de agua y existe agua superficialmente.



**Figure 1 Contenido de humedad del agregado**

El contenido de humedad del agregado es importante para determinar la relación agua cemento, ya que hay que tener en cuenta la cantidad de agua que absorben los componentes del hormigón. (ASTMC566).

#### **2.1.1.8 Gravedad específica y absorción del agregado fino.**

A la gravedad específica se la conoce como la relación entre el peso seco del agregado y el volumen de sólidos en la cual no se considera los poros que podría tener el agregado. La gravedad específica ‘‘Bulk’’ es la más conocida o también denominada Densidad Saturada Superficialmente Seca (Terreros, 2011).

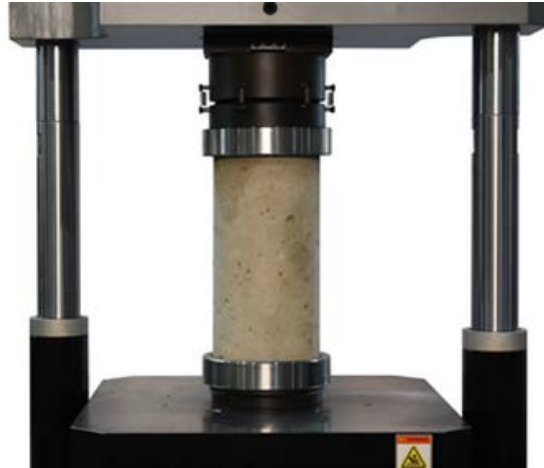
La absorción del agregado está relacionada a la cantidad de poros del material ya que al entrar en contacto con agua, el agregado absorberá el agua dentro de los poros. Son preferibles los agregados sin poros o casi impermeables.

#### **2.1.2 Resistencia a la compresión**

El valor  $f'_c$  (resistencia a la compresión) se utiliza como indicador de la calidad del concreto para verificar si el diseño es igual al elaborado en obra. Por lo general se hacen roturas a los 7,14 y 28 días para verificar la resistencia a compresión. Estos resultados se obtienen a partir de ensayos de laboratorio en cilindros estándar y cargados axialmente como en la figura 2, según las normas (ASTMC39M, 2004) que indica:

- El proceso para la elaboración de las muestras

- El tamaño del cilindro. Por lo general se utilizan cilindros de 6''x12''
- El proceso de curado de las muestras en laboratorio o en obra.
- La manera en que se ensaya a compresión las muestras. La cual puede ser mediante carga controlada o por deformación.



**Figure 2 Ensayo a compresión según norma ASTM C39M**

### **2.1.2.1 Factores que afectan la resistencia a compresión**

**Los agregados** al ser entre el 75% del volumen de hormigón juegan un papel muy importante, es por eso que la buena calidad y resistencia del agregado influye en que un hormigón sea resistente y duradero, así como también el cemento hidratado conocido como la matriz de hormigón.

**La relación agua-cemento (a/c)** es una de las variables más importantes ya que una relación a/c baja, reduce la porosidad del concreto mejorando de este modo la traba entre los agregados. Por el contrario una relación alta aumenta la porosidad de la matriz de hormigón reduciendo de esta manera la resistencia.

**El aire atrapado en la mezcla** tiende a reducir la resistencia a compresión, estas burbujas que se forman en la matriz de hormigón son del orden de 0.05mm pero también se puede incluir aire en hormigones que son utilizados en situaciones de hielo y deshielo mediante el uso de aditivos que incorporan aire.

**Calidad y tipo de cemento.** El tipo de cemento normalmente afecta la velocidad con la cual un hormigón llega a su  $f'c$ . Por ejemplo el cemento tipo III es de alta

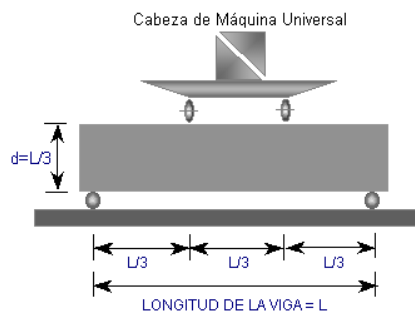
resistencia inicial o rápido endurecimiento en la cual exhiben aproximadamente una resistencia dos veces mayor que los hormigones fabricados con cemento tipo I.

**Las condiciones ambientales** como humedad y temperatura durante el curado es crítico debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el hormigón va aumentando su resistencia a compresión a través del tiempo.

**La edad del hormigón.** Por lo general a los 7 días la resistencia es aproximadamente del 65% al 70% de la resistencia total a los 28 días

### 2.1.3 Resistencia a la flexión

La resistencia a flexión en vigas es una medida de resistencia a la tracción del hormigón la cual se determina con la aplicación de carga a una muestra de 15x15x45 cm de longitud. La resistencia a la flexión en vigas de hormigón se la expresa como el Modulo de Rotura ( $M_r$ ) en  $Lb/pulg^2$  o MPa y se determina mediante la Norma (ASTM C78) la cual consiste en cargar a la viga en los puntos tercios (**Figura 3**) y como resultado se obtiene hasta el 15% de las resistencia a la compresión.



**Figure 3 Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple**

### 2.2 Fibra de acero

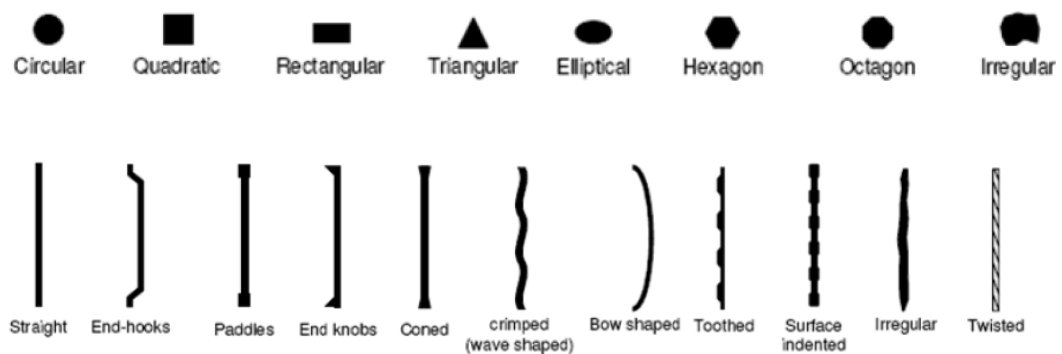
La fibra de acero es fabricada a partir de un alambre trefilado de acero de bajo contenido de carbono y se caracteriza por su elevado límite elástico (800-1500 Mpa) dependiendo de la relación de aspecto de la fibra. Son elementos de corta



longitud y pequeña sección que se adicionan al hormigón con el fin de adherirle propiedades específicas ya que dichas fibras se dispersan aleatoriamente en la mezcla de hormigón en estado fresco.

### 2.2.1 Tipos de fibras de acero

Las fibras de acero pueden ser fabricados de acero al carbono (con la finalidad de mejorar las prestaciones técnicas y mecánicas) o en acero inoxidable. Las fibras de acero también pueden tener formas muy variadas como: rectas, corrugadas, dentadas, extremos deformados, onduladas, entre muchas más. Y sus secciones también son variadas: circular, cuadrada, rectangular, triangular, entre muchas más. **Figura 4**



**Figure 4: Ejemplo de fibras de acero**

### 2.2.2 Fibra con extremos deformados

Este tipo de fibra son las más comunes en el uso de investigaciones y en la construcción de obras porque poseen un desempeño superior comparado con las fibras lisas debido a que los ganchos aportan mayor resistencia después de la pérdida de adherencia entre la fibra y el hormigón haciendo que los extremos de los ganchos se deformen.

Actualmente este tipo de fibras son fabricados por Bekaert con el nombre de Dramix.

Ejemplos de las fibras que se usará en la investigación son:

- Dramix RC 80/60 BN: Esfuerzo a la tensión 1225 N/mm<sup>2</sup>, longitud de la fibra 60mm , diámetro 0.75mm y relación de aspecto (L/D) 80 **Figura 5**
- Dramix RC 65/60 BN: Esfuerzo a la tensión 1160 N/mm<sup>2</sup>, longitud de la fibra 60mm , diámetro 0.90mm y relación de aspecto (L/D) de 65
- Dramix RL 45/50 BN: Esfuerzo a la tensión 1100 N/mm<sup>2</sup>, longitud de la fibra 50mm , diámetro 1.05mm y relación de aspecto (L/D) de 45

Fuente: (Bekaert)



**Figure 5 Fibra Dramix RC80/60BN**

### 2.2.3 Nomenclatura de fibras de acero Dramix

La nomenclatura de la marca Dramix se basa en las características principales de las fibras como:

Anclaje	Encolado	Rendimiento	Acabado	Tensión
R: Gancho	C: Encolado	45: Estándar	B: Brilloso	N: Normal
O: Recto	L: Suelto	65: Alta calidad	C: Galvanizado	P: Alta
F: Plano + Gancho		80: Alto desempeño	S: Acero Inoxidable	

**Tabla 2 Nomenclatura de fibra de acero Dramix**

<b>Tipo de Fibra</b>	<b>Resistencia a tracción (Mpa)</b>	<b>Modulo de elasticidad (Gpa)</b>	<b>Densidad (kg/m3)</b>	<b>Alargamiento de rotura (%)</b>
Acero	500-3000	210	7800	3.5
Acero inoxidable	2100	160	7860	3
Vidrio	2000	60	2700	3.6
Carbono	3000	200-500	1900	0.5
Nylon	900	4	1100	13-15
Polipropileno	400-800	5-25	900	8-20
Poliéster	700-900	8.2	1400	11-13
Hormigón	5-8	30	2300	-

**Tabla 3 Propiedades de fibras**

<b>Fibra Dramix tipo</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Diametro (mm)</b>	<b>Rendimiento (l/d)</b>	<b>Resistencia mínima N/mm2</b>	<b>Cantidad de fibras Fibras por Kg</b>
RC 80/60 BN	60	0,75	80	1225	4600
RC 65/60 BN	60	0,9	65	1160	3200
RL 45/50 BN	50	1,05	45	1115	2800
RC 65/35 BN	35	0,55	65	1345	14500
RL 45/35 BN	35	0,75	45	1225	7800
RC 80/60 CN	60	0,75	80	1350	4600
RC 65/35 CN	35	0,55	65	1550	14500

**Tabla 4 Tipos y propiedades de fibra Dramix**

### **2.3 Introducción al hormigón reforzado con fibra de acero (HRFA)**

Conociendo que el concreto simple carece de resistencia a los esfuerzos de tensión y es considerado un material frágil, el uso de fibras de acero convierten al

concreto en un material dúctil por la alta adherencia que tienen las fibras de acero al hormigón.

El HRFA es un hormigón que está conformado por cemento portland, áridos finos y gruesos, agua y fibras metálicas. Las propiedades mecánicas del HRFA están influenciadas por algunos parámetros relacionados con las características de la fibra y la matriz de hormigón como:

- a) Relación de aspecto;
- b) Tipo y contenido de fibra;
- c) Adherencia entre el hormigón y la fibra;
- d) Orientación de la fibra.

Las fibras de acero y el hormigón forman un compuesto llamado Hormigón reforzado con fibra de acero (HRFA). El desempeño del HRFA depende en su mayoría del lazo entre la fibra de acero y el hormigón, el contenido de fibras y sobre todo de la distribución de ellas en la matriz del hormigón. El HRFA como es conocido actualmente fue desarrollado alrededor de 1960 y posteriormente se desarrollaron hormigones con otros tipos de fibras como fibras polipropileno y fibras de vidrio.

Actualmente el uso de las fibras de acero está enfocado a elementos no estructurales, donde las fibras son utilizadas como una alternativa a las varillas de acero y mallas electro soldadas para el control de fisuras. Ejemplos del uso de fibras en elementos no estructurales son los contrapisos industriales, pavimentos en general y estabilización de taludes. Este tipo de obras contiene grandes áreas que están expuestas a un gran potencial superficial de fisuras.

### **2.3.1 Relación de aspecto**

Las fibras tienen dimensiones que varían entre 10 a 60mm de largo con sección circular y con diámetros que van de 0.4 a 1mm. Mientras más pequeña es la fibra

aportan al hormigón un superior esfuerzo a la primera fisura, mientras que las fibras más largas son más eficientes al desempeño después de la fisura.

La relación entre el largo de la fibra y el diámetro está determinado como la “relación de aspecto” ( $L_f/D_f$ ). Estudios anteriores han demostrado que el incremento de la relación de aspecto aumentan las propiedades mecánicas de un HRFA en tensión y en compresión. Así como también una elevada relación de aspecto dificulta la dispersión de las fibras uniformemente dentro de la matriz de hormigón (Minelli, 2005).

### 2.3.2 Contenido de fibra en matriz de hormigón

La incorporación de 78 kg/m<sup>3</sup> equivale a 1% de fibras de acero por volumen de hormigón. Y las fibras que contienen los HRFA están en el rango de 20 a 120 kg/m<sup>3</sup> equivalente a (0.25% a 1.5%). Por lo general la aplicación de fibras en elementos no estructurales como contrapisos tienen un límite de fibras de acero inferior a 40 kg/m<sup>3</sup> o (0.5%), pero para elementos estructurales según estudios se necesitarán aplicar cuantías superiores al 1% (Aoude, 2008).

El contenido de fibra se calcula como el cociente entre la dosificación de fibra en kg/m<sup>3</sup> y la densidad del acero de la fibra que es 7850kg/m<sup>3</sup>

$$V_f = \frac{D_f}{Y_s}$$

Donde:

Df: Dosificación de las fibras en Kg/m<sup>3</sup>

Ys= Densidad del acero en Kg/m<sup>3</sup>

### 2.3.3 Adherencia entre fibras de acero y la matriz de hormigón

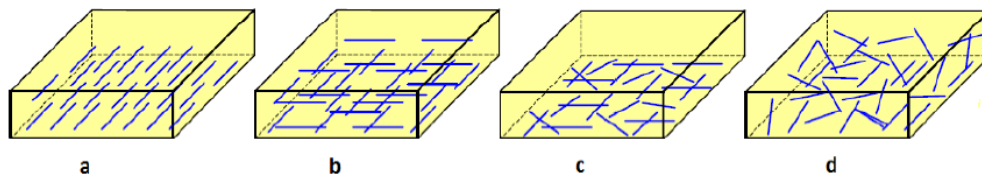
La fuerza de adherencia es un parámetro que está relacionado a la deformación de la fibra al ser retirada de la matriz de hormigón. (Aoude, 2008) propone valores típicos de  $\tau_{bond}$  como una función de la resistencia a compresión del concreto basado en datos de pruebas de laboratorio a fibras de acero vea **Tabla 5**

Fuerza a compresión de la matriz	Rango de la fuerza a compresión $f'c$ (MPa)	Fuerza al corte de la adherencia
Resistencia normal	$\leq 50$	2.0-3.0
Resistencia media	$\geq 50 \ \& \ \leq 70$	3.4-4.5
Resistencia alta	$> 70$	5.0-6.0

**Tabla 5 Rango de valores de fuerza al corte de la adherencia para varias matrices de hormigón (Grunewald, 2004)**

### 2.3.4 Orientación de la fibra

Otra variable importante que tiene un gran impacto en las propiedades mecánicas del HRFA es el factor de orientación. La forma en la se orienta la fibra depende mucho de los métodos en los que se incluya la fibra al hormigón, por ejemplo al incluir la fibra en el mixer de una forma rápida, las fibras se suelen entrelazar y formar erizos los cuales evitan un flujo continuo y de manera uniforme del hormigón. Otro problema que ocurre es cuando las fibras se alojan en el fondo del hormigón. **Figura 6** nos indica las diversas orientaciones de las fibras.



**Figure 6 Distintos tipos de orientación de fibras de acero en el hormigón.**

- a) Orientación parcial 1-D
- b) Orientación parcial 2-D
- c) Orientación plana aleatoria
- d) Orientación de fibra aleatoria.

### 2.4 Influencia de la fibra en la matriz de hormigón.

La incorporación de fibra de acero al hormigón depende de la cantidad, geometría, material y tipo de fibra que sea añadida a la matriz de hormigón. Para determinar el tipo de uso del hormigón reforzado con fibra de acero es necesario elaborar ensayos de laboratorio para determinar las características mecánicas. Por lo

general las fibras de acero brindan un mayor control de agrietamiento durante el asentamiento plástico del hormigón y en estado endurecido es por este motivo que es ampliamente utilizado en el sector de losas industriales o pavimentos rígidos.



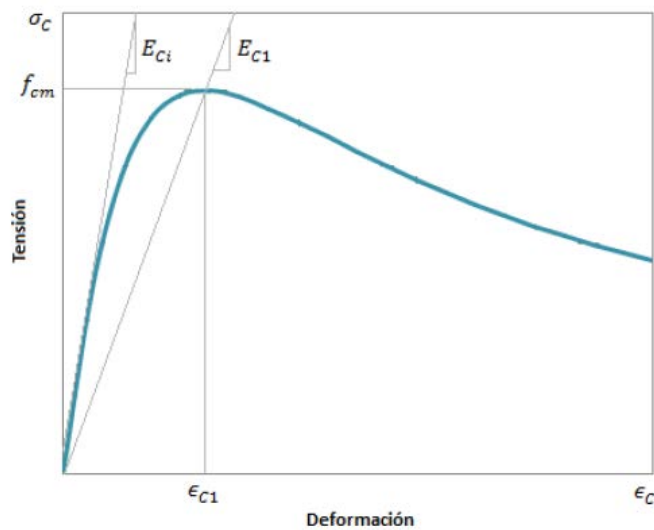
**Figure 7 Incorporación de fibra de acero a la matriz de hormigón**

#### **2.4.1 Resistencia a la compresión**

Las fibras de acero evitan que el hormigón sea un material con falla frágil y explosiva cuando se la somete a compresión. El hormigón con fibra de acero sometido a esfuerzos uniaxiales muestra un ligero aumento de resistencia comparado con el concreto simple, dependiendo del tipo de fibra, factor de forma y cantidad de fibra.

Según estudios de (Barros & Fiqueras, 1999) se propone la siguiente ecuación para la curva de compresión

$$\sigma_c = f_{cm} \frac{\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}}{(1 - p - q) + q \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}\right) + p \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}\right)^{(1-q)/p}}$$



**Figure 8 Curva tensión deformación**

Algunos investigadores han demostrado que el incremento en la resistencia a compresión del hormigón al incorporar las fibras de acero no es significativo. Sin embargo demuestran que al incorporar un 1.5% de contenido de fibra de acero a la matriz de hormigón la resistencia a compresión se ve disminuida por un 10% aproximadamente (Minelli, 2005). Una propiedad mecánica que sí es significativa, es que disminuyen las fisuras producto de la expansión lateral. El modo de falla a compresión de los concretos con fibra de acero se puede apreciar en la **Figura 9**, en donde se observa un modo de falla dúctil y no frágil como un concreto común debido al incremento de la tenacidad del material compuesto. La resistencia a compresión se calcula en base a la norma (ASTMC39M, 2004) donde se mide el comportamiento a la compresión a través del tiempo de fraguado de las mezclas elaboradas. (Terreros, 2011)



**Figure 9 Modo de falla (Minelli, 2005)**



### 2.4.2 Ductilidad del HRFA

El hormigón es un material frágil. Cuando es sometido a fuerzas de tracción muestra un comportamiento elástico hasta la aparición de la primera fisura. Una vez que el material se fisura producto de esta tensión, su resistencia es cero, lo que significa que fallará repentinamente de forma explosiva. Las fibras metálicas han demostrado incrementos visibles del comportamiento dúctil del concreto, que es la capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa. Esta absorción de energía ofrece una mayor capacidad de carga al hormigón, y en muchos casos se utiliza esta característica para disminuir espesores de losas de concreto.

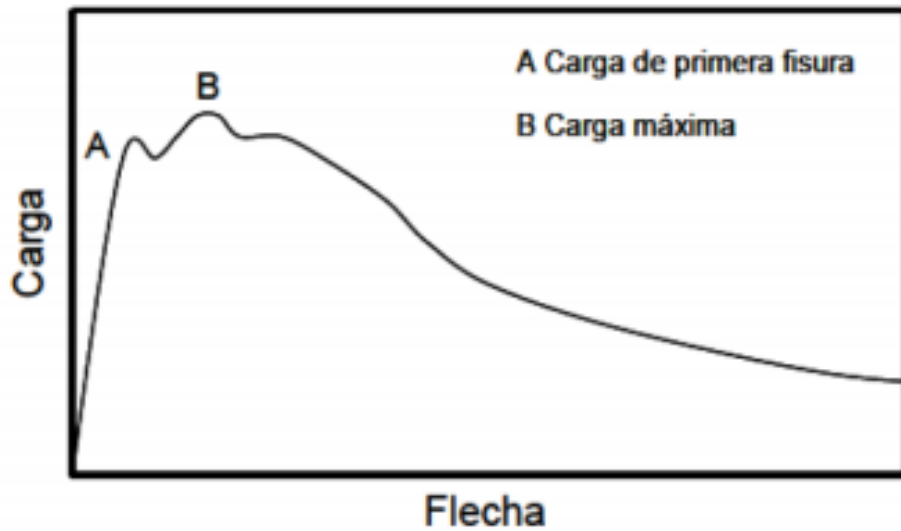
El incremento de la ductilidad del hormigón se lo puede medir a través del método (ASTM 1609). Este método de laboratorio consiste en aplicar tres puntos de esfuerzo a una viga simplemente apoyada y se mide la deflexión; la ductilidad que proveen las fibras metálicas al hormigón corresponden al área bajo la curva de carga-deflexión; en donde la primera falla corresponde al módulo de ruptura del hormigón, a partir de este punto se calcula el área debajo de la curva en distintos intervalos.

### 2.4.3 HRFA sometido a flexión

La influencia de las fibras de acero en el comportamiento a flexión del concreto es mucho mayor que las propiedades a tensión y compresión. Se conocen dos valores a flexión durante este proceso. El primero se denomina "resistencia a la primera fisura" la cual corresponde a la carga en el cual la curva de esfuerzo-deformación es lineal **Figura 10**. La otra etapa corresponde a la carga máxima soportada, también denominada como módulo de ruptura o esfuerzo de flexión último. La norma con la cual se lleva a cabo este ensayo es la (ASTM 1609) explicada a continuación:

Este método evalúa el desempeño a la flexión en concretos reforzados con fibras de acero usando parámetros derivados de la curva esfuerzo-deflexión obtenida al ensayar una viga simplemente apoyada cargada a los tercios de su longitud.

Este método utiliza dos dimensiones de especímenes de preferencia, de 100x100x350mm (4x4x14pulg) o 150x150x500mm (6x6x20pulg) como en la figura . (ASTM 1609, 2010)



**Figure 10** Curva esfuerzo deformación



**Figure 11** Ensayo ASTM 1609 para obtener valores relacionados a la deflexión

El Incremento de la resistencia a la primera fisura es mínimo ya que las fibras no modifican este comportamiento al hormigón, ésta es una característica propia del tipo de hormigón que se diseña. El módulo de rotura sí aumenta

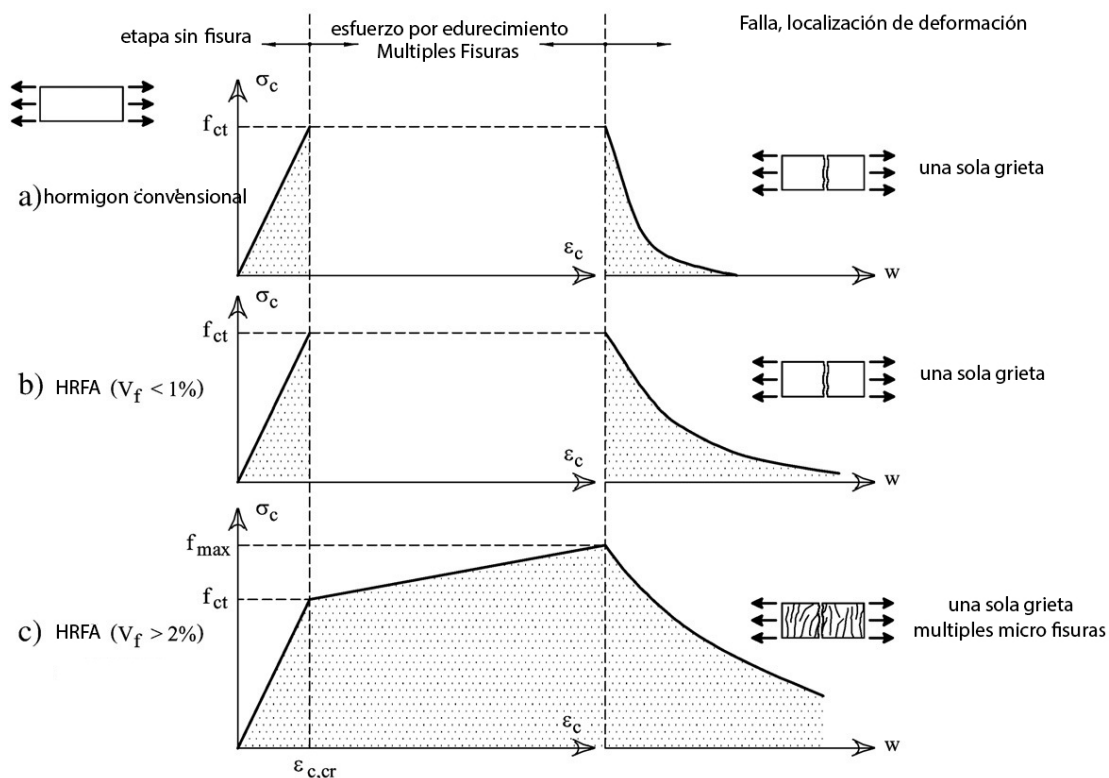
significativamente dependiendo del volumen de fibras y del tipo de fibra, logrando incrementos de hasta el 100% respecto a la resistencia normal de un hormigón simple.

#### **2.4.4 HRFA sometido a tensión directa**

La **Figura 12** compara el comportamiento del hormigón simple y el HRFA a tensión. Tal y como se muestra en la **Figura 12** (a) la relación de tensión-deformación a la tracción ( $\sigma_c-\epsilon_c$ ) para hormigón simple muestra una pérdida rápida de resistencia a la tracción después de la aparición de la primera fisura.

Pero si las fibras de acero son añadidas, el material demostrará mayor resistencia a la fractura en tensión uniaxial debido a la capacidad de las fibras para reducir tensiones en las superficies con fisuras. La mejora global de la resistencia a la tracción después del agrietamiento está ligado a la cantidad de fibra por volumen en la matriz de hormigón,  $V_f$  (**Fantilli, 2009**).

Tal y como se muestra en la **Figura 12** (b), existe una mejora al contenido de fibra de acero. Mientras más alta sea la cantidad de fibra que contenga la matriz, el comportamiento post-fisuramiento será mayor **Figura 12** (c), dando como resultado un valor elevado llamado ( $f_{max}$ ) el cual es más alto que el resultado a la aparición de la primera fisura ( $f_{ci}$ ). Se advierte que la trabajabilidad del hormigón simple empieza a ser afectado al añadir más del 1.5% de fibras de acero.



**Figure 12 Respuesta mecánica del hormigón según sus componentes bajo esfuerzos uniaxiales. (Fantilli, 2009)**

#### 2.4.5 HRFA a fuerzas de corte

El incremento que proporciona la fibra de acero a la resistencia al corte y a la ductilidad del hormigón se deriva de la resistencia a tensión post agrietamiento. Esta resistencia residual del hormigón reforzado con fibra de acero tiende a reducir el tamaño y espaciado de las grietas. Durante el estado límite de falla al cortante en una viga de hormigón reforzado, la fuerza cortante es transferida por el trabazón de los agregados, la cual depende del espesor de la grieta. Pero a partir del adecuado comportamiento post agrietamiento que las fibras proporcionan al hormigón, la resistencia a fuerzas de corte aumenta y el espesor de la grieta disminuye. Cuando se producen grietas de cortante, se generan tensiones diagonales perpendiculares a las mismas.

Varios reglamentos de diseño y normas han aceptado las ventajas del uso de fibra de acero como el (ACI318, 2008) en el cual permite el uso del hormigón reforzado con fibra de acero en sustitución del refuerzo mínimo por contante en

vigas el cual es tradicionalmente usado con varillas de acero para estribos. El ACI-318 permite dicha sustitución siempre que la resistencia a compresión del concreto  $f'c$  sea menor de 40 MPa, el peralte de la viga sea menor de 600 mm y el esfuerzo cortante de diseño sea menor a  $\phi 0.17 \sqrt{f'c} bwd$

#### **2.4.6 Fatiga del HRFA**

El aumento de la resistencia a la fatiga luego de que la fibra de acero es incorporada al hormigón es notorio. Pero aún no existe una norma que determine de manera aproximada estas propiedades.

Se puede definir la resistencia a la fatiga en un material como el nivel máximo de esfuerzo al cual el hormigón pueda resistir para un número determinado de ciclos de cargas antes de la ruptura, o bien como el número máximo de ciclos de carga necesarios para un determinado nivel de esfuerzo ( ACI Report 544 1R)

#### **2.4.7 Resistencia del HRFA al impacto.**

Esta resistencia en hormigones fibroreforzados puede ser estudiado con varios tipos de ensayos según el (ACI, 544-2R)

- Arrojando peso. (una vez o impactos repetidos)
- Impacto de proyectil
- Prueba explosiva
- Separación de barra Hopkinson.

Como ejemplo el primer ensayo mide el número de caídas para producir cierto nivel de daños en la muestra y en este ensayo nos permite comparar:

1. Diferencia de comportamiento entre hormigón normal y hormigón reforzado con fibra de acero;

2. Diferencia de comportamiento entre hormigones sometidos a carga estática y a impacto.

Pruebas en laboratorio han registrado un incremento notable a la resistencia de hormigones reforzados con fibra de acero de aproximadamente 6-7 veces en comparación a hormigones tradicionales.

## **2.5 Usos actuales del hormigón reforzado con fibra de acero**

Desde aproximadamente 1960 se tiene registro de uso de fibras de acero en hormigones como integración o incluso sustitución del acero de refuerzo tradicional ha pasado desde el campo experimental en laboratorios hasta la aplicación industrial que usan de manera rutinaria esta tecnología como por ejemplo: elementos prefabricados monolíticos, pisos industriales, hormigón proyectado, revestimientos prefabricados de túneles, etc.

Inicialmente las fibras de acero fueron incorporadas al hormigón para controlar el comportamiento frágil y poder así tener mayor control en las fisuras comunes del hormigón debido a fuerzas de tracción e incluso de fraguado. Actualmente se refuerza al hormigón con mallas electrosoldadas para evitar fisuras superficiales por contracción del hormigón. Lo beneficioso del uso de la fibra de acero es que las fibras logran distribuirse a lo largo de todo el volumen del elemento creando así una armadura en tres dimensiones. A continuación se detallan las aplicaciones más comunes para el hormigón reforzado con fibra de acero.

### **2.5.1 Pavimentos**

El hormigón empleado en la construcción de pavimentos requieren características particulares para soportar algunas exigencias estructurales como:

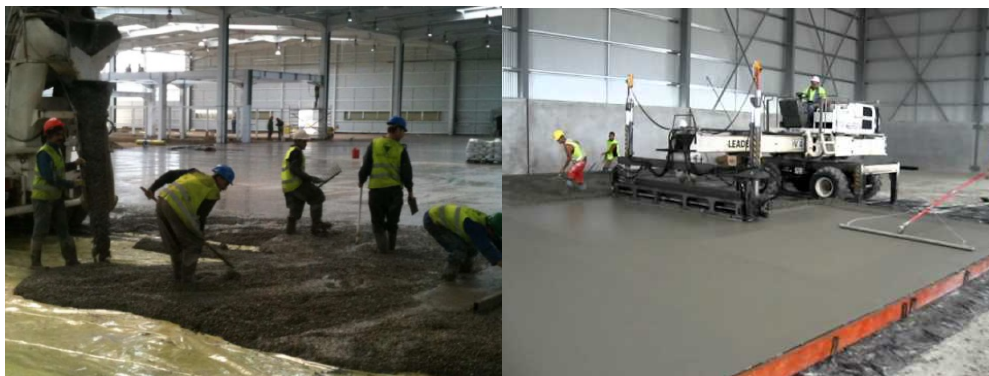
- Resistencia a la fatiga: Muy importante debido a los repetidos ciclos de carga de tráfico.

- Resistencia a la flexo tracción: Al ser un elemento estructural que transmite las cargas de tráfico al terreno o base, requiere una elevada resistencia a la flexotracción.
- Trabajabilidad: El concreto debe ser trabajable para su fácil colocación en obra y su gran cohesión.
- Retracción: La retracción debido a los cambios físicos que se producen en el hormigón a través del tiempo es uno de los problemas más comunes, provocando la aparición de fisuras superficiales no deseadas.

El hormigón reforzado con fibra de acero responde a cada una de estas exigencias antes mencionadas, y es por esta razón que su aplicación en pavimentos ha tenido gran éxito a nivel mundial. Sus aplicaciones están entre:

- Pavimentos industriales
- Pavimentos de aeropuertos
- Tableros de puentes
- Pavimentos para contenedores
- Pavimentos especiales.

A continuación se muestran algunas obras realizadas en pavimentos con fibras de acero:



**Figure 13 Fibras de acero en contrapisos industriales**

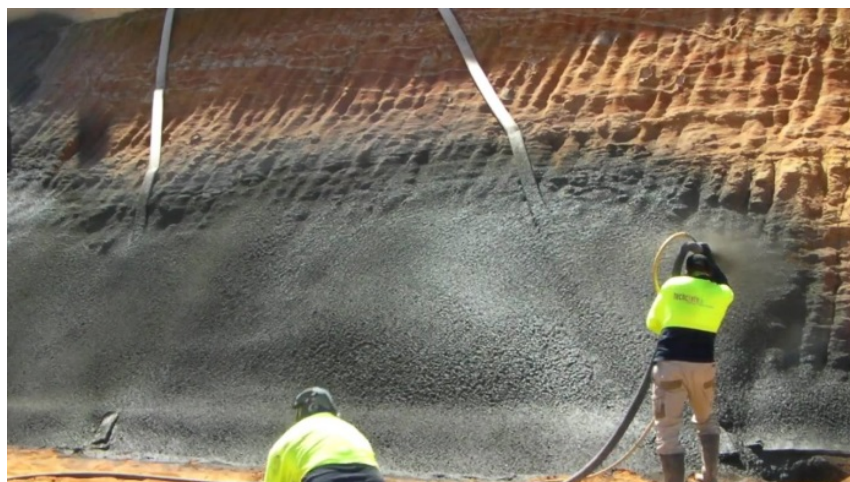


**Figure 14 Hormigón con fibra de acero en losas**

### **2.5.2 Hormigón proyectado.**

El hormigón proyectado tiene varios usos, pero entre sus principales aplicación está el revestimiento de túneles y estabilización de taludes. Específicamente el uso de las fibras de acero para reforzar el hormigón proyectado con el cual se construyen los soportes primarios de los túneles, es una alternativa frecuente en todo el mundo, debido a las grandes ventajas técnicas que ofrece esta metodología respecto al tradicional uso de mallas metálicas electro soldadas.

Se entiende como hormigón proyectado a aquel que es enviado a través de una maquina neumática a gran velocidad contra una superficie. La fuerza con la cual sale despedida el hormigón produce la compactación del material contra dicha superficie.



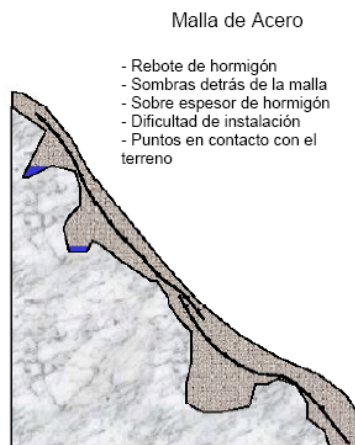
**Figure 15 Proyección de hormigón para estabilización de talud**



Uno de los aditivos principales que se usa en el hormigón proyectado o también llamado shotcrete es el acelerante de fraguado. El uso de este aditivo ayuda al hormigón que inicie un fraguado inicial rápido, permitiendo de esta manera una adherencia casi instantánea a la superficie.

Las características principales del shotcrete son:

- Aspecto rugoso y áspero dependiendo del tamaño máximo del agregado empleado y de la técnica de proyección.
- El shotcrete usa en su mayoría gran cantidad de agregado fino
- Su colocación se la realiza mediante capas llegando a espesores de hasta 10cm, impidiendo la formación de fisuras continuas de contracción.
- La resistencia a compresión habitual esta entre 200 y 450 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo del tipo de obra. Cabe recalcar que se puede implementar mayor resistencia a la compresión según sea necesario.
- Una de las propiedades más importantes del shotcrete es su adherencia inmediata a cualquier superficie.



**Figure 16 Shotcrete con malla**   **Figure 17 Shotcrete con fibra de acero**



**Figure 18 Vía Collas-Tababela por (Presidencia de la República del Ecuador)**

## **2.6 Propiedades mecánicas de vigas de hormigón armado**

### **2.6.1 Introducción a vigas de hormigón armado**

Existen fallas catastróficas a nivel mundial debido al colapso de vigas de hormigón armado como por ejemplo en 1950 en los galpones de la Fuerza Aérea norteamericana, o el colapso del puente ‘La Concorde’ en 2006 (vea la figura 20) las cuales han llevado a poner más importancia en los refuerzos de estructuras de hormigón sobre todo en la resistencia al cortante ya que estas estructuras fallaron inmediatamente sin un previo aviso ya que nunca llegaron a su máxima deflexión.

Las vigas de hormigón con bajo acero de refuerzo fallarán al corte casi inmediatamente al presentarse las fisuras diagonales (fisuras de corte). Los parámetros que aportan la resistencia a este tipo de estructuras como sección transversal, dimensiones de la viga, carga y propiedades de los materiales. Cuando se considera que el hormigón posee resistencia al corte inadecuado, los códigos actuales del ACI proponen el aumento de acero de refuerzo transversal (estribos) para resistir al corte.



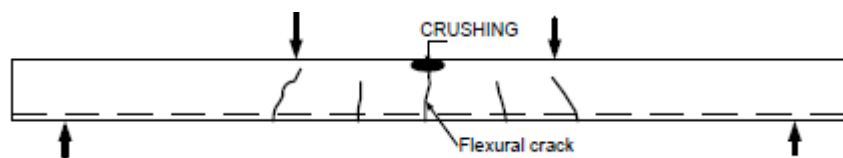
**Figure 20** Falla de viga de hormigón armado en galpones de la Fuerza Aérea de Estados Unidos.



**Figure 19** Colapso de viga de hormigón armado debido a la falla por cortante.

### 2.6.2 Clasificación de comportamiento de vigas de hormigón armado a flexión.

Cuando el acero de refuerzo longitudinal es incorporado a una viga, la resistencia a flexión se incrementa significativamente. La viga desarrollará más fisuras producto de la flexión como se muestra en la **Figura 20** debido a que el acero de refuerzo redistribuye los esfuerzos a el concreto. Por lo general las vigas de hormigón armado fallan debido a fuerzas de momento o corte.



**Figure 21** Modo de fisuras en vigas con refuerzo longitudinal

Según (Wight, 2009) el modo de falla se puede agrupar en tres categorías según la función del  $a/d$ :

- Vigas esbeltas: vigas con luces cortas ( $1 < a/d < 2.5$ )
- Vigas delgadas: vigas que tienen la relación en 2.5 a 6
- Vigas muy delgadas: Vigas que exceden a 6 en la relación

Algunos investigadores como (Dinh, 2009) describen las fallas de acuerdo al patrón de fisura primaria como en la figura que se muestra a continuación y listada de la siguiente manera:

- Falla a la flexión
- Falla a la tensión-corte
- Falla a la tensión-diagonal
- Falla por corte-compresión

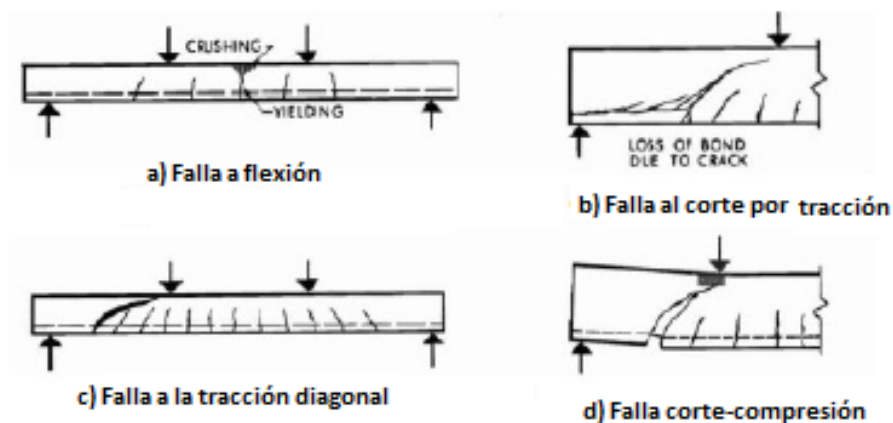


Figure 22 Modos de falla (Dinh, 2009)

### 2.6.3 Refuerzo longitudinal

El índice de refuerzo longitudinal ( $p$ ) es otro factor que tiene influencia en la resistencia al corte en vigas. Investigadores han demostrado que el incremento del refuerzo en acero longitudinal ( $p$ ) ha incrementado la capacidad de resistencia al corte en vigas de hormigón armado. Cuando se compara a una viga equivalente con mayor acero de refuerzo longitudinal, un reducido factor  $p$  equivale a mayor deformación por flexión, fisuración mas grande y la resistencia al cortante muy baja (Dinh, 2009).

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 ( NEC 11) toda sección de un elemento a flexión en que se requiera acero a tracción, el valor de  $A_s, \min$  no debe ser inferior al mayor de los siguientes valores:

donde:

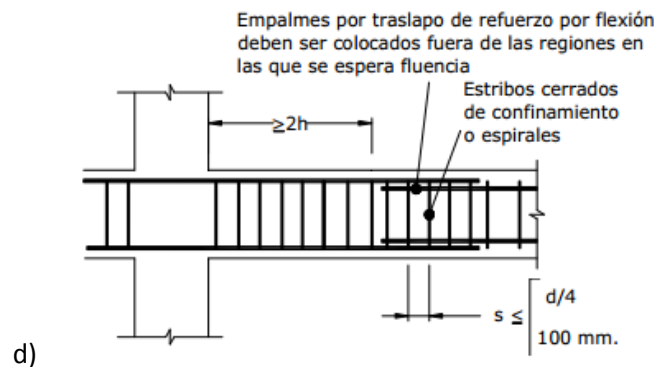
$$\frac{1.4}{f_y} b_w d, \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} b_w d, \text{ mm}^2$$

**bw**= ancho del alma  
**d**= distancia de la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal

Se debe colocar estribos para confinamiento en toda la longitud de varilla de refuerzo longitudinal. El espaciamiento máximo de este refuerzo en esas zonas no puede exceder  $d/4$  o 100mm, tal como se muestra en la **Figura 22**. No se debe hacer traslapes en:

- Los nudos de unión
- Una distancia igual a  $2h$  de los extremos del elemento
- Sitios donde el análisis indique la posibilidad de formación de rotulas plásticas.



**Figure 23 Confinamiento en traslape de varillas de refuerzo longitudinal**

#### 2.6.4 Refuerzo transversal

La función del acero de refuerzo transversal es exclusivamente para resistir fuerzas de corte, la resistencia al cortante se basa en un esfuerzo cortante promedio sobre toda la sección transversal efectiva  $b_w d$ . En un elemento con refuerzo para cortante se supone que una parte del cortante la proporciona el concreto y el resto los estribos. (ACI318, 2008)

La resistencia al cortante proporcionada por el concreto  $V_c$  es la misma para vigas con y sin refuerzo para cortante. Se permite refuerzo para cortante como:

- Estribos perpendiculares al eje del elemento

- Refuerzo electro soldado de alambre con alambres localizados perpendicularmente al eje del elemento.
- Espirales, estribos circulares y estribos cerrados de confinamiento.

#### 2.6.4.1 Resistencia a cortante en vigas de hormigón sin refuerzo en el alma

La combinación de fuerzas de flexión y corte en elementos estructurales genera un estado conocido como esfuerzos biaxiales.

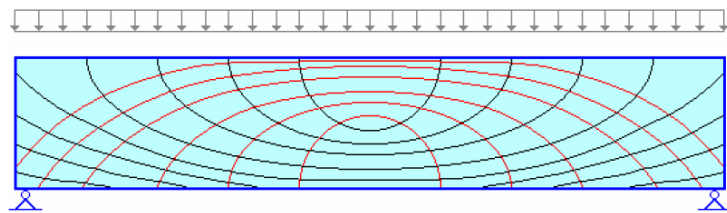


Figure 24 Líneas de esfuerzos principales en vigas

Tomando en cuenta la figura 41 podemos apreciar un estado tensional con flujo de fuerzas de compresión desde un apoyo al otro en forma de arco, tal y como se muestra en la siguiente figura 42

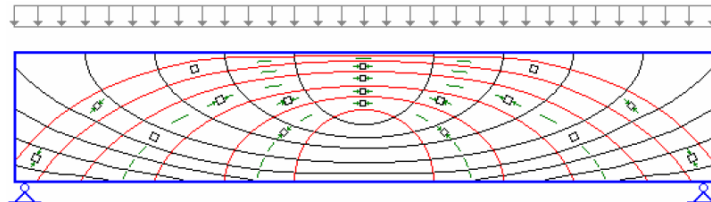
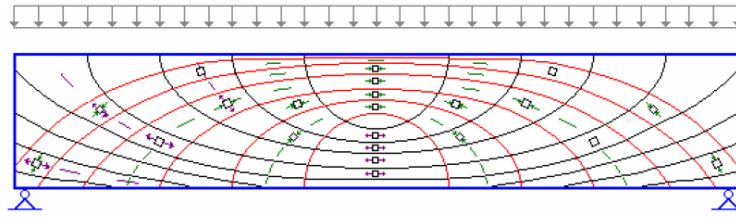


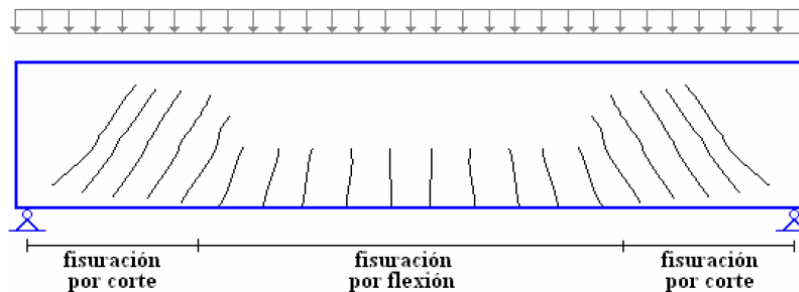
Figure 25 Viga sometido a compresión

En cambio los flujos de fuerzas a tracción se encuentran en dirección perpendicular a los esfuerzos de compresión. Las fuerzas de tracción son las más críticas para el hormigón debido a su carencia de resistencia a este tipo de esfuerzos.



**Figure 26** Viga sometido a tracción

Para este tipo de estructura analizada, las fisuras por tracción se concentran en la zona central, mientras que las fisuras provocadas por esfuerzos cortantes dominan las zonas cercanas a los apoyos.



**Figure 27** Fisuración por corte y flexión

Para esto el esfuerzo mínimo a corte del hormigón simple se calcula mediante la siguiente expresión:

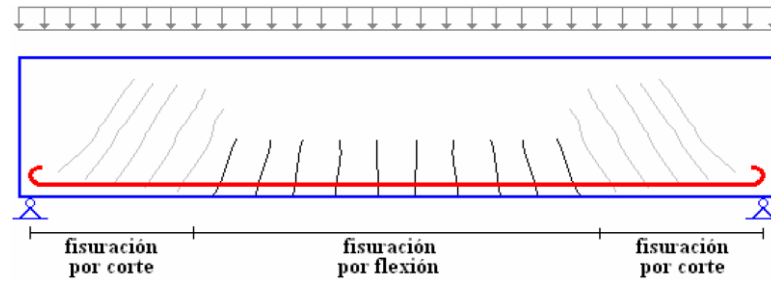
$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c}$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{280}$$

$$V_c = 8.87 \text{ Kg/cm}^2$$

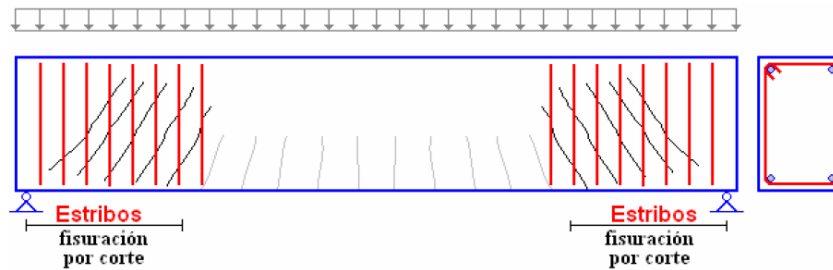
#### **2.6.4.2 Acero de refuerzo en la resistencia a corte en vigas de hormigón armado.**

Como se mencionó anteriormente las fisuras por flexión se producen en la zona inferior central de la viga y se propaga verticalmente hacia arriba. La propagación de este tipo de fisuras se controla con el acero de refuerzo longitudinal en la fibra inferior.



**Figure 28 Armadura longitudinal en fisuras de flexión**

Pero las fisuras de tracción por corte se producen cerca de los apoyos y en las fibras centrales (donde se producen los mayores esfuerzos). Para esto el acero resistente al corte tiene forma de estribos transversales los mismos que van “cosiendo” las fisuras.



**Figure 29 Armadura transversal para fuerzas de corte**

### 2.6.4.3 Diseño de vigas de hormigón armado sometidos a fuerzas de corte.

Las vigas de hormigón armado poseen dos mecanismos para resistir fuerzas de corte:

- Resistencia del hormigón
- Resistencia del acero transversal

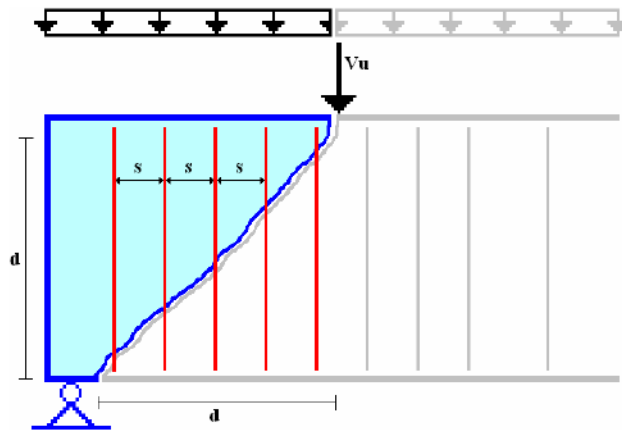
Entonces la resistencia al corte viene dado por la siguiente expresión (ACI318, 2008)

$$V_n = V_c + V_s$$

Donde:

- V<sub>n</sub>: Resistencia nominal a corte
- V<sub>c</sub>: Resistencia a corte del hormigón simple
- V<sub>s</sub>: Resistencia a corte del acero de refuerzo





**Figure 30 Refuerzo transversal cruzando zona de fisuración por cortante**

La relación entre la resistencia de cortante última y la resistencia nominal es (ACI318, 2008)

$$V_u = \Phi \cdot V_n$$

Donde:

$V_u$ : Resistencia de corte última

$V_n$ : Resistencia nominal de corte

$\Phi$ : Factor de reducción de corte según ACI 318 es de 0.85



La resistencia al corte del acero de refuerzo bajo la suposición que el acero ha entrado en fluencia, es el producto del área de todos los estribos que cruzan la zona de fisura por el esfuerzo de fluencia. La ecuación se muestra a continuación:

$$V_s = n \cdot A_v \cdot F_y$$

Donde:

$V_s$ : Resistencia a corte del acero de refuerzo

$n$ : Numero de estribos que pasan por la fisura

$A_v$ : Sección transversal de acero de cada estribo que cruza la fisura (2 veces la sección transversal del acero de refuerzo)

$F_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo transversal

## **CAPITULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL**

### **3.1 Introducción.**

En esta fase experimental de la tesis se estudia y analiza el comportamiento estructural a flexión, corte y comportamiento de las fisuras en vigas de hormigón al tener incorporado el 1.5% de fibras de acero Dramix 80/60. Primero se realizará pruebas de laboratorio para determinar las características de los agregados y poder diseñar el hormigón que usaremos cuya resistencia a la compresión será de  $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . Analizar si el hormigón con fibra de acero puede sustituir el acero de refuerzo transversal tradicional en vigas. El proceso experimental está constituido por el diseño del hormigón y la elaboración de 24 vigas que serán analizadas a flexión para medir sus propiedades, 24 cilindros con distintos contenidos de fibra para poder determinar si la resistencia a compresión se ve afectada con el incremento de estos.

### **3.2 Descripción de las muestras a ensayar.**

La tesis consiste en ensayar las 24 vigas de hormigón armado reforzado con fibra de acero. Las dimensiones de las vigas son de 15x15x50cm según la norma (ASTM 1609, 2010) en total se ensayarán 24 vigas de hormigón; 12 con 1.5% fibra de acero, 6 vigas tienen una varilla de 10mm de acero de refuerzo y 1.5% de fibra de acero, 6 vigas de hormigón armado con una varilla de 10mm, 6 vigas de hormigón armado con dos varillas de 10mm y por último 9 vigas de hormigón simple sin ningún reforzamiento. Con estos ensayos se busca determinar las propiedades que aportan las fibras de acero a flexión corte y comportamiento de fisuras.

También se ensayarán cilindros según norma ASTM C39 cuyas medidas son de 15cm de diámetro y altura de 30cm. Se utilizarán 9 cilindros de hormigón simple y 9 cilindros de hormigón con 1.5% de fibra de acero para analizar la resistencia a compresión al incluir las fibras de acero y comprobar los efectos que provoca en sus propiedades mecánicas.

### 3.3 Análisis y ensayos de los materiales empleados.

#### 3.3.1 Fibra de acero

Un solo tipo de fibra se utilizará en el desarrollo experimental. La fibra utilizada es la Dramix RC 80/60 BN la cual es una fibra de alto desempeño con un módulo de Young 210.000 N/mm<sup>2</sup>, resistencia a la tracción de 1.225 N/mm<sup>2</sup>, longitud de la fibra 60mm y diámetro de 0.75mm, relación de aspecto de 80. La denominación RC se refiere a tener extremos en forma de ganchos y encolados en un pegamento hidrosoluble; BN por ser fibras brillosas de tensión normal.

Tipo de Fibra	Longitud mm	Diámetro mm	Relación Aspecto	Resistencia a tracción
RC8060BN	60	0.75	80	1.225



Figure 31 Fibra Dramix 80/60

Se usaron diferentes dosificaciones con la finalidad de poder determinar las diferentes propiedades de la fibra en el hormigón y verificar la posibilidad de que la fibra de acero aumente la resistencia al corte del hormigón. Los contenidos de fibra varían desde 0,5% (45 kg/cm<sup>3</sup>) a 1,5% (125 kg/m<sup>3</sup>) del volumen de hormigón.

### **3.3.2 Hormigón**

El hormigón utilizado para los ensayos será elaborado en el laboratorio de materiales de la Universidad de Guayaquil. El hormigón usará agregado de 19mm con arena homogenizada para lograr una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> pero para lograr este tipo de diseño primero se deberá realizar algunos ensayos de laboratorio para determinar las propiedades de los agregados los cuales se detallarán a continuación.

#### **3.3.2.1 Granulometría del agregado grueso**

El tamaño máximo en la clasificación de los agregados es muy importante debido a su efecto en las dosificaciones , economía y trabajabilidad del hormigón. El agregado grueso elegido en este diseño es de tamaño máximo 19mm y fue adquirido en la Cantera Calizas Huayco.

## ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO

Realizado en: Laboratorio Rufili

Lugar: Universidad de Guayaquil

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Que pasa	Especificaciones ASTM			
				2"	1,5"	1"	3/4"
2,5"				100	-----	-----	-----
2"				95-100	100	-----	-----
1,5"				-----	95-100	100	-----
1"	0			35-70	-----	95-100	100
3/4"	622	6,24	93,76	-----	35-70	-----	90-100
0,5"				10-30	-----	25-60	-----
3/8"	6158	61,82	31,94	-----	10-30	-----	20-50
No 4	2634	26,44	5,5	0-5	0-5	0-10	0-10
No 8	288	2,89	2,61	-----	-----	0-5	0-5
Fondo	260	2,61	0				
<b>Total</b>	<b>9962</b>						

Como resultado se encuentra considerado según el ASTM como material  $\frac{3}{4}$ ".

### 3.3.2.2 Peso volumétrico varillado, peso volumétrico suelto, densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado grueso.

#### -Peso volumétrico Varillado

En este proceso se colocó agregado en el recipiente, hasta un tercio de su altura. Con la barra compactadora de punta redondeada se apisona el material con 25 golpes que son distribuidos por toda la superficie de la muestra teniendo cuidado de no golpear el fondo del recipiente.

Luego se coloca nuevamente agregado pero hasta los dos tercios de la altura y se repite el proceso al igual que en la última capa. Se debe tener cuidado de que la barra no golpee la capa anterior.

Por último se determina la masa del recipiente más el agregado. Se resta el peso del recipiente y se divide para su volumen.

Es decir, peso del suelo compactado dividido para el volumen

$$PVV = \frac{21,59}{0,014}$$

$$PVV = 1542,207 \text{ Kg/m}^3$$

#### **-Peso volumétrico suelto**

El peso volumétrico suelto se aplica para cualquier agregado que sea menor a 100mm. Se llena el recipiente con agregado hasta una altura que no exceda los 5cm del borde superior. Se determina la masa del material utilizando la barra compactadora y se calcula con peso la siguiente formula y con los siguientes datos obtenidos en laboratorio:

Peso suelto del material dividido para el volumen

$$PVS = \frac{20,227}{0,014}$$

$$PVS = 1444,79 \text{ Kg/m}^3$$

#### **-Densidad Saturada Superficialmente Seca**

$$D_{SSS} = \frac{A}{B - C}$$

$$D_{SSS} = \frac{971.8}{1000 - 594.8}$$

$$D_{SSS} = 2398,321 \text{ Kg/m}^3$$

### -Absorción

$$\%abosorción = \frac{1000 - 971.8}{971.8}$$

$$\%abosorción = 2,9$$

### 3.3.2.3 Granulometría del agregado fino

El material fino se adquirió igualmente en la Cantera Calizas Huayco el cual es denominado Arena Heterogeneizada

### ENSAYO GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO

Realizado en: Laboratorio Rufili

Lugar: Universidad de Guayaquil

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificación ASTM
3/8"	0	0	0	100	100
No 4	22,4	2,24	2,24	97,76	95-100
No 8	100,8	10,08	12,32	87,68	80-100
No 16	335,2	33,52	45,84	54,16	50-85
No 30	282	28,2	74,04	25,96	25-60
No 50	119,9	11,99	86,03	13,97	10-30
No 100	84,9	8,49	94,52	5,48	2-10
Fondo	54,8	5,48	100	0	0
Total	1000	100			

$$\text{Modulo de Finura} = \frac{\sum \%RA}{100}$$

$$\text{Modulo de Finura} = 3.14$$

### 3.3.2.4 Peso volumétrico suelto, densidad saturada superficialmente seca y absorción del agregado fino.

#### -Peso volumétrico suelto

El peso volumétrico suelto se aplica para cualquier agregado que sea menor a 100mm. Se llena el recipiente con agregado hasta una altura que no exceda los 5cm del borde superior. Se determina la masa del material utilizando la barra compactadora y se calcula con peso la siguiente formula y con los siguientes datos obtenidos en laboratorio:

$$V \text{ Vo. Molde} = 0.0028$$

$$A \text{ P. Molde} = 2512 \text{ gr}$$

$$W \text{ P. molde + suelo} = 6666.3 \text{ gr}$$

$$PVS = \frac{W - A}{V} \qquad PVS = \frac{4154,3}{0,0028}$$

$$PVS = 1483,678 \text{ Kg/m}^3$$

#### -Densidad Saturada Superficialmente Seca

$$B \text{ Peso Agregado} = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Agua} = 200 \text{ cc}$$

$$\text{Lectura Final} = 369 \text{ gr}$$



$$DSSS = \frac{500}{369}$$

$$DSSS = 1355.013 \text{ Kg}/m^3$$

### 3.3.2.5 Contenido de humedad del agregado fino

El contenido de humedad del agregado es muy importante para poder determinar la relación agua cemento del hormigón. Para determinar el contenido de humedad del agregado fino se lo realizó de la siguiente manera:

- Se pesa la bandeja metálica
- Pesar la bandeja con la muestra.
- Formar una capa de espesor uniforme del material en la bandeja
- Secar en el horno para obtener el nuevo peso.

$$abosorción = \frac{500 - 483.7}{483.7}$$

$$\%abosorción = 3,36$$

### 3.4 Diseño de hormigón

Una vez determinadas las características físicas de los agregados del hormigón se procede al diseño de la mezcla siguiendo los siguientes pasos:

1. Seleccionar la resistencia promedio requerida  $F'_{cr}$  para lograr la resistencia mínima especificada  $F'_c$ .
2. Selección del tamaño máximo del agregado grueso.
3. Revenimiento requerido del hormigón.
4. Calcular el volumen de agua de mezclado requerido.
5. Determinar el porcentaje de aire atrapado.
6. Relación de agua/cemento dependiendo la resistencia requerida.
7. Considerar las proporciones de agregado fino y grueso teniendo en cuenta la absorción de los agregados.

### Relación Agua Cemento (a/c)

La relación agua/cemento de este diseño se escoge según tabla 6, de acuerdo a la resistencia a compresión que se requiere para este diseño. Según tabla 6 la relación Agua/Cemento adecuada para nuestro diseño es de 0,48.

Resistencia a la compresión $f'c =$ Kg/cm <sup>2</sup>	Relación A/C	
	concreto sin aire incluido	concreto con aire incluido
420	0,4	-
350	0,48	0,4
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
180	0,72	0,63

Tabla 6 Relación Agua Cemento (a/c)

### DISEÑO DE HORMIGÓN HIDRAULICO

OBRA: Tesis Cristian Pozo		
ORDENADO POR:		
<b>Resistencia a la compresión <math>f'c</math> (k/cm<sup>2</sup>): 280</b>		
Revenimiento pedido:	10,00	cm
<b>AGREGADO GRUESO</b>		T.Máx.= 3/4 "
P.V.V. =	1542,207	k / m <sup>3</sup>
P.V.S. =	1444,785	k / m <sup>3</sup>
D.s.s.s.=	2398,321	k / m <sup>3</sup>
Absorción =	2,9	%
Abs.real =	3,1	%
<b>AGREGADO FINO</b>		
P-V.S. =	1483,678	k / m <sup>3</sup>
Ds.s.s. =	1355,013	k / m <sup>3</sup>
M.F. =	3,14	
Absorción =	3,36	%
Abs.real =	3,56	%
a/c =	0,5	
Agua (litros)	205	
Aire (%) :	2	
V.Total de agua:	218,65	
<b># sacos /m<sup>3</sup>:</b>	<b>8,746</b>	
cemento (kg/m <sup>3</sup> )	437,306	
Coefficiente V.A.G.C.:	0,63	

### DOSIFICACIÓN PARA UN SACO DE CEMENTO

CEMENTO:	50	kg
AGUA:	25	kg
ARENA:	38,578	kg
PIEDRA:	102,423	kg

### PESO EN KG. PARA 1 m<sup>3</sup> DE HORMIGON

CEMENTO:	437,31	kg.
AGUA:	218,65	kg.
ARENA:	337,41	kg.
PIEDRA:	895,801	kg.

### DOSIFICACIÓN DE FIBRA POR 1M3 DE HORMIGÓN

CEMENTO:	437,306	kg.
AGUA:	218,653	kg.
ARENA:	337,41	kg.
PIEDRA:	895,80	kg.
FIBRA 80/60	125	kg.
VOL. DE FIBRA	1.5	%

#### 3.5 Ensayos al hormigón fresco.

De acuerdo con la norma (ASTM C-172) sobre los procedimientos al concreto fresco para conocer sus propiedades se deben seguir las siguientes pautas:

- El tiempo que transcurre para al obtención de dos muestras debe ser como máximo 15 minutos.
- Las muestras se deben transportar al lugar donde se moldearan teniendo que efectuar un re-mezclado con una lámpara después de ser transportado.
- Las pruebas al hormigón fresco se deberán efectuar máximo a los 5 minutos de obtener la muestra.
- Para los ensayos a compresión se debe moldear las muestras mínimo dentro de los 15 minutos.

- El tiempo de obtención y uso de la muestra debe ser en el menor tiempo posible y en todo momento protegerlo del sol, viento y otras fuentes de evaporación.

Hay que tomar en cuenta que todas estas pautas están establecidas con la finalidad de que la muestra que se obtenga sea la óptima desde el punto de vista estadístico, ya que el incumplimiento de una de estas puede afectar el resultado y la investigación.

### **3.5.1 Revenimiento**

El ensayo con el Cono de Abrams según la (ASTM C143 ) nos proporciona información importante sobre la trabajabilidad del hormigón. La trabajabilidad está relacionada con la compactación del hormigón y su facilidad para fluir.

Una mezcla con bajo revenimiento puede ser más trabajable que un mismo hormigón con revenimiento alto, ya que un excesivo revenimiento puede producir segregación en sus componentes. Cuando se necesite un hormigón con mayor revenimiento las normas ASTM aceptan el uso de plastificantes o a su vez de vibradores para facilitar su colocación en obra.

Para realizar este ensayo se siguió los siguientes pasos:

- Se coloca el cono sobre una superficie plana y limpia pisando las dos aletas del cono para mantenerlo firme en una sola posición.
- Se llena el cono con hormigón en 3 capas, cada una de las capas se deben compactar con 25 golpes con la varilla redondeada evitando llegar a la capa inferior.
- Una vez completado el proceso para las 3 capas se retira el exceso de hormigón de la parte superior utilizando la varilla redondeada para enrazar.
- Se limpia el hormigón en exceso de los alrededores del cono y se procede a levantar el cono sin movimientos bruscos, laterales o torsionales.

- Finalmente se coloca el cono invertido con la varilla de acero encima de tal manera que la varilla se extienda hasta el hormigón revenido. Medimos la distancia del hormigón hasta la parte inferior de la varilla.

Las distintas mezclas de hormigón con sus respectivas cantidades de fibra de acero tienen un revenimiento que se detalla a continuación:

### **Asentamiento de hormigón simple**

Norma: ASTM C 143-00

F'cr	Fibra kg/m <sup>3</sup>	Revenimiento
280	-	10cm
As=		10cm

### **Asentamiento de hormigón reforzado con 35kg/m<sup>3</sup> de fibra DRAMIX**

Norma: ASTM C 143-00

<b>F'cr</b>	<b>Fibra kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Revenimiento</b>
280	35	7cm
As=		7cm

### **Asentamiento de hormigón reforzado con 125kg/m<sup>3</sup> de fibra DRAMIX**

Norma: ASTM C 143-00

<b>F'cr</b>	<b>Fibra kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Revenimiento</b>
280	125	1,5cm
As=		1,5cm

### 3.6 Ensayos al hormigón endurecido

#### 3.6.1 Resistencia a la compresión

Se elaboraron varios cilindros que se detallarán a continuación para entender el comportamiento de la resistencia a la compresión en los 7, 14 y 28 días de curado. Estas muestras tienen dimensiones de 15cm de diámetro y 30 cm de altura las cuales fueron ensayadas en el Laboratorio Ruffilli de la Universidad Guayaquil. Los resultados de los cilindros ensayados se explicarán a continuación:

#### Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto simple

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 1,1	11-nov-14	18-nov-14	7	31000	175.42
CPC 1,2	11-nov-14	18-nov-14	7	28000	158.44

Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 1,3	11-nov-14	25-nov-14	14	38000	215.04
CPC 1,4	11-nov-14	25-nov-14	14	37500	212.21

Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 1,5	11-nov-14	09-dic-14	28	49500	280.12
CPC 1,6	11-nov-14	09-dic-14	28	49000	277.29



Figure 32 Ensayo de cilindros a compresión

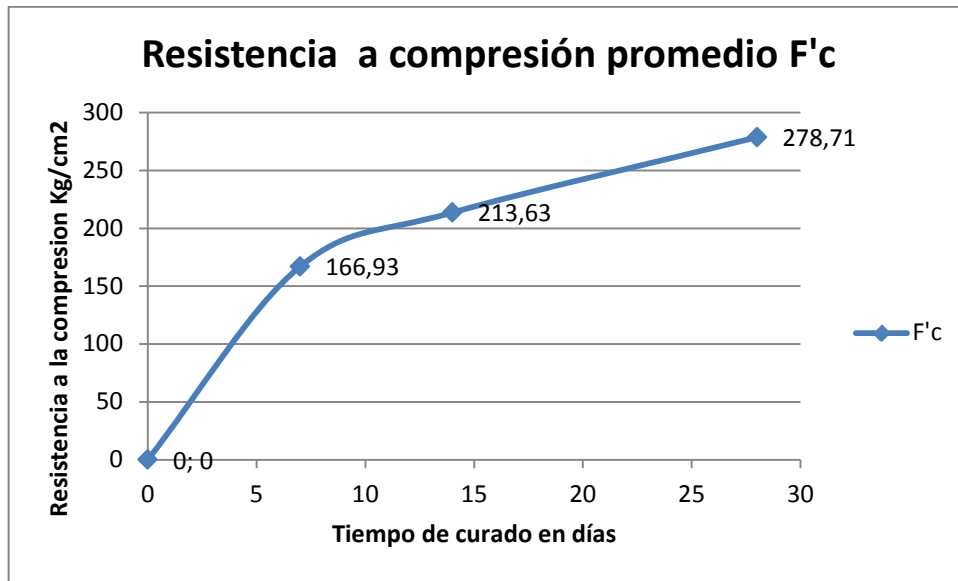
**Promedio de muestras ensayadas**

<b>Días de curado</b>	<b>F'c Promedio Kg/cm2</b>	<b>F'c de Diseño Kg/cm2</b>	<b>% resistencia adquirida</b>
7	166.93	280	59.62
14	213.63	280	76.29
28	278.71	280	99.54



Figure 33 Modo de falla de cilindros a compresión

**Gráfico de resistencias promedio F'c de hormigón simple**



**Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto con 1.5% de fibra de acero Dramix 80/60**

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 2,1	11-nov-14	18-nov-14	7	20000	113.18
CPC 2,2	11-nov-14	18-nov-14	7	19000	107.71

Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 2,3	12-nov-14	26-nov-14	14	23000	130.15
CPC 2,4	12-nov-14	26-nov-14	14	25000	141.47



Elemento	Toma de muestra	Fecha de rotura	Días	Carga máxima Kg	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>
CPC 2,5	12-nov-14	10-dic-14	28	25000	141.47
CPC 2,6	12-nov-14	10-dic-14	28	28000	158.44



Figure 34 Cilindro con 1.5% de fibra de acero

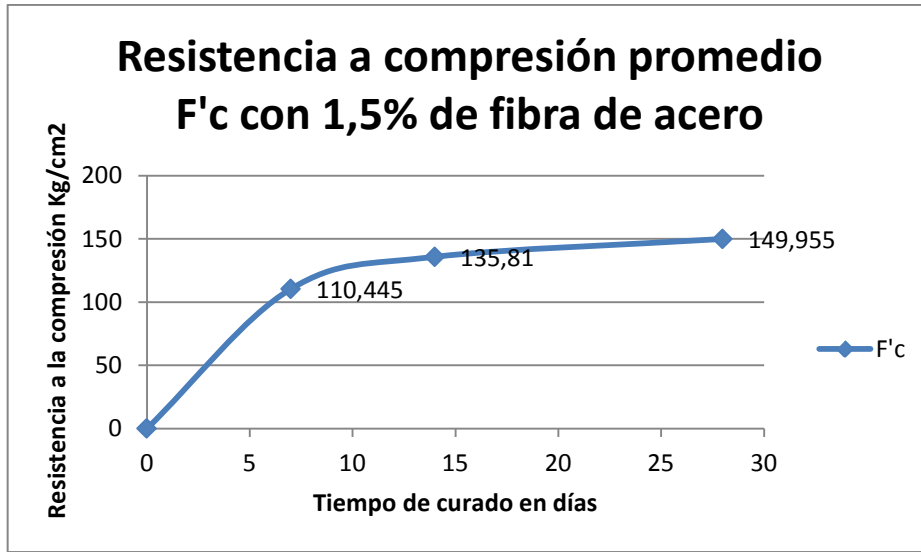
**Promedio de muestras ensayadas a compresión con 1.5% de fibras Dramix**

Días de curado	F'c Promedio Kg/cm <sup>2</sup>	F'c de Diseño Kg/cm <sup>2</sup>	% resistencia adquirida
7	110.45	280	39.45
14	135.81	280	48.50
28	149.95	280	53.55



Figure 35 Modo de falla en cilindros con 1.5% de fibra de acero

Gráfico de resistencias promedio F'c de hormigón con 1.5% de fibra de acero



### 3.6.2 Resistencia a la flexión

#### Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto simple

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,1	11-nov-14	18-nov-14	7	2350	31,33	3,13
3,2	11-nov-14	18-nov-14	7	2300	30,67	3,07

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,3	11-nov-14	25-nov-14	14	2700	36,00	3,6
3,4	11-nov-14	25-nov-14	14	2600	34,67	3,47

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,5	11-nov-14	09-dic-14	28	3350	44,67	4,47
3,6	11-nov-14	09-dic-14	28	3300	44,00	4,40



Figure 36 Ensayo a flexión en vigas de hormigón simple

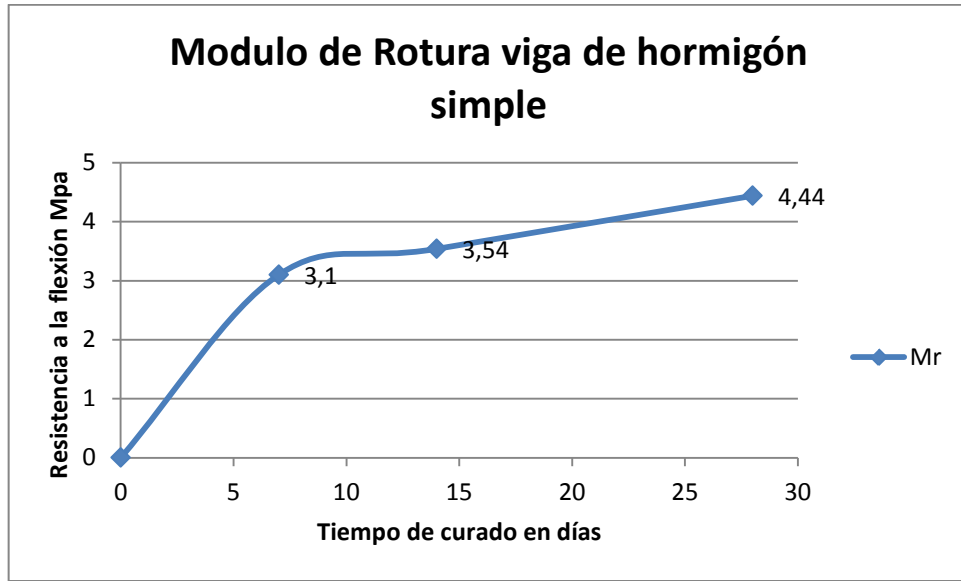
### Promedio de resistencia a la flexión en vigas de hormigón simple

Días de curado	Módulo de rotura requerida	Módulo de rotura promedio	% resistencia adquirida
7	4.5 MPa	3.1 MPa	68.89
14	4.5 MPa	3.54 MPa	78.67
28	4.5 MPa	4.44 MPa	98.67



Figure 37 Modo de falla viga hormigón simple

**Gráfico de resistencias promedio a flexión de hormigón simple**



**Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto con 1,5% de fibra de acero Dramix 80/60**

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,1	11-nov-14	18-nov-14	7	3700	49,33	4,93
3,2	11-nov-14	18-nov-14	7	3250	43,33	4,33

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,3	11-nov-14	25-nov-14	14	4000	53,33	5,33
3,4	11-nov-14	25-nov-14	14	3800	50,67	5,07

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
3,5	11-nov-14	09-dic-14	28	5800	77,33	7,73
3,6	11-nov-14	09-dic-14	28	5600	74,67	7,47



Figure 38 Ensayo de vigas de hormigón con 1.5% de fibra de acero

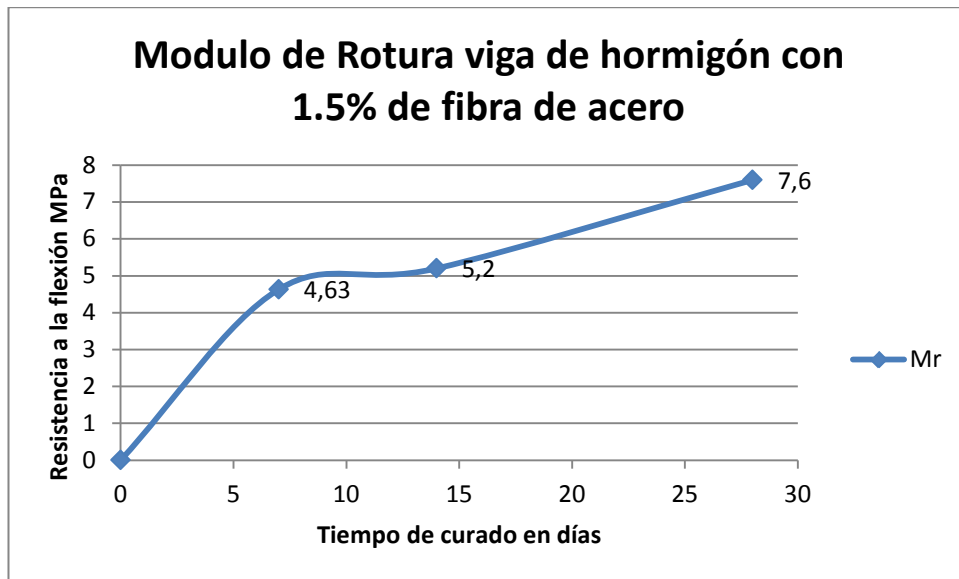
**Promedio de resistencia a la flexión en vigas de hormigón con 1.5% de fibra**

Días de curado	Módulo de rotura requerida	Módulo de rotura promedio	% resistencia adquirida
7	4.5 MPa	4.63 MPa	102.96
14	4.5 MPa	5.2 MPa	115.56
28	4.5 MPa	7.6 MPa	168.88



Figure 39 Modo de falla de viga con 1.5% de fibra de acero

**Gráfico de resistencias promedio a flexión de hormigón con 1.5% de fibra de acero**



**Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto con 1,5% de fibra de acero Dramix 80/60 y 1 varilla de 10mm**

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
4,1	12-nov-14	19-nov-14	7	5000	66,67	6,67
4,2	12-nov-14	19-nov-14	7	7000	93,33	9,33

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
4,3	12-nov-14	26-nov-14	14	7000	93,33	9,33
4,4	12-nov-14	26-nov-14	14	7500	100,00	10,00

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
4,5	12-nov-14	10-dic-14	28	8250	110,00	11,00
4,6	12-nov-14	10-dic-14	28	9000	120,00	12,00



Figure 40 Ensayo vigas con 1.5% de fibra y 1 varilla de 10mm

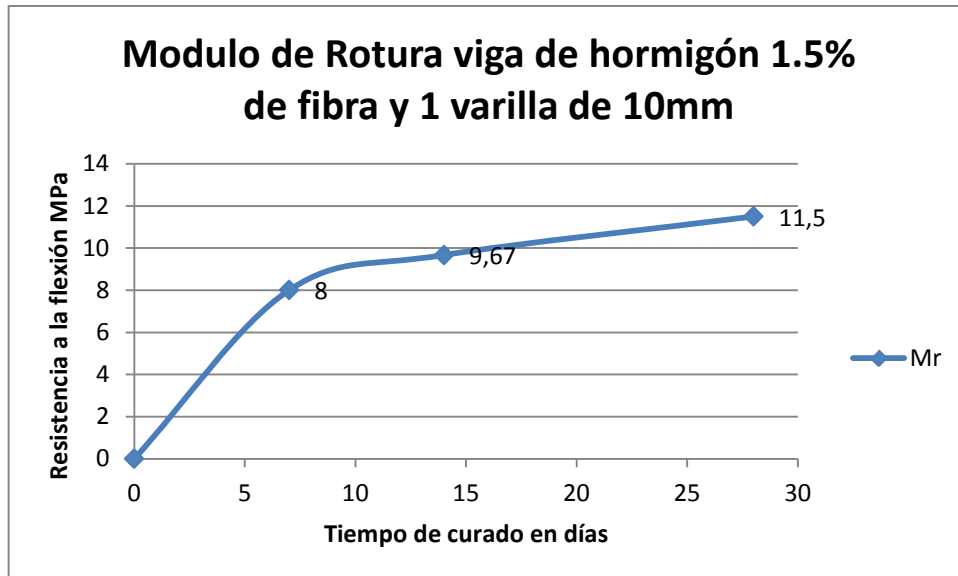
**Promedio de resistencia a la flexión en vigas de hormigón con 1.5% de fibra y 1 varilla de 10mm**

Días de curado	Módulo de rotura requerida	Módulo de rotura promedio	% resistencia adquirida
7	4.5 MPa	8 MPa	177.78
14	4.5 MPa	9.67 MPa	214.81
28	4.5 MPa	11.5 MPa	255.56



Figure 41 Modo de falla vigas de hormigón con 1.5% de fibra y 1 varilla de 10mm

**Gráfico de resistencias promedio a flexión de hormigón con 1.5% de fibra y 1 varilla de 10mm**



**Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto simple con 1 varilla de 10mm**

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
5,1	13-nov-14	20-nov-14	7	4500	60,00	6,00
5,2	13-nov-14	20-nov-14	7	4500	60,00	6,00

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
5,3	13-nov-14	27-nov-14	14	5500	73.33	7.33
5,4	13-nov-14	27-nov-14	14	6000	80.00	8.00

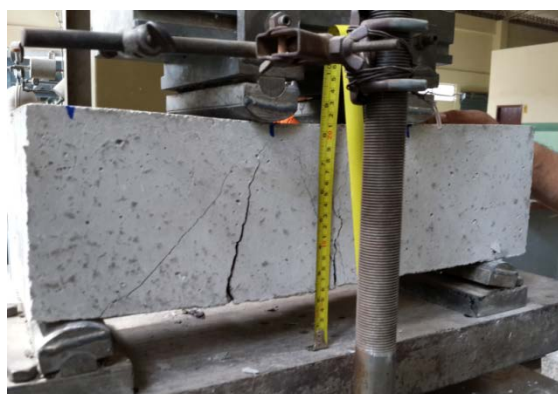


Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
5,5	13-nov-14	11-dic-14	28	5500	73.33	7.33
5,6	13-nov-14	11-dic-14	28	5400	72.00	7.20



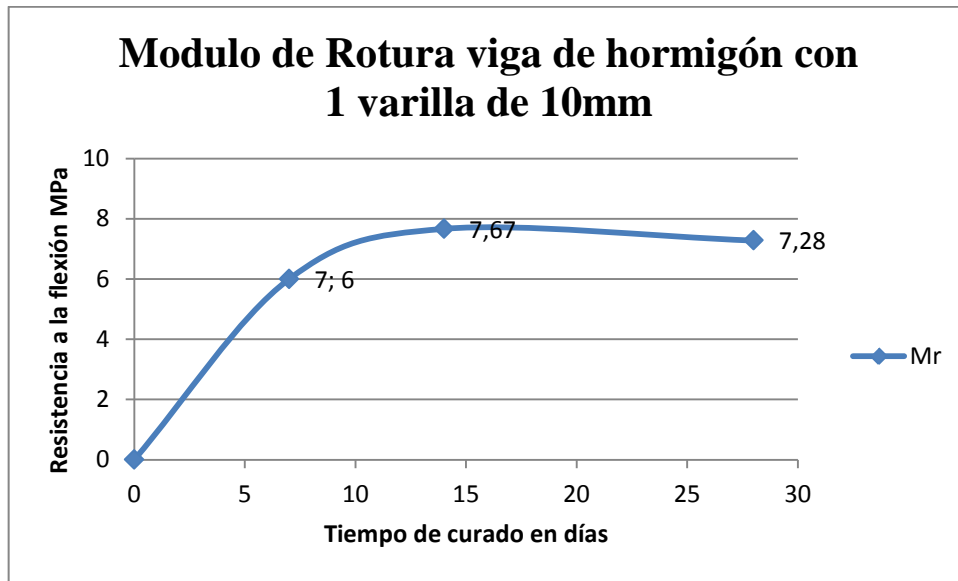
**Promedio a flexión de vigas de hormigón con 1 varilla de 10mm**

Días de curado	Módulo de rotura requerida	Módulo de rotura promedio	% resistencia adquirida
7	4.5 MPa	6.0 MPa	133.33
14	4.5 MPa	7.67 MPa	170.37
28	4.5 MPa	7.28 MPa	161.48



**Figure 42 Modo de falla de viga con 1.5% de fibra y 1 varilla de 10mm**

**Gráfico de resistencias promedio a flexión hormigón simple con 1 varilla**



**Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto simple con 2 varillas de 10mm**

Realizado en: Laboratorio Ruffilli

Ubicación: Universidad de Guayaquil

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
6,1	14-nov-14	21-nov-14	7	6000	80,00	8,00
6,2	14-nov-14	21-nov-14	7	5500	73,33	7,33

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
6,3	14-nov-14	28-nov-14	14	6500	86,67	8,67
6,4	14-nov-14	28-nov-14	14	7000	93,33	9,33

Viga No	Fecha		Edad días	Carga maxima Kg	Modulo de rotura MR	Mpa
	Toma	Rotura				
6,5	14-nov-14	11-dic-14	28	8250	110,00	11,00
6,6	14-nov-14	11-dic-14	28	9000	120,00	12,00



Figure 43 Ensayo a viga de hormigón simple con 2 varillas de 10mm

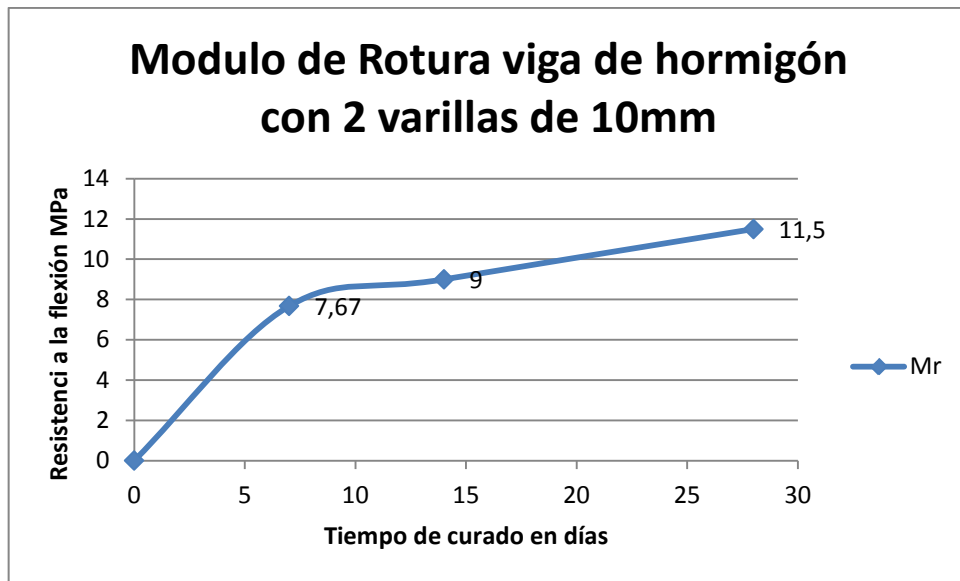
**Promedio de resistencia a la flexión en vigas de hormigón con 2 varillas de 10mm**

Días de curado	Módulo de rotura requerida	Módulo de rotura promedio	% resistencia adquirida
7	4.5 MPa	7.67 MPa	170.37
14	4.5 MPa	9.0 MPa	200.0
28	4.5 MPa	11.5 MPa	255.56

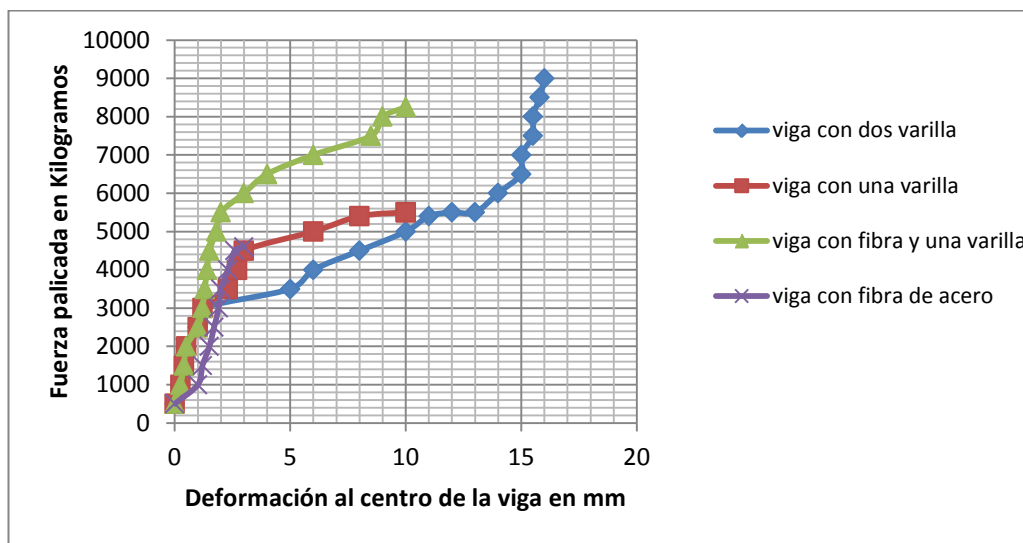


Figure 44 Modo de falla de viga de hormigón simple con 2 varillas de 10mm

**Gráfico de resistencias promedio a flexión de hormigón simple con 2 varillas**



**Resumen de resultados de pruebas de laboratorio**



## **CAPITULO 4: ANALISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Análisis de los materiales empleados**

Los resultados de las pruebas de laboratorio de los materiales empleados para realizar el hormigón fueron satisfactorias, llegando a las siguientes conclusiones:

El cemento utilizado Portland Tipo 1 cumplió las especificaciones técnicas dadas por el fabricante Holcim ya que no se encontró efecto negativo en los ensayos.

Tanto el agregado fino como el grueso fueron adquiridos directamente de la Cantera Calizas Huayco y presentaron valores dentro de lo especificado por la ASTM tanto en módulo de finura como en granulometría bien graduada del agregado grueso con tamaño máximo de 3/4'' ideales para realizar el diseño de hormigón sin ningún inconveniente.

La fibra de acero utilizada Dramix RC80/60BN es la de mayor desempeño fabricada por BEKAERT y distribuida a través de Ideal Alambre en Ecuador. Las fibras vienen encoladas lo cual dificulta la dispersión homogénea en la matriz de hormigón a la vez que para disolver el pegamento existen pérdidas de agua al diluirlo.

### **4.2 Análisis del ensayo al hormigón en estado fresco.**

Con el ensayo para medir el revenimiento de la mezcla de hormigón se apreció claramente que a medida que se aumenta el porcentaje de fibra de acero a la mezcla, el revenimiento es menor llegando así a la inclusión de 1.5% de fibra con un revenimiento de 1.5cm haciendo al hormigón poco trabajable. De esta manera

se observó una relación inversamente proporcional entre el volumen de fibras y el revenimiento.

Se debe considerar el uso de plastificantes para hormigones con más de 1% de fibras para evitar problemas en la compactación del hormigón al realizar las probetas cilíndricas para los ensayos a compresión y en las vigas para los ensayos a flexión, ya que espacios vacíos producto de la mala compactación pueden afectar los resultados de la investigación.

#### **4.3 Ensayo de resistencia a la compresión.**

Los resultados de resistencia a la compresión en los cilindros de hormigón simple fueron satisfactorias de acuerdo al diseño realizado para una resistencia final a los 28 días de  $280\text{kg/cm}^2$ , una característica principal que se pudo apreciar en los cilindros de hormigón simple es su falla repentina y explosiva al alcanzar su límite de resistencia a compresión como vemos en la Figura



**Figure 45 Modo de falla explosiva en cilindros de hormigón simple**

Pero la resistencia a compresión en cilindros con 1.5% de fibra se vio afectada considerablemente debido a las dificultades para realizar una correcta

compactación obteniendo así un cilindro con espacios vacíos en su interior como se aprecia la Figura 46, pero una característica notable de la inclusión de fibra de acero es la formación de micro fisuras, comportamiento dúctil y el ensanchamiento del cilindro producto del enlace de las fibras con la matriz de hormigón manteniendo una resistencia constante a pesar de su falla.



**Figure 46 Espacios vacíos por la dificultad en la compactación**

#### **4.4 Ensayos a flexión en vigas.**

##### **4.4.1 Vigas de hormigón simple.**

En las vigas de hormigón simple se obtuvo una falla repentina y brusca a flexión en el centro de la viga como se muestra en la **figura** obteniendo de esta manera el Modulo de Rotura que según diseño y resultados obtenidos a los 28 días  $M_r = 4.5$  MPa cumpliéndose las normas ASTM en la que se considera que el módulo de rotura es de 10% al 20% del  $F'_c$ .



**Figure 47 Modo de falla por flexión en vigas de hormigón simple**

#### **4.4.2 Vigas de hormigón con 1.5% de fibra de acero**

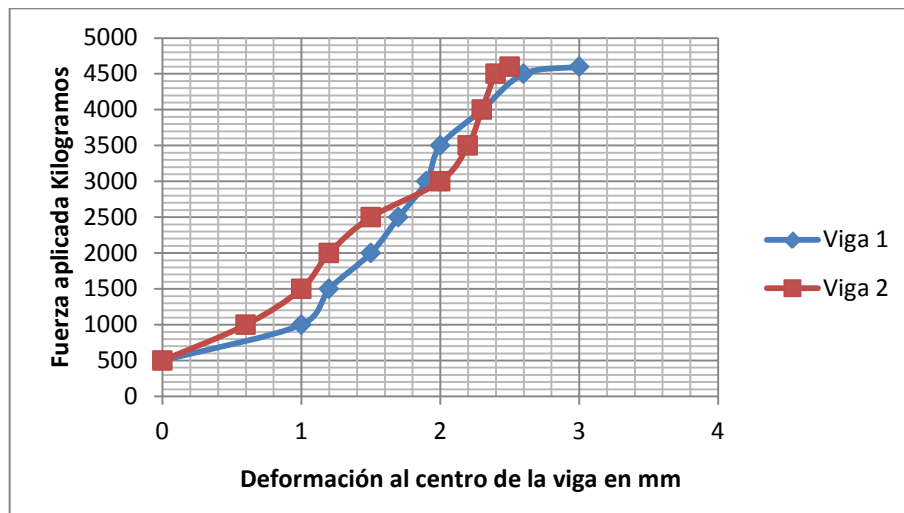
En vigas de hormigón reforzado con 1.5% de fibra de acero se encontraron grandes cambios, entre los más notables, se encuentra la superación del módulo de rotura de un hormigón tradicional a los 28 días con un hormigón reforzado con fibra de acero a los 7 días donde se obtuvo un  $M_r = 4.63$  MPa es decir, lo supera en casi un 3%. A los 28 días se obtiene un  $M_r = 7.6$  Mpa superando al hormigón tradicional en un casi 69%.

Otra característica importante en la flexión de vigas con fibra de acero es la aparición de micro fisuras y la deflexión de la viga antes de llegar a una falla lenta y constante debido al anclaje de las fibras a la matriz de hormigón como en la **figura** aparte de estas características se tomaron valores de deformación de la viga a medida que va resistiendo carga para realizar la curva esfuerzo deflexión obteniendo datos muy importantes como se muestran en la **figura** a continuación:





**Figure 48 Micro fisuras y adherencia de la fibra de acero en la matriz de hormigón**



Según la Norma (ACI318, 2008) en su sección de Hormigón Reforzado con Fibras de Acero en el artículo 5.6.6 especifica que dicho hormigón se considera aceptable para resistencia a cortante si cumple las siguientes condiciones:

- El volumen de las fibras de acero por metro cúbico de hormigón es mayor o igual a 60 Kg

- La resistencia obtenida en el ensayo a flexión sea del 90% para una deflexión en el centro de la luz de 1/300; y del 75% para una deflexión de 1/150

Además en el artículo 11.4.6 se establece que para vigas de hormigón con peso normal reforzado con fibra de acero, resistencia  $F'c$  que no supere 40MPa, altura de la viga no mayor de 600mm y  $V_u$  no mayor que  $\emptyset 0.17 \sqrt{f'c} bwd$ , puede colocarse el estribado mínimo especificado por el reglamento.

Entonces:

Requisito	Resistencia	L/300	L/150
Resistencia CPC 3.5	5800	5350 kg	4600 kg
Resistencia CPC 3.6	5600	5100 kg	4300 kg

En las dos vigas se cumple las condiciones del ACI 318 de resistencias mayores al 90% y 75% en deflexiones 1/300 y 1/150 respectivamente para uso de fibra de para soportar fueras de corte en vigas de hormigón armado.

#### 4.4.3 Vigas de hormigón con 1.5% de fibra de acero y una varilla de 10mm

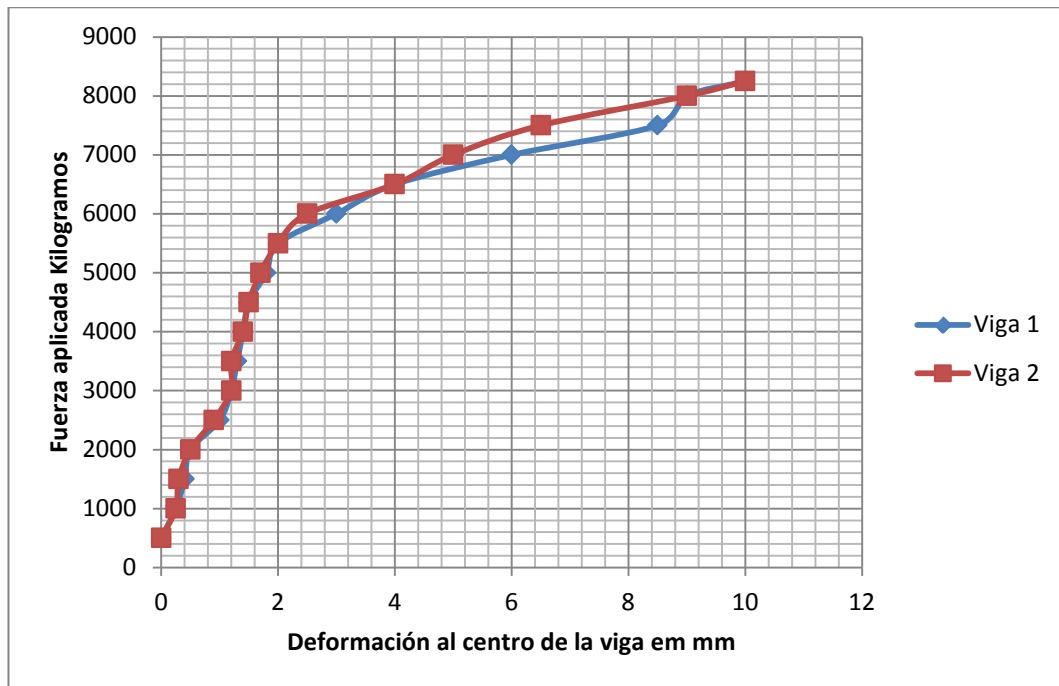
Adicional a este resultado se midió las propiedades a flexión y su comportamiento en vigas de hormigón con fibra con una varilla de 10mm y compararlo con vigas de hormigón armado con 1 y 2 varillas de 10mm.

Los resultados fueron los siguientes:

En vigas con de hormigón con 1.5% de fibra y una varilla de 10mm las propiedades fueron muy similares en el comportamiento de la aparición de micro fisuras y la falla por flexión en el centro de la viga. Pero en lo relacionado al  $M_r$

se llegó a obtener a los 28 días un valor de 12 MPa y deflexiones considerables que se muestran en la siguiente curva:

### CURVA ESFUERZO DEFORMACIÓN

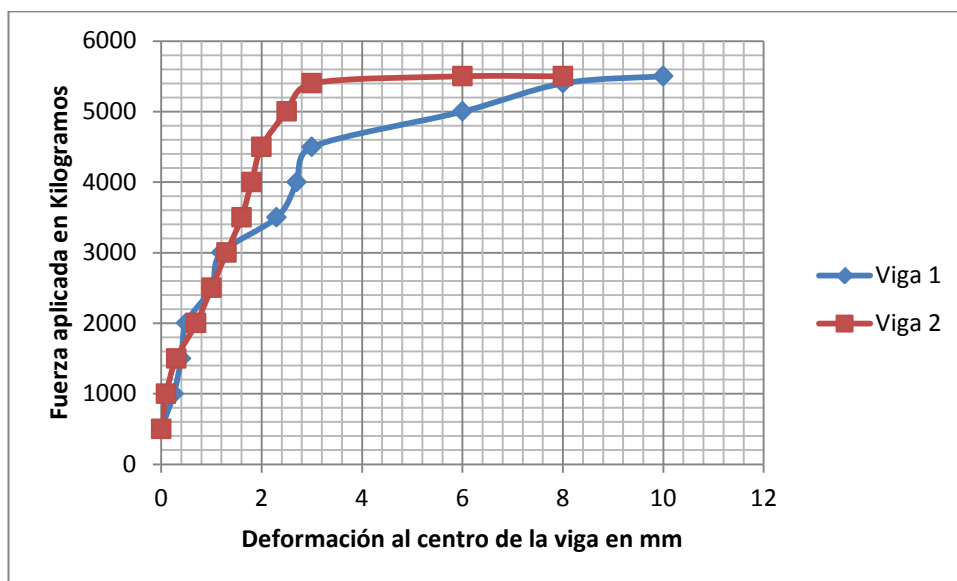


#### 4.4.2 Vigas de hormigón simple con una varilla de acero de 10mm

La diferencia es notable al compararlo con una viga de similares dimensiones pero de hormigón simple con 1 varilla de 10mm donde una de las principales características es el modo de falla por corte la cual se produce repentinamente en forma de una gran abertura diagonal como se muestra en la **figura**. Este modo de falla al corte se debe porque la varilla de acero de 10mm incorporada absorbe gran cantidad de la fuerza a flexión evitando el modo de falla en el centro de la viga.



A continuación se muestra la curva de esfuerzo deformación de la viga de hormigón simple con una varilla de 10mm como refuerzo.



Notamos claramente que se llega al punto donde únicamente los esfuerzos son soportados por el acero de refuerzo y no por el hormigón que según registros fotográficos falla al cortante.

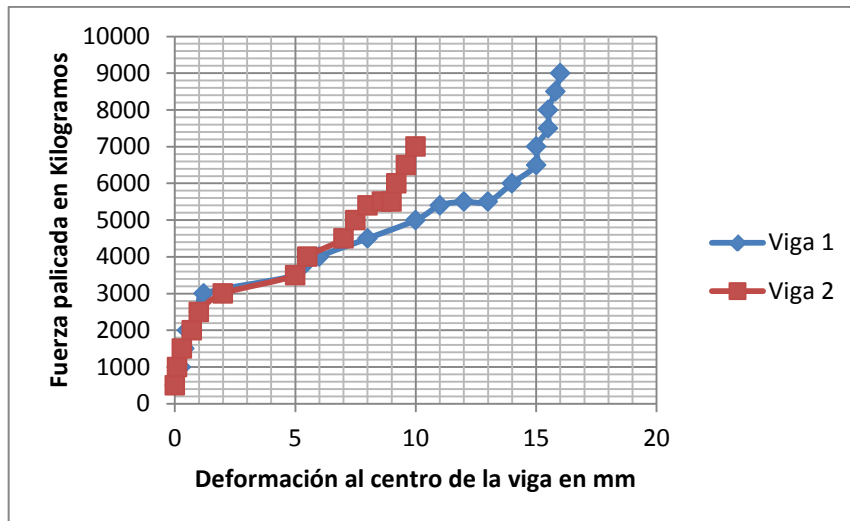
Además comparando la curva esfuerzo deformación entre una viga de hormigón reforzada con fibra de acero y una varilla de 10mm con una viga de hormigón armado con 1 varilla de 10mm vemos que tienen deflexiones similares, pero la viga con contenido de fibra resisten más carga para llegar a la misma deflexión.

#### 4.4.2 Vigas de hormigón simple con dos varillas de 10mm

Un caso muy similar se registra en vigas de hormigón simple con 2 varillas de refuerzo de 10mm. El mismo patrón de falla al cortante como se muestra en la **figura** con la diferencia se registran mayores deflexiones al centro de la viga.



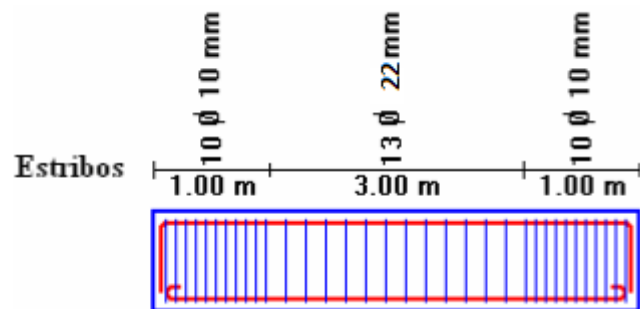
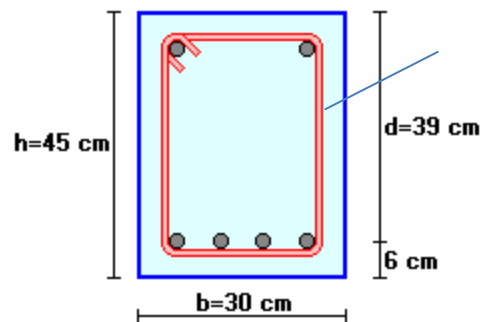
A continuación se muestra la curva de esfuerzo deformación para vigas de hormigón simple con 2 varillas de 10mm.



Una vez analizado el comportamiento de vigas con fibra de acero, con fibra y varilla y solo con varilla se propone lo siguiente:

### Análisis de costos:

Para una viga ejemplo de 30cm de base por 45cm de altura que estará solicitada por una fuerza cortante ultima  $V_u$  de 20T. Si el hormigón tiene una resistencia de  $280\text{kg/cm}^2$ , y el acero tiene un esfuerzo de fluencia  $F_y = 42000\text{ kg/cm}^2$



Como resultado en la viga de longitud de 5 metros podremos encontrar un total de 33 estribos.

Cada estribo tiene una longitud de 1.15m dando como total para la viga 37.95mts

El peso de la varilla de 10mm equivale a  $0.617\text{ kg/m}$  es decir  $23.42\text{kg}$

El costo de este tipo de acero de refuerzo transversal es de  $\$54.86$  el qq incluido el IVA, dando como total para esta viga un costo de material de  $\$28.55$

Para esta viga de volumen total de  $0.675\text{m}^3$  se tendría que utilizar  $84\text{ kg}$  de fibra de acero Dramix 80/60 equivalentes al 1.5% de volumen de fibras de acero costando  $\$263.42$

## **CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

La fibra de acero es un material que aporta importantes ventajas al hormigón que deben investigarse más a fondo para ser utilizada en aplicaciones estructurales. Varias vigas de iguales propiedades geométricas pero con diferentes tipos de contenido como porcentaje de fibra y cantidad de acero de refuerzo longitudinal fueron ensayadas a flexión para determinar el comportamiento estructural de la fibra de acero en vigas de hormigón. Los resultados obtenidos del desarrollo experimental nos permiten dar las siguientes conclusiones:

1. La inclusión de la fibra de acero al hormigón disminuye el revenimiento, lo cual hace necesario el uso de aditivos plastificantes o a su vez el uso de hormigón auto compactante a base de agregados finos para que las propiedades del hormigón en estado fresco no se vean afectadas.
2. Cabe recalcar que las propiedades mecánicas del hormigón en estado endurecido fueron beneficiosos, como en el caso del módulo de rotura logrando así resistencia a la flexión en un promedio de 7.6 Mpa equivalentes a un incremento de casi 69%
3. La resistencia a compresión fue afectada debido a la mala compactación por el excedente de fibras de acero provocando espacios vacíos.
4. Al ser sometidos a las pruebas de compresión la incorporación de fibra de acero al hormigón, se notó un modo de falla no explosivo provocando que el hormigón se convierta en un material dúctil

5. Las fibras de acero aumentan la capacidad al cortante en vigas de hormigón armado según los resultados expuestos y comprobados con el ACI 318.
6. El comportamiento de las fisuras se ve mejorado al añadir fibra de acero a la matriz de hormigón en donde se nota claramente la reducción del tamaño de las fisuras y la aparición de micro fisuras.
7. Es posible reducir el acero de refuerzo transversal como refuerzo mínimo con la inclusión de fibras de acero a la matriz de hormigón, pero no es posible reemplazar varillas de refuerzo longitudinal debido a que las deflexiones no lograron ser superadas o igualadas con las fibras de acero.
8. En concordancia al ACI 318 la dosis necesaria para considerar a las fibras de acero como sustituto al acero de refuerzo transversal debe ser mayor a  $60\text{kg/m}^3$ , en nuestro caso la dosificación fue de  $125\text{kg/m}^3$  y no presentó fisuras por tracción diagonal en la zona de máximo cortante. Esto nos permite inferir que efectivamente son las fibras de acero las que están absorbiendo los esfuerzos de corte en ausencia de los estribos.
9. Los costos de la fibra de acero son muy elevados para lograr reemplazar acero de refuerzo transversal debido a que son fibras importadas. Para efectos de esta investigación se logró adquirir cada funda de 20 kg de fibra RC80/60BN a un costo de \$62.72 por el distribuidor FERRO HECADU.

## **5.2 Recomendaciones**

Durante la investigación se encontraron algunos inconvenientes que pueden ser tomados en cuenta para futuras investigaciones en temas relacionados. Se recomienda lo siguiente:

1. Realizar diseños de hormigón auto compactantes con la finalidad de no tener problemas de espacios vacíos al incorporar 1.5% de fibra al



hormigón ya que este inconveniente puede alterar de manera negativa las propiedades mecánicas del hormigón.


2. Usar aditivos plastificantes ya que la incorporación de fibra de acero disminuye el revenimiento del hormigón, lo cual se debe tener en cuenta para efectos del diseño.
3. Realizar futuras investigaciones en vigas de dimensiones reales con los datos obtenidos en esta investigación para comprobar el rendimiento en elementos esbeltos y de grandes luces.
4. Actualmente ha salido al mercado nuevos tipos de fibra que no son comercializadas en el Ecuador como fibras de mayor desempeño de la misma marca Dramix como las fibras 5D lo cual se considera que se obtendrán mejores resultados.
5. No recomendamos el reemplazo de varillas longitudinales en vigas de hormigón armado y recomendamos el uso discreto en el reemplazo de varillas transversales por fibras de acero.
6. Se recomienda el uso de hormigones con fibra de acero como alternativa a la construcción de pavimentos por su elevado módulo de rotura y la capacidad de absorber deformaciones. Esto es una solución para el control de grietas por contracción en pavimentos de todo tipo.

## CAPITULO VI: ANEXOS Y BIBLIOGRAFIA


### 6.1 Anexos

Ficha técnica de fibras de acero

# Dramix®



**BEKAERT**  
better together



## DATA SHEET

R


C

80

60

B

N




RC-80/60-BN

**What is Dramix®?**

Dramix® steel fibres, from Industry specialist Bekaert, have set a new standard for concrete reinforcement with their unique combination of flexibility and cost-efficiency.

Dramix® is a cold drawn steel wire fibre with hooked ends for optimum anchorage. What you get from Dramix® reinforced concrete is ductility and high load bearing capacity. On top of that, you'll find a quick and easy way to an efficient and cost effective solution.


**RC-80/60-BN offers you:**

 **Dramix® Hi Perform**

Dramix® Hi Perform fibres provide high performance and crack resistance. These are products of choice to create optimal ductility. Dramix® Hi Perform is used for structural, designed applications, in situ, precast or sprayed.


GEOMETRY AND PERFORMANCE

length (l)




60 mm

diameter (d)



0,75 mm




Performance class: 80

4.600 Fibres/kg      Minimum dosage: 10 kg per m<sup>2</sup> (according to CE)  
Minimum fibre network: 2,8 km per m<sup>2</sup> (for 10 kg/m<sup>2</sup>)


MATERIAL PROPERTIES

Tensile strength: Rm nom: 1.225 N/mm<sup>2</sup>  
Tolerances: ± 7,5% Avg  
Young's Modulus (Emod): ± 210.000 N/mm<sup>2</sup>


PACKAGING



60 BAGS (20kg)  
1200 kg




90 BAGS (10kg)  
900 kg




BIG BAG  
1100 kg

STORAGE




KEEP DRY




NO STACKING

PRODUCT APPROVALS




CE




ASTM A820

• **CE LABEL:** Dramix® is certified for CE mark system 1: steel fibres for structural use. For detailed info: CE Info sheet available on request.

SYSTEM APPROVALS



ISO 9001



ISO 14001

• **ISO 9001:** All Dramix® plants are ISO 9001 certified. The same quality standards are applied.

• **ISO 14001:** Some plants are already ISO 14001 certified. All plants will be ISO 14001 certified before end 2011.

Bekaert will advise on the most suitable fibre for your application.

- For our recommendations on handling, dosing and mixing.  
- For composition and safe application and in the frame of Reach art.33.  
Please go to: [www.bekaert.com/dosingdramix](http://www.bekaert.com/dosingdramix)  
[infobuilding@bekaert.com](mailto:infobuilding@bekaert.com)

Modifications reserved.  
All details describe our products in general form only. For detailed information, product specifications available on request.

© 2010 Bekaert

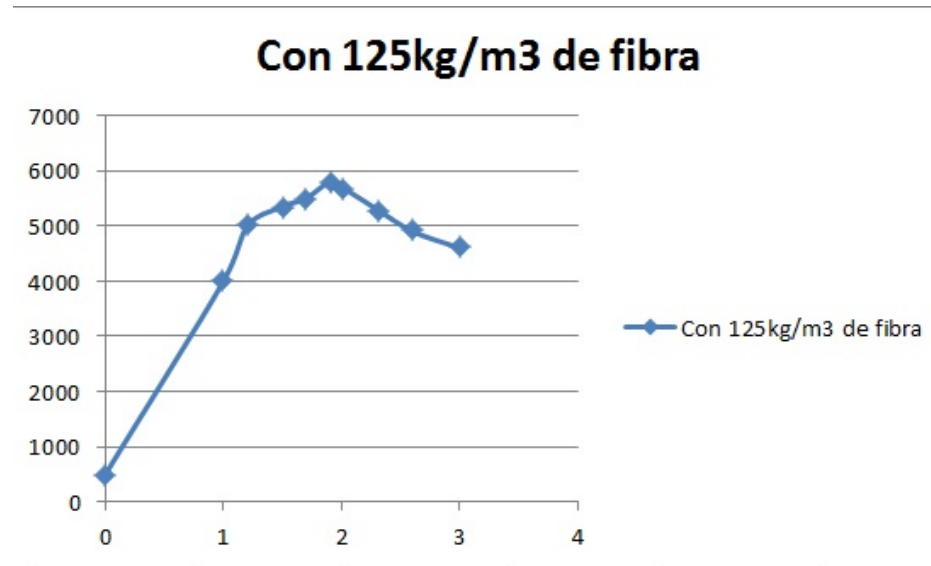
design by spunk.be - 71 26.06 - 102010

**ENSAYOS A FLEXIÓN VIGAS CON 1.5% DE FIBRA**

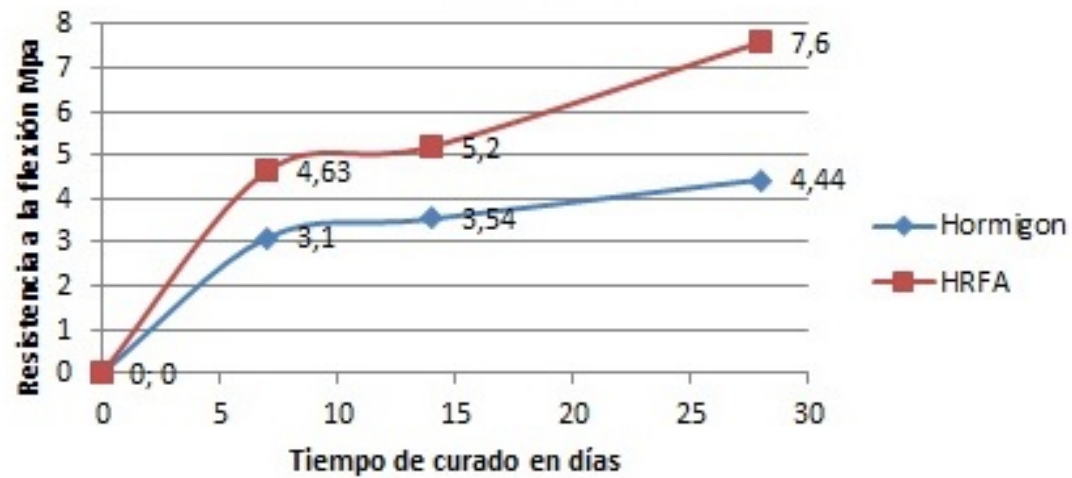
Viga	toma	rotura	edad	carga maxima	ab2	Modulo de rotura kg/cm2	Mpa	Mr requerida	% resistencia	% promedio
3,1	11-nov-14	18-nov-14	7	3700	0,013	49,333	4,933	4,5	110%	103%
3,2	11-nov-14	18-nov-14	7	3250	0,013	43,333	4,333		96%	
3,3	11-nov-14	25-nov-14	14	4000	0,013	53,333	5,333		119%	116%
3,4	11-nov-14	25-nov-14	14	3800	0,013	50,667	5,067		113%	
3,5	11-nov-14	09-dic-14	28	5800	0,013	77,333	7,733		172%	169%
3,6	11-nov-14	09-dic-14	28	5600	0,013	74,667	7,467		166%	

Tabla donde se detallan las roturas de vigas con fibra de acero a los 7, 14 y 28 días sometidos a flexión.

Vurva de esfuerzo deformación



Curva comparativa de vigas



**ENSAYOS A FLEXIÓN VIGAS SIMPLE CON 1 VARILLA DE 10MM**

Viga	toma	rotura	edad	carga maxima	ab2	Modulo de rotura kg/cm2	Mpa	Mr requerida	% resistencia	% promedio
5,1	13-nov-14	20-nov-14	7	4500	0,013	60,000	6,000	4,5	133%	133%
5,2	13-nov-14	20-nov-14	7	4500	0,013	60,000	6,000		133%	
5,3	13-nov-14	27-nov-14	14	5500	0,013	73,333	7,333		163%	170%
5,4	13-nov-14	27-nov-14	14	6000	0,013	80,000	8,000		178%	
5,5	13-nov-14	11-dic-14	28	5500	0,013	73,333	7,333		163%	161%
5,6	13-nov-14	11-dic-14	28	5400	0,013	72,000	7,200		160%	

Tabla donde se detallan las roturas de vigas con 1 varilla de acero de 10mm a los 7, 14 y 28 días sometidas a cargas de tracción para que fallen por corte

**ENSAYOS A FLEXIÓN VIGAS SIMPLE CON 2 VARILLAS DE 10MM**

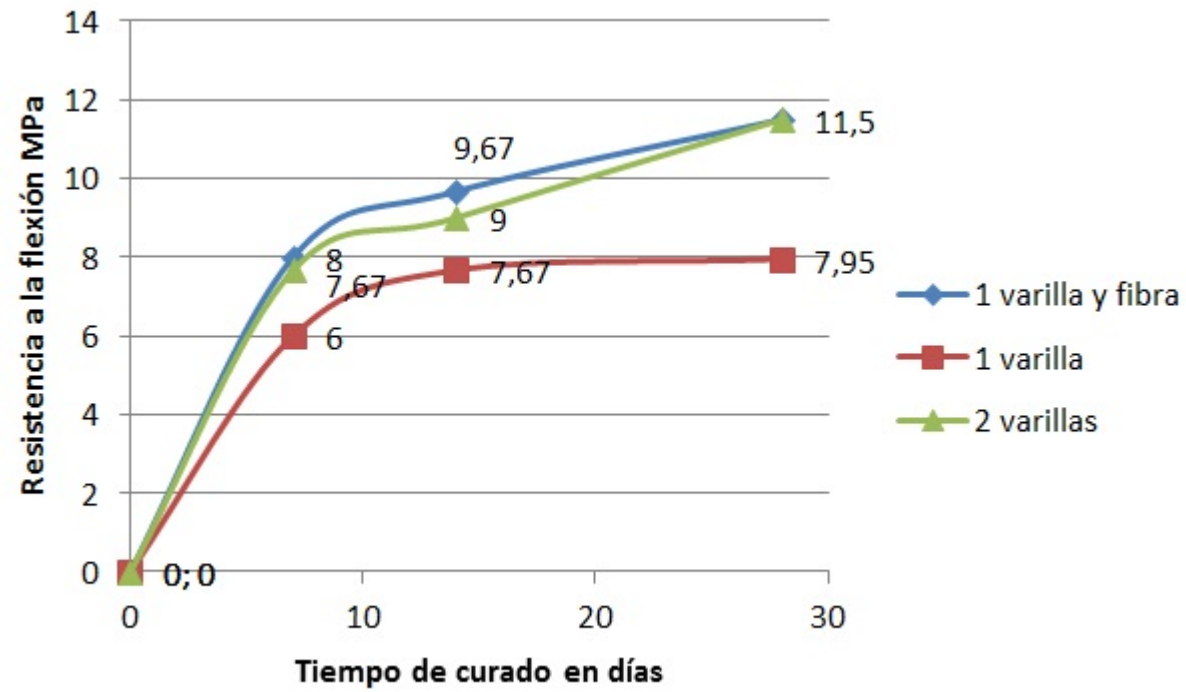
Viga	toma	rotura	edad	carga maxima	ab2	Modulo de rotura kg/cm2	Mpa	Mr requerida	% resistencia	% promedio
6,1	14-nov-14	21-nov-14	7	6000	0,013	80,000	8,000	4,5	178%	170%
6,2	14-nov-14	21-nov-14	7	5500	0,013	73,333	7,333		163%	
6,3	14-nov-14	28-nov-14	14	6500	0,013	86,667	8,667		193%	200%
6,4	14-nov-14	28-nov-14	14	7000	0,013	93,333	9,333		207%	
6,5	14-nov-14	12-dic-14	28	8250	0,013	110,000	11,000		244%	256%
6,6	14-nov-14	12-dic-14	28	9000	0,013	120,000	12,000		267%	

Tabla donde se detallan las roturas de vigas con 2 varillas de acero de 10mm a los 7, 14 y 28 sometidas a cargas de tracción para que fallen por corte

**ENSAYOS A FLEXIÓN VIGAS CON 1.5% DE FIBRA Y 1 VARILLA**

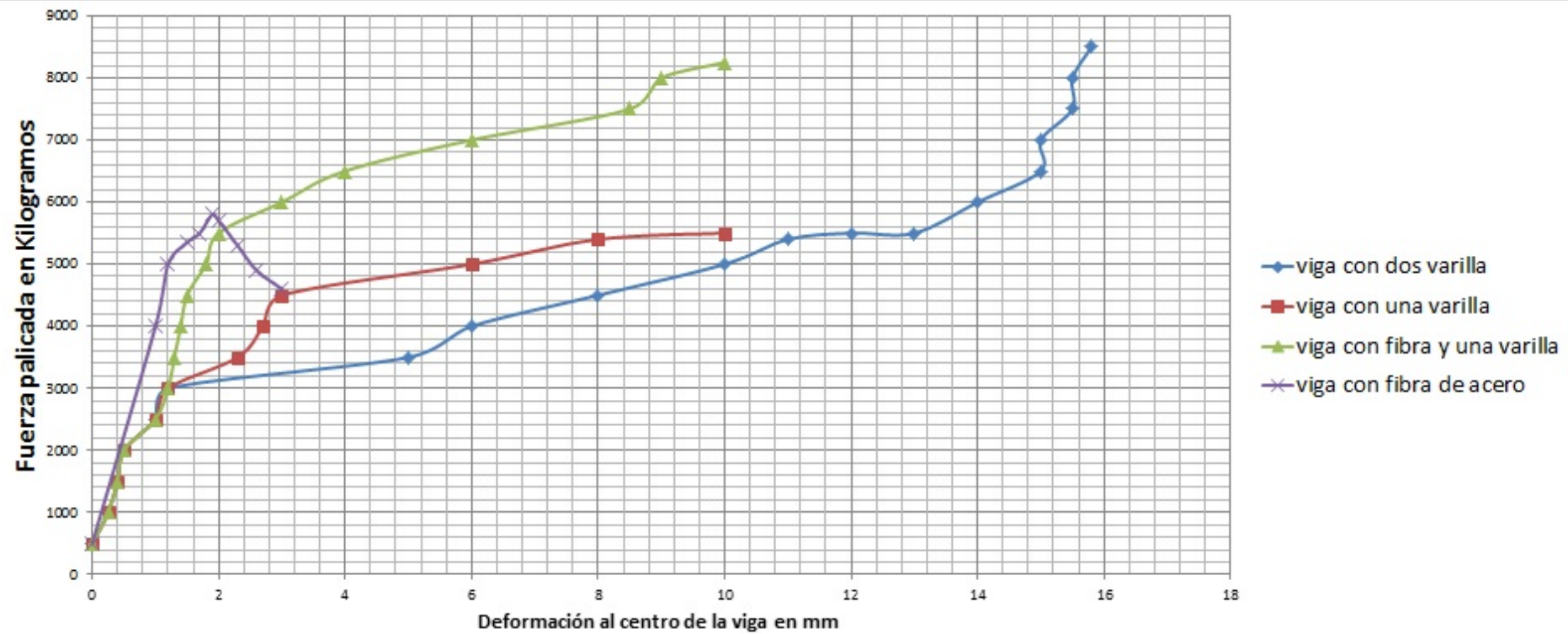
Viga	toma	rotura	edad	carga maxima	ab2	Modulo de rotura kg/cm2	Mpa	Mr requerida	% resistencia	% promedio
4,1	12-nov-14	19-nov-14	7	5000	0,013	66,667	6,667	4,5	148%	178%
4,2	12-nov-14	19-nov-14	7	7000	0,013	93,333	9,333		207%	
4,3	12-nov-14	26-nov-14	14	7000	0,013	93,333	9,333		207%	215%
4,4	12-nov-14	26-nov-14	14	7500	0,013	100,000	10,000		222%	
4,5	12-nov-14	10-dic-14	28	8250	0,013	110,000	11,000		244%	256%
4,6	12-nov-14	10-dic-14	28	9000	0,013	120,000	12,000		267%	

Tabla donde se detallan las roturas de vigas con 1 varillas de acero de 10mm con 125kg/m3 de fibra de acero a los 7, 14 y 28 días sometidas a cargas de tracción para que fallen por corte

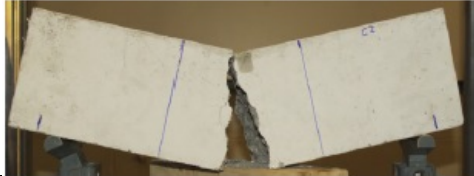
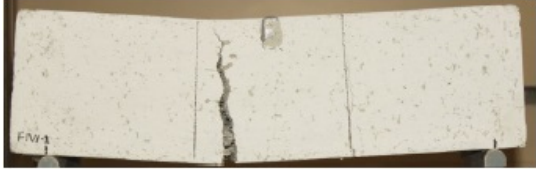





Comparación de curvas de módulo de rotura en vigas a los 7, 14 y 28 días





Curva comparativa de esfuerzo deflexión en todas las vigas

<p><b>Modo de falla en vigas de hormigón simple</b></p>	
<p><b>Modo de falla en vigas de hormigón con 1.5% de fibra</b></p>	
<p><b>Modo de falla en vigas de hormigón simple con 1 varilla</b></p>	
<p><b>Modo de falla en vigas de hormigón simple con 2 varillas</b></p>	
<p><b>Modo de falla en vigas de hormigón con fibra y 1 varilla</b></p>	

## REGISTRO FOTOGRÁFICO



Figure 50 Material grueso Calizas Huayco



Figure 49 Material Fino Calizas Huayco



Figure 52 Posición de varilla en vigas



Figure 51 Varillado de vigas



Figure 54 Desencofrado de muestras



Figure 53 Acabado con espátula



Figure 55 Curado de Cilindros en piscina



Figure 56 Curado de vigas en piscina



Figure 58 Falla al corte en vigas con 2 varillas



Figure 57 Falla al corte en vigas con 1 varilla



Figure 59 Ensayo de vigas a flexión

## Bibliografía

ACI Report 544 1R. (s.f.). Committee: Report 544 1R - Measurement of properties of fiber reinforced concrete.

NEC 11. (2011). *Norma Ecuatoriana de Construcción - Capítulo 2.*

ACI, 544-2R. (s.f.). Committee - *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete.*

ACI318. (2008). *AMAERICAN CONCRETE INSTITUTE.*

Aoude. (2008). *Structural Behaviour of teel fiber reinforces concrete members.* Montreal, Canada: Department of civil engineering and applied mechanics.

ASTM 1609. (2010). *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading.* Philadelphia: ASTM C1609.

ASTM C143 . (s.f.). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.*

ASTM C-172. (s.f.). *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete.*

ASTM C78. (s.f.). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).*

ASTM1602. (s.f.). *Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.*

ASTMC136. (s.f.). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.*

ASTMC33. (s.f.). *Standard Specification for Concrete Aggregates.*

ASTMC39M. (2004). Ensayos de concreto, resistencia a la compresión. En A. S. Materials.

ASTMC566. (s.f.). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.*

Barros, & Fiqueras. (1999). Flexural behavior of SFRC.

Bekaert. (s.f.). Belgica.

Dinh. (2009). *"Shear Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams without Stirrups Reinforcement."*. Michigan USA: Department of Civil Engineering, University of Michigan.

- Dupont. (2003). *Modeling and Experimental Validation of the Constitutive Law and cracking behaviour of steel fiber reinforced concrete*. Belgica: Department of Civil Engineering. Heverlee.
- Fantilli. (2009). *Multiple Cracking and Strain Hardening in Uniaxial Tension*. Italy: Cement and Concrete Research,.
- Grunewald. (2004). *Performance-Based Design of Self-Compacting Fiber Reinforced*. Delft, Alemania: Department of Structural and Building Engineering, Delft University of.
- Lee. (1990). *Constitutive modeling and flexural analysis of steel fiber reinforced concrete for estructural applications*. Michigan, United State: Department of Civil and Environmental Engineering. Ann Arbor, Michigan State University.
- Minelli. (2005). *SFRC under shear loading*. Italia.
- Nataraja. (1999). *Stress-Strain Curves for Steel-Fiber Reinforced Concrete Under Compression.* " *Cement and Concrete Composites*.
- Terreros, d. V. (2011). *Tecnologia del hormigon*. Guayaquil: ESPOL.
- Wight. (2009). *Reinforced Concrete Mechanics and Design*. USA: 5th edition.