

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE CONCRETOS DE  
21MPA y 44MPA REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

ANDRÉS FELIPE ÁVILA SARMIENTO

OSCAR ANDRÉS BURITICÁ RINCÓN

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.

2016

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A CORTANTE DE CONCRETOS DE  
21MPA y 44MPA REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

ANDRÉS FELIPE ÁVILA SARMIENTO

OSCAR ANDRÉS BURITICÁ RINCÓN

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Civil

Asesor Disciplinar:

ARNOLD GUTIÉRREZ TORRES

Asesora Metodológica:

LAURA CALA CRISTANCHO

UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C.

2016

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, a nuestros padres y a nuestros hermanos de los que siempre recibimos su apoyo y siempre nos brindaron lo que estuviera a su alcance.

A nuestros amigos y compañeros que estuvieron con nosotros durante nuestro periodo académico en el pregrado, de igual manera a La universidad La Gran Colombia por permitir realizar nuestros estudios y facilitarnos las herramientas para realizar este trabajo de grado.

Al personal técnico de los laboratorios quienes nos brindaron sus conocimientos al momento de realizar la etapa experimental del Proyecto.

Al asesor disciplinar Ingeniero Arnold Gutiérrez por su guía y apoyo durante todo el proceso del proyecto de grado, de igual manera a la asesora metodológica Laura Cala quien siempre estuvo dispuesta a brindarnos sus conocimientos.

A la Ingeniera Carolina Aponte de la empresa Proalco quienes nos facilitaron las Fibras de Acero Dramix para llevar acabo la presente investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2 OBJETIVOS.....	6
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3 JUSTIFICACIÓN.....	7
4 MARCO REFERENCIAL .....	9
4.1 MARCO ANTECEDENTES .....	9
4.2 MARCO REFERENCIAL TEÓRICO .....	18
4.2.1 Concretos .....	18
4.2.1.1 Concretos Convencionales .....	19
4.2.1.2 Concretos Especiales .....	20
4.2.1.3 Fabricación y Puesta en Obra.....	21
- Diseño de Mezcla.....	21
- Transporte y Manejo.....	21
- Colocación y Compactación .....	22
- Curado.....	23
4.2.2 Fibras .....	24
4.2.2.1 Clasificación de las Fibras .....	24
- Fibras Minerales .....	24
- Fibras Naturales .....	25
- Fibras más utilizadas en el mortero y concreto reforzado .....	26
- Propiedades Mecánicas de las fibras .....	26
4.2.2.2 Fibras de Acero.....	28
- Clasificación de las fibras según su geometría. ....	29
4.2.2.3 Aplicaciones.....	31

4.2.3	Esfuerzo a Cortante.....	33
4.2.3.1	Tipos de Falla al Corte.....	36
-	Tensión Diagonal.....	36
-	Esfuerzo cortante .....	36
-	Adherencia por cortante .....	37
4.2.3.2	Refuerzo al Corte.....	38
4.2.3.3	Elementos Sometidos a Corte .....	39
-	Vigas .....	39
-	Pilotes.....	40
-	Muros Estructurales.....	41
4.2.3.4	Resistencias.....	42
4.2.3.5	Metodologías existentes para medir Esfuerzos de Cortante.....	42
4.3	MARCO LEGAL.....	45
4.3.1	Normativa Respecto al Cemento.....	45
4.3.1.1	NTC 221 .....	45
4.3.2	Normativa Respecto al Agregado Fino y Grueso .....	46
4.3.2.1	NTC 98 .....	46
4.3.2.2	NTC 77 .....	47
4.3.2.3	NTC 176 .....	48
4.3.2.4	NTC 237 .....	49
4.3.2.5	NTC 92 .....	49
4.3.2.6	NTC 1495 .....	50
4.3.3	Normativa Respecto al Diseño de Mezcla.....	51
4.3.3.1	NTC 1377 .....	51
4.3.3.2	NTC 396 .....	51
4.3.3.3	NTC 673 .....	51
4.3.3.4	NSR 10 Título C.....	52
4.3.4	Normativa Respecto a las Fibras de Acero .....	52
4.3.4.1	NTC 3696 .....	52
4.3.4.2	NTC 5541 .....	53

4.3.4.3	NTC 5214 .....	53
4.3.5	Metodología del Estudio de Esfuerzos a Cortante.....	53
4.3.5.1	JSCE SF-6.....	53
4.3.6	Normativa Respecto a los Aditivos en el Concreto.....	54
4.3.6.1	NTC 1299 .....	54
5	DISEÑO METODOLÓGICO .....	55
5.1	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.....	55
5.2	ENFOQUE CUANTITATIVO.....	55
5.3	TIPO INVESTIGACIÓN .....	56
5.4	HIPÓTESIS .....	56
5.5	VARIABLES.....	56
5.6	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	57
5.6.1	Pruebas a los Materiales .....	58
5.6.2	Pruebas al Diseño de Mezcla.....	59
5.6.3	Pruebas Definitivas.....	59
5.7	FASES.....	60
5.7.1	Fase 1: Diseño de Mezcla .....	60
5.7.2	Fase 2: Método JSCE-SF6.....	60
5.7.3	Fase 3: Pruebas Definitivas.....	63
6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
6.1	DISEÑO DE MEZCLA.....	65
6.1.1	Caracterización de los Materiales.....	65
6.1.2	Granulometría.....	70
6.1.3	Pruebas Piloto .....	71
6.2	MÉTODO JSCE-SF6 .....	76
6.3	PRUEBAS DEFINITIVAS.....	84
6.3.1	Resultados Obtenidos .....	84
6.3.2	Análisis de Resultados con Fibras de Acero 65/60 .....	90
6.3.3	Análisis de Resultados con Fibras de Acero 80/60 .....	93

6.3.4	Análisis y Comparación entre las Fibras de Acero 65/60 y 80/60.....	96
6.3.5	Análisis de Resultados frente a otras investigaciones.....	103
6.3.5.1	Determinación de la energía de fractura para concreto reforzado con fibras cortas de acero (Sergio Segura).....	103
6.3.5.2	Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero (Carmona Sergio y Contreras Manuel).....	104
6.3.5.3	Estudio del comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras (Barragán Bryan, Turmo Jose, Banthia Nemy y Gettu Ravindra).....	105
7	CONCLUSIONES.....	107
8	RECOMENDACIONES.....	109
9	BIBLIOGRAFÍA.....	110

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Concretos.....	18
Imagen 2. Fibras mas utilizadas en morteros y concretos .....	26
Imagen 3. Efecto del tamaño del agregado y la adición de fibras.....	28
Imagen 4. Secciones Fibras de Acero .....	28
Imagen 5. Secciones Transversales Fibras de Acero.....	29
Imagen 6. Formas axiales Fibras de Acero .....	30
Imagen 7. Esfuerzo Cortante .....	34
Imagen 8. Flexión en Vigas .....	34
Imagen 9. Grietas Diagonales.....	35
Imagen 10. Tensión Diagonal .....	36
Imagen 11. Esfuerzo por Cortante .....	37
Imagen 12. Falla adherencia por cortante .....	37
Imagen 13. Diferentes tipos de refuerzo a cortante (Estribos).....	38
Imagen 14. Fallas en Vigas .....	39
Imagen 15. Tipos de Pilotes.....	40
Imagen 16. Esfuerzos en los Muros Estructurales.....	41
Imagen 17. Tipos de Ensayo Existentes para medir el Esfuerzo a Cortante .....	44
Imagen 18. Frasco de Le Chatelier.....	45
Imagen 19. Máquina de Ensayo de Los Ángeles.....	47
Imagen 20. Tamices .....	48
Imagen 21. Platinas para Ensayo a Cortante .....	54
Imagen 22. Dimensiones Recomendadas para el Método JSCE-SF6.....	61
Imagen 23. Predimensionamiento Platinas de Acero para el Método JSCE-SF6..	62
Imagen 24. Disposición de Ranuras en Viguetas .....	62
Imagen 25. Cemento .....	66
Imagen 26. Arena .....	67
Imagen 27. Máquina de los Ángeles.....	67
Imagen 28. Gravilla.....	68

Imagen 29. Fibras de Acero.....	69
Imagen 30. Aditivo súper plastificante / Reductor de Agua.....	70
Imagen 31. Cilindros C-3000 y C-6000.....	75
Imagen 32. Platinas de Acero (Iniciales) para el Método JSCE-SF6 .....	76
Imagen 33. Ranuras en las Viguetas .....	77
Imagen 34. Montaje del Método JSCE-SF6.....	78
Imagen 35. Platinas de Acero (Finales) para el Método JSCE-SF6 .....	79
Imagen 36. Desviación de las Ranuras respecto a las Platinas.....	80
Imagen 37. Maquina Versa Tester Desnivelada .....	81
Imagen 38. Parte Superior Maquina Versa Tester (Rotula) .....	81
Imagen 39. Planos de Falla Vigüeta 3000-1 (Izquierdo y Derecho).....	82
Imagen 40. Sección Deformada Vigüeta 3000-1 .....	83
Imagen 41. Plano de Falla a Cortante Puro. Vigüeta con y sin Fibras.....	84
Imagen 42. Falla a Corte en ambos Planos.....	87
Imagen 43. Máquina a Compresión .....	88
Imagen 44. Platinas Descentrada en Vigüeta .....	89
Imagen 45. Fibra de Acero 65/60 y 80/60 (24g c/u).....	96
Imagen 46. Ensayo a cortante carga en dos puntos a tercios de luz.....	106

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen Probetas .....	63
Tabla 2. Propiedades Fibras Dramix empleadas .....	69
Tabla 3. Resistencia a los 7 Días.....	72
Tabla 4. Mezcla C-3000 .....	72
Tabla 5. Mezcla C-6000 .....	73
Tabla 6. Edad Ensayo Especímenes Permitidos .....	74
Tabla 7. Precisión Ensayo Permitidos .....	74
Tabla 8. Resultados Cilindros a 28 Días.....	75
Tabla 9. Resultados Esfuerzo a Cortante Máximo.....	85
Tabla 10. Resultados Resistencia al Corte Fibra Acero 65/60.....	90
Tabla 11. Resultados Resistencia al Corte Fibra Acero 80/60.....	93
Tabla 12. Equivalencia de Cuantías, en base al peso, en Kg/m <sup>3</sup> .....	103

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1. Granulometría Combinada .....	71
Gráfica 2. Comportamiento a Cortante de las Fibras de Acero 65/60.....	91
Gráfica 3. Comportamiento a Cortante en Fibras Acero 65/60 ( $T_0/T_{max}$ ) .....	92
Gráfica 4. Comportamiento a Cortante de las Fibras de Acero 80/60.....	94
Gráfica 5. Comportamiento a Cortante en Fibras Acero 80/60 ( $T_0/T_{max}$ ) .....	95
Gráfica 6. Comparación Fibra de Acero 65/60 y 80/60 en concretos de 21Mpa....	98
Gráfica 7. Comparación Fibra 65/60 y 80/60 en concretos de 21Mpa ( $T_0/T_{max}$ ) ..	99
Gráfica 8. Comparación Fibra de Acero 65/60 y 80/60 en concretos de 44Mpa..	101
Gráfica 9. Comparación Fibra 65/60 y 80/60 en concretos de 44Mpa ( $T_0/T_{max}$ )	102

## INTRODUCCIÓN

A través de los años la tecnología en el concreto ha venido en constante cambio implementando nuevos aditivos, conglomerantes y materiales, buscando siempre el comportamiento más óptimo a la hora de someterse a solicitaciones de carga. De igual manera se ha avanzado en la fase experimental del concreto realizando nuevos laboratorios que permitan medir las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

La resistencia al corte en el concreto es una de las propiedades mecánicas más importantes a tener en cuenta durante el diseño de un elemento estructural, la mayoría de las fallas por cortante, se debe a la tensión diagonal que existe en los elementos; causado por la baja resistencia del concreto a esfuerzos de tensión (aprox. 10% de la resistencia a compresión).

La falla por cortante en elementos reforzados a diferencia de la falla por flexión es repentina sin suficiente aviso previo y las grietas diagonales que se desarrollan son más amplias dejando irreparable el elemento. En las vigas de concreto se hace necesario proporcionar un refuerzo en acero para contrarrestar estos esfuerzos de corte, en secciones de vigas cortas pueden presentarse falla de tensión por problemas de adherencia entre el acero y el concreto, mientras en Vigas de gran peralte se pueden presentar fallas a cortante por las grandes cargas, siendo el refuerzo insuficiente. En cimentaciones profundas como los pilotes, deberán diseñarse para resistir el cortante y el momento máximo que puedan desarrollar las bases de los muros y las características de los estratos del suelo, siendo los muros estructurales capaces de resistir los esfuerzos de corte. De ahí que las fibras de acero podrían aumentar en los elementos la resistencia a cortante, pues permite controlar el agrietamiento resultante de esfuerzos internos y al ser un material que permite distribuir mejor las cargas sobre toda la masa del concreto aumentaría su capacidad mecánica y de deformación.

El estudio de los Esfuerzo de Corte en el concreto a nivel experimental es escaso, debido a la falta de metodología adecuada que permita cuantificar los esfuerzos de manera adecuada, pues la mayoría ensayos de laboratorio como el Ensayo de probeta z, la Viga en flexión con 2 ranuras excéntrica y carga central, la Viga en flexión con 2 ranuras céntricas y carga excéntrica, el Ensayo con cilindros inclinados a 45°, son en su mayoría ensayos a flexión adaptados los que se traducen en roturas por flexión y no por corte. De ahí la importancia de lograr medir adecuadamente los esfuerzos de cortante en el concreto. No obstante, la Sociedad Japonesa de Ingeniería Civil (JSCE) ha propuesto un método que permite cuantificar el efecto de las fibras frente a solicitaciones de corte. Este procedimiento, designado como SF-6, es ampliamente utilizado en investigaciones relativas a la resistencia al corte. En el ensayo propuesto, el campo de esfuerzos se mantiene sustancialmente cercano al de corte puro y, por lo tanto, se obtiene una respuesta frente al esfuerzo de corte más reproducible.

En el montaje propuesto por la JSCE-SF6 se implementan dos platinas de acero macizo provistas de dos cuñas cada una, cuyas caras exteriores coinciden con el borde interno de la otra platina, garantizándose un plano de falla definido y por lo tanto un esfuerzo de cortante puro.

Además de la implementación de la JSCE-SF6 se buscará analizar el comportamiento a cortante de las fibras de acero en distintas dosificaciones para mezclas de concretos de 21Mpa y 44Mpa con el fin de estudiar su influencia en los Esfuerzos de Corte en el concreto.

Los diseños de mezcla con Fibras de Acero deberán cumplir con los requerimientos exigidos por el Comité de la ACI 544.1R “State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete. Chapter 2—Steel Fiber Reinforced Concrete (SFRC)”

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las construcciones civiles se requieren elementos constructivos que transmitan cargas y soporten esfuerzos de cortante adecuadamente, tratando siempre de optimizar los materiales y siendo caracterizadas por tener una larga duración de vida útil. El concreto reforzado con fibras de acero constituye una de las innovaciones más relevantes en el campo de los concretos especiales<sup>1</sup> siendo utilizadas a nivel mundial en el reforzamiento de pisos industriales y pavimentos, elementos prefabricados, concretos lanzados, resistentes a explosiones, de ultra-alta resistencia, entre muchas otras aplicaciones.

La implementación de las Fibras de acero en elementos sometidos a esfuerzos de corte sería una buena alternativa, ya que estas vendrían incluidas en las mezclas de fundición y quedarían totalmente distribuidas, garantizándose un comportamiento óptimo o mejor que los reforzados convencionalmente.

Hoy en día los concretos con fibras han venido revolucionando el mercado, porque disminuye los costos operativos, actúan de manera estructural empleándose en las nuevas tendencias constructivas. El constante incremento del precio del acero y de sus derivados estos últimos años, ha aumentado el interés por el uso de nuevas alternativas. Ello representa un cambio en algunos de los cálculos tradicionales para avanzar en aplicaciones con una mayor responsabilidad estructural. Sin embargo, la utilización de estas fibras de acero no ha tenido mucha implementación en elementos estructurales que estén sometidos a esfuerzos de corte.

En el contexto colombiano no es muy común este tipo de reforzamiento en estructuras, por lo que no se tienen parámetros suficientes para realizar ensayos a esfuerzos de cortante en concretos reforzados con fibras de acero, además se desconoce el rendimiento que podría tener estas, siendo esta una razón muy importante para la realización de la presente investigación. Para el desarrollo se

---

<sup>1</sup> CEMEX. Catálogo de Soluciones [En Línea].

<<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/CatalogoDeSoluciones.pdf>> [Citado el 3 septiembre del 2015]

hace necesario la exploración de normas y procedimientos extranjeros las cuales garanticen una comprensión general y una correcta interpretación del comportamiento.

Las metodologías referentes a los comportamientos de los Concretos Fibroreforzados a Esfuerzos de Cortante son muy pocas, no obstante se ha realizado investigaciones sobre la metodología adecuada para estudiar los esfuerzos a cortante, la cual se encuentra en primera instancia el Ensayo de probeta  $z^2$ , la Viga en flexión con 2 ranuras excéntrica y carga central<sup>3</sup>, la Viga en flexión con 2 ranuras céntricas y carga excéntrica<sup>4</sup>, el Ensayo con cilindros inclinados a 45° y el Procedimiento JSCE-SF6<sup>5</sup>. Todos estos ensayos buscaban reproducir los esfuerzos de cortante en muestras de concreto, pero dada la variabilidad del plano de falla se recomienda el procedimiento establecido en la JSCE – SF6 Modificada<sup>6</sup>, en esta norma se implementan dos platinas provistas de dos cuñas cada una, cuyas caras exteriores coinciden con el borde interno de la otra platina, garantizándose un plano de falla definido y por lo tanto un esfuerzo de cortante puro.

“Las variables más importantes que regulan las propiedades de los hormigones reforzados con fibras son la eficiencia y el contenido de fibras”<sup>7</sup>, la eficiencia es controlada por la resistencia, calidad y geometría de las fibras, de allí se hace necesario variar la relación de aspecto de las fibras con el fin de obtener un análisis más adecuado de la influencia en el concreto bajo esfuerzos de cortante, se utilizaran Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60 variando el contenido de las mismas con cuantías, respecto al peso, del 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%

---

<sup>2</sup> BARR, B. The Fracture Characteristics of FRC Materials in Shear, Fiber Reinforced Concrete: Properties and Applications, 1987, Editado por SHAH, Surendra y BATSON, Gordon, Farmington Hills, Michigan: ACI SP-105, pp 27 – 53

<sup>3</sup> SHAH, Surendra P., SWARTZ, Stuart E. y OUYANG, Chengsheng. Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi brittle materials. New York: Wiley, 1995. P. 552

<sup>4</sup> Ibid., p. 552

<sup>5</sup> JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Concrete library international: Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete SFRC. Tokyo: JSCE, 1984. 3 p. SF-6.

<sup>6</sup> MIRSAYAH, Amir y BANTHIA, Nemkumar. Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete. En: ACI Materials Journal. Vol. 99, No. 5 (Sep. 2002); p. 473-479

<sup>7</sup> CARMONA, Sergio y CABRERA, Manuel. Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero. En: Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 24, No. 1, p. 19-94

Con el fin de que las Fibras de Acero tengan una aplicabilidad real en posibles elementos estructurales, se trabajara con una resistencia del Concreto mínima exigida por la NSR-10<sup>8</sup> de 21 Mpa y con otra variable de concretos de alta resistencia de 44 Mpa o mayor con el fin de estudiar la influencia de las fibras de acero en la resistencia del Concreto Convencional

**¿Cuál es el comportamiento a cortante en concretos de 21 Mpa y 44 Mpa con adición de Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60 en cuantías de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%?**

---

<sup>8</sup> ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá, Colombia: AIS, 2010.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a Cortante en Concretos de 21 Mpa y 44 Mpa con adición de Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60 en cuantías de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar las mezclas de concreto con resistencias de 21Mpa y 44Mpa reforzadas con Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60.
- Desarrollar el montaje del Método JSCE-SF6 para el Ensayo a Esfuerzos de Cortante en concretos reforzados con fibras de acero.
- Comparar el Comportamiento a Esfuerzos de Cortante del concreto reforzado con cuantías de Acero al 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y relaciones de aspecto 65/60 y 80/60

### 3 JUSTIFICACIÓN

Las fibras de acero brindan al concreto una mayor resistencia a nivel de fatiga, al cortante, a la flexión e impacto ya que puede llegar a soportar cargas mayores a las de un concreto convencional, pues permiten controlar el agrietamiento resultante de esfuerzos internos y estructurales del concreto, se evitan los problemas de corrosión como en el acero convencional y el manejo es más fácil y eficiente. Al ser un material que permite distribuir mejor las cargas sobre toda la masa del concreto aumenta también su capacidad mecánica y de deformación.

El uso de fibras de acero en el concreto, remplazando el refuerzo tradicional nos trae beneficios al momento de la contratación, debido a que al reemplazar el acero de refuerzo no habría necesidad de contratar mano de obra especializada para el manejo del acero; el desperdicio de concreto se reduciría, el volumen diario de producción aumentaría, además se obtendrá un refuerzo homogéneo en toda la masa, a diferencia de la malla electro-soldada o las barras que actúan como material independiente; en la práctica, resulta muy difícil garantizar que el refuerzo de acero quede colocado exactamente en el lugar donde fue especificado, con la fibra de acero no se tiene este problema, ya que estas se distribuyen uniformemente en toda la masa del concreto y en todas las direcciones.

Las fibras tienen la capacidad de actuar de manera estructural, gracias al componente de acero trefilado en frío y a la forma del gancho en sus extremos, lo que garantiza un anclaje óptimo<sup>9</sup>, además el concreto con Fibras de Acero permiten una rápida y fácil aplicación, dando una solución eficaz y rentable a los problemas de refuerzos convencionales.

---

<sup>9</sup> PROALCO BEKAERT. Fibras de Acero Dramix [En línea]. < <http://proalco.bekaert.com/es-MX/construccion/fibras-de-acero-dramix/dramix> > [Citado el 3 de septiembre del 2015]

Logrando concebir el objetivo de la investigación se generaría un aporte importante en los procesos constructivos y operativos. Lo cual abriría un nuevo espacio para la generación de elementos estructurales optimizados con Fibras de Acero y aportaría bases experimentales para garantizar una resistencia adecuada a los esfuerzos de cortante.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO ANTECEDENTES

El concreto ha experimentado una profunda evolución como elemento de construcción durante los últimos tiempos en todos los niveles: en diseño, cálculo, tecnológico y propiamente como material; buscando siempre mejorar sus propiedades y comportamiento.

Los primeros ensayos experimentales y patentes que implican el uso de discontinuidades de elementos de acero, tales como clavos, segmentos de alambres y láminas de metal con el fin de mejorar las propiedades del concreto datan de 1910<sup>10</sup>. La primera investigación importante para evaluar el potencial de las fibras de acero como refuerzo para el concreto se realizó en Estados Unidos durante la década de 1960<sup>11</sup>. Desde entonces, se ha producido una cantidad sustancial de las investigaciones con fibras de acero.

En la actualidad encontramos entidades internacionales dedicadas a recopilar información y dar recomendaciones sobre este tema:

El Comité del Instituto Americano del Concreto (ACI Committe)<sup>12</sup> elaboró un informe sobre el estado del arte del concreto reforzado con fibras, la cual incluye los principios fundamentales del concreto reforzado con fibras (FRC), glosario de términos, descripción de tipos de fibras, métodos de fabricación, mezcla y dosificación; trabajando cuatro tipos de fibras: Acero SFRC, vidrio GFRC, sintéticas SNFRC y naturales NFRC.

---

<sup>10</sup> NAAMAN, Antoine. Fiber Reinforcement for Concrete. En: Concrete International: Design and Construction. Vol 7, No 3 (Mar., 1985); pp 21-25.

<sup>11</sup> ROMUALDI, James y BATSON, Gordon. Mechanics of Crack Arrest in Concrete. En: Journal of Engineering Mechanics ASCE. Vol 89, No EM3 (Jun., 1963); pp 147-168

<sup>12</sup> AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2002. 66 p. ACI 544-1R 96.

La Unión Internacional de Laboratorios y Expertos en Materiales de Construcción, Sistemas y Estructuras (RILEM) realizó un Simposio Internacional<sup>13</sup> en Londres cuyo objetivo fue establecer los límites del conocimiento actual sobre FRC y comparar los procedimientos de diseño y códigos en diferentes países, aportando contribuciones en las propiedades físico-químicas, de diseño y colocación, durabilidad y aplicaciones estructurales.

Respecto a este tema, se han realizado investigaciones como:

Heisin Ramos Salcedo en su Tesis de Master de Ingeniería Civil habla de la "Aplicación de fibras estructurales a los pilotes tipo CPI 8"<sup>14</sup>, en la cual se plantea: ¿Cuál sería la menor cuantía de fibras que aseguren una falla dúctil para la situación hipotética de alcanzar el momento de falla? Desarrollando una propuesta metodológica para el análisis de un elemento de SFRC de sección circular sometido a flexión, integrando las ventajas metodológicas presentadas por otros autores. Comparando el comportamiento de la resistencia a flexión de una pantalla de pilotes tipo CPI 8 (Preexcavados) de SFRC con una dosificación razonable de fibras de acero con la resistencia del concreto convencional. Luego de plasmar información técnica sobre SFRC y los Pilotes CPI-8 se expone un estudio de caso sobre el uso de las Fibras de Acero. Se estudia una pantalla de pilotes sometidos a empuje de terreno y una sobrecarga superficial, de sección circular sometida a FlexoTracción. La resistencia a tracción directa, con volúmenes de fibras del 1.5% presentaron incrementos de resistencia del orden del 30-40%, mientras en compresión no se presentó incrementos significativos, solo del orden del 4-19%. El empleo de mayores volúmenes de fibras y con relaciones de aspecto altas, generan resistencia a la flexión de hasta 150%. Al emplear volúmenes de fibras superiores al 0.5% se experimentaron roturas por punzonamiento más graduales y dúctiles.

---

<sup>13</sup> 6TH INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON FIBRE-REINFORCED CONCRETES (20-22, September 2004: Varenna, Italy) RILEM Publications, 2004. 1544 p. Retrieved from [http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id\\_publication=44](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=44)

<sup>14</sup> RAMOS SALCEDO, Heisin. Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. Barcelona, 2012, 77 h. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería.

Se desarrollaron diagramas de iteración que relacionan los esfuerzos axiales y de momento que agotan la sección, para una geometría y una cuantía de fibras conocidas, de la cual se deduce que a medida que aumenta la separación entre pilotes, para una misma altura y un mismo diámetro el pilote va necesitando un mayor volumen de fibras. De manera orientativa, se hizo una valoración de coste de concreto para un caso en particular, de la cual un Pilote reforzado con fibras de acero representa una menor inversión económica respecto a un refuerzo convencional.

En la “Determinación de la Energía de Fractura para Concretos Reforzados con Fibras cortas de Acero”<sup>15</sup>, Sergio Segura Arenas en su Tesis de Magister de Ingeniería Civil buscó establecer y comparar valores de Energía de Fractura bajo diferentes tipos de ensayos de resistencias, adicionando fibras de acero de alta capacidad de disipación, cuyo objetivo fue Determinar la Energía de Fractura para probetas representativas construidas con concreto reforzados con fibras cortas de acero (SFRC) sometidas a flexión, corte, compresión y tensión con resistencias de 21 Mpa (3000 psi), 28 Mpa (4000 psi) y 35 Mpa (5000 psi). Los análisis de resultados y conclusiones se analizaron dependiendo del tipo de comportamiento que se estudió.

En el comportamiento a Compresión la adición de fibras no incrementa  $f'_c$ , incluso presenta valores menores a los comparados con la mezcla de concreto simple, por dicha razón cuando se especifican concretos con fibras se requiere realizar un ajuste de resistencia mediante muestras de pruebas para ajustar la relación a/c. La energía total de fractura en compresión (GF<sub>c</sub>) aumenta con la adición de fibras de acero y la resistencia del concreto; en las mezclas con adición de 0.5% de fibras es aproximadamente el doble (1.87-2.26).

---

<sup>15</sup> SEGURA ARENAS, Sergio Mauricio. Determinación de la energía de fractura para concreto reforzado con fibras cortas de acero (SFRC). Bogotá, 2013, 217 h. Trabajo de Grado (Magister en Ingeniería Civil). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: <<http://repositorio.escolaing.edu.co/handle/001/129>>

En el estudio a Flexión la adición de fibras en dosificaciones altas, incrementan la resistencia casi el doble para cuantías del 1% y casi el triple para cuantías del 2%. En todas las series de pruebas la Energía de Fractura se incrementan con la adición de fibras, observándose mayores rendimientos en las mezclas con baja resistencias.

Respecto a la Tracción Indirecta se encontraron incrementos en la resistencia conforme se aumenta la calidad del concreto y la cuantía de fibras. Se recomienda realizar el ensayo de Tensión Uniaxial para caracterizar apropiadamente el tramo descendente de la curva de ablandamiento, puesto que las probetas empezaban a presentar aplastamiento.

Se encontró un incremento en la resistencia a cortante, con la adición de fibras se registraron aumentos entre 1.19 y 2.28 para cuantías de 0.5% y 2.0% de fibras. Se afirma que la metodología del ensayo basada en la Norma Japonesa JSCE es la más adecuada para caracterizar este fenómeno.

En el Trabajo de grado sobre la “Durabilidad del hormigón con fibras de acero”<sup>16</sup> Ana Blanco Álvarez habla sobre la influencia que tiene la adición de fibras de acero en el control de la fisuración y en la mejora de la durabilidad de los elementos fabricados con este tipo de concreto. Durante los ensayos y los datos obtenidos surgen ciertas recomendaciones. La adherencia del sistema concreto-acero viene determinada por la compactación, si durante el proceso de fabricación se lleva a cabo una buena compactación, la adherencia será mayor y por tanto se observará un mejor comportamiento de los especímenes ante los ensayos. En este caso, tal y como se describe en el documento, el proceso de vibrado fue externo y manual lo que pudo llevar a un nivel de compactación inferior al deseado, además de esto se recomienda que para dosificaciones bajas, el módulo de elasticidad del Concreto con Fibras presenta un valor más próximo al del concreto sin fibras, mientras que para dosificaciones elevadas, la rigidez del elemento aumenta, evidenciando que el

---

<sup>16</sup> BLANCO ÁLVAREZ, Ana. Durabilidad del hormigón con fibras de acero. Barcelona, 2008, 156 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Politécnica de Cataluña: < <http://hdl.handle.net/2099.1/6557> >

valor del módulo de elasticidad del SFRC depende del volumen de fibras presente en el elemento y que a mayor esbeltez de la fibra favorece la adherencia con el concreto permitiendo la mejor transmisión de tensiones del acero al concreto. Esta mejor transmisión de tensiones permite alcanzar una mayor resistencia a tracción del concreto, favoreciendo la aparición de nuevas fisuras en lugar del desarrollo de las ya existentes. Para el caso de dosificaciones mayores la fibra de polipropileno representa un aumento de la energía de un 12%, las de acero del 20%.

En la Investigación sobre la “Comparativa de la Tenacidad entre Hormigón Convencional, Hormigón Reforzado con Fibras de Acero y Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno”<sup>17</sup>. Manuel Figueroa Andrade intenta predecir qué tipo de tenacidad tendrá el concreto en función de los dos tipos de fibras de refuerzos propuestas (Fibras de Acero y Polipropileno) con Cuantías del 0.33%. Con los resultados obtenidos se muestra que el exceso de microfibras saturó la mezcla de concreto, confinándola internamente, reduciendo su capacidad de avance y evitando que fluya como debería fluir un concreto autocompactante, provocando una mala compactación, debido a esto la dosificación que se usó para micro-fibras de polipropileno en este trabajo rebasó lo dictaminado por la norma y originó desperfectos.

Eduardo Moreno Almansa y Manuel Fernández Cánovas dan ciertas recomendaciones al hacer los ensayos necesarios para la “Dosificación de concreto reforzado con fibras de acero”<sup>18</sup>. Una de estas es que la adición de fibras metálicas no impone el uso de un determinado tipo de cemento, esta elección depende de las mismas condiciones que en otros diseños. También es conveniente favorecer la

---

<sup>17</sup> FIGUEROA ANDRADE, Manuel. Comparativa de la Tenacidad entre Hormigón Convencional, Hormigón Reforzado con Fibras de Acero y Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno. Madrid, 2013, 66 h. Trabajo de Grado (Master en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Politécnica de Madrid: <<http://oa.upm.es/19960/>>

<sup>18</sup> ALMANSA, Eduardo Moreno y CÁNOVAS, Manuel Fernández. Dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de acero. En: Revista Materiales de Construcción. Vol. 47, p. 247-268

docilidad del SFRC incrementando la cantidad de finos mediante la incorporación de adiciones activas en la fabricación del concreto.

La adición de fibras en ninguna especificación implica el aumento de agua, pero si implica el aumento en el volumen de la mezcla lo que indicaría que se necesita de más agua, esta adición de agua puede obtenerse respetando la relación agua/cemento mediante la adición de conglomerante ya sea aumentando el contenido de cemento o aditivos que activen la mezcla.

En cuanto a los áridos también se deben tener en cuenta que, debido a su naturaleza mineral, los áridos cumplen para determinado concreto, lo son también si a éste se añaden fibras. El árido debe ser resistente, no ligero ni poroso, pues es necesario limitar al máximo su absorción; pero la adición de fibras impone restricciones a determinadas características físicas de los mismos y a su granulometría conjunta. Pueden emplearse áridos de cantera, pero si la mezcla no es satisfactoria, particularmente en cuanto a la docilidad y/o homogeneidad aun empleando granulometrías óptimas, deberá cambiarse a árido rodado, especialmente la arena. Debe considerarse que el empleo de áridos de cantera demandará más agua para obtener una determinada docilidad, reduciendo su rozamiento interno. La adición de fibras exige una mayor cantidad de pasta, puesto que se incrementa la superficie específica que debe rodear ésta; esto exige una mayor proporción de árido fino para evitar la segregación lo que, a su vez, incrementa la absorción y superficie específica del árido conjunto. Por ello, en relación a la arena, es muy importante limitar su contenido en finos, terrones de arcilla y su absorción. Si la absorción de la arena es superior al 1 % de su peso seco y se añade a la masa con una humedad inferior, debe tenerse en cuenta que puede reducir la docilidad, simplemente por absorción durante el amasado.

Barragán, Banthia y Turmo, autores del artículo “Estudio del comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras”<sup>19</sup> estudian el comportamiento a cortante de 3 tipos de fibras (1 de Acero Dramix, 1 Acero Novotex y 1 de Polipropileno HPP) con cuantías del 1% y resistencia del concreto con refuerzo convencional de 50 Mpa (7200 psi). Cuyo objetivo es caracterizar y evaluar el cortante último de una viga reforzada con fibras, comparándolos con los valores que la formulación existente predice. El estudio confirma que la tenacidad y la resistencia a cortante son incrementadas tras la adición de fibras al concreto. Sin embargo, el cortante último de las vigas reforzadas con un 1% en volumen de fibras es siempre inferior al de las vigas con un mismo volumen de acero dispuesto en forma de estribos. Esto se debe principalmente a que la orientación de las fibras es aleatoria y sólo algunas de ellas se orientan favorablemente para oponer resistencia a la fisuración, mientras que todos los estribos son efectivos para resistir cortante. Los métodos de cálculos aplicados resultan adecuados para predecir la resistencia última a cortante de las vigas ensayadas.

El “Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero”<sup>20</sup> de Carmona y Cabrera estudia el comportamiento al corte de 2 tipos de fibras (Dramix 65/35 y 80/60) con cuantías de 0.5% y 1.0% y resistencia del concreto simple de 23 Mpa (3300 psi). En la investigación se implementa el ensayo de corte establecido en la JSCE-SF6 para evaluar el efecto del contenido y de la relación de aspecto de la fibra en la tenacidad de los concretos reforzados con fibras de acero. Obteniéndose que la tenacidad absoluta aumenta con el incremento de volumen de fibras y de su relación de aspecto, también se presentó un incremento significativo en la resistencia máxima alcanzada por cada uno de los concretos reforzados con fibras, obteniéndose incrementos hasta del 75% respecto a una muestra de

---

<sup>19</sup> TURMO, José, BANTHIA, Nemy, GETTU, Ravindra y BARRAGÁN, Bryan. Estudio del Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras. En: Revista Materiales de Construcción. Vol. 58, No 292, p. 5-13

<sup>20</sup> CARMONA, Sergio y CABRERA, Manuel. Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero. En: Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 24, No. 1, p. 19-94

concreto simple. Al usar menores cantidades de fibras, con mayor relación de aspecto, se producen mayores desplazamientos antes de alcanzar la carga máxima, lo que equivale a una pérdida de rigidez en la zona no lineal, este efecto distorsiona algunos de los valores de los Índices de Tenacidad y se debe a que, al mantener la fracción volumétrica de fibras y aumentar la relación de aspecto, disminuye el número de fibras presentes en el concreto. Utilizando el método propuesto en la JSCE-SF6 modificado, los ensayos de corte se realizaron de forma estable, lo que permitió cuantificar el efecto de la fibra en el comportamiento del concreto.

Los marcos referentes anteriores abarcan estudios generales sobre el uso y determinados comportamientos de las fibras, la cual dan las bases y fundamentos para lograr llevar esta investigación a cabo, partiendo que se busca Analizar el Comportamiento al Cortante en Concretos de 21 Mpa y 44 Mpa con adición de Fibras de Acero Dramix 80/60 y 65/60 en cuantías, respecto al peso, de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%

En lo relacionado a las Fibras de Acero en Pilotes estas aportan información técnica y recomendaciones generales sobre el uso de las mismas.

En cuanto a las Fibras en sus 4 distintos ensayos de resistencia dan una visión del comportamiento específico que generan las Fibras de Acero en el Concreto, obteniéndose excelentes resultados en el Comportamiento a Flexión y Cortante, mientras en el de Compresión y Tracción Indirecta no hay mejoras significativas.

Con respecto a la Durabilidad del Concreto con Fibras el principal aporte es la premisa de que el valor del módulo de elasticidad (E) del SFRC depende del volumen de fibras presente en el elemento y que, a mayor esbeltez de la fibra, esta favorece la adherencia con el concreto permitiendo la mejor transmisión de tensiones de la fibra de acero al concreto.

En la investigación de la Tenacidad del Concreto con Fibras de Acero o Sintéticas se obtienen resultados indeseados en los estudio del comportamiento de las fibras, debido, en gran parte, a la falta de experiencia en la dosificación y compactación de las probetas, obteniéndose resistencias menores al 28% de las esperadas, siendo así una guía para no incidir en errores similares, de ahí que fuera importante recurrir a referentes sobre la dosificación y manipulación de las fibras, encontrándose el artículo sobre la Dosificación de Fibras de Acero en el Concreto, la cual dicta parámetros a seguir para el correcto manejo de las Fibras de Acero y dando recomendaciones sobre la granulometría a utilizar en un diseño de mezcla con fibras.

Los dos últimos referentes aportan nociones sobre el comportamiento del Ensayo a Cortante con distintas cantidades de Fibras y resistencias de las Probetas de Concreto.

## 4.2 MARCO REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.2.1 Concretos

Imagen 1. Concretos



Fuente: <http://www.incomix.com.br/images/concreto1.jpg>

El Concreto u Hormigón es la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados grueso y fino), agua y en determinadas ocasiones aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto<sup>21</sup> capaz de soportar cargas.

Por su durabilidad, y resistencia a cargas e impermeabilidad se emplea para construir edificaciones, revestir superficies, entre otras aplicaciones.

Los principales componentes son:

- Cemento Portland: Ocupa entre el 7 y 15% del volumen de la mezcla y tiene las propiedades de adherencia y cohesión.
- Agregados: Son materiales inertes, naturales o artificiales, de forma granular clasificados según el tamaño de sus partículas en Agregados Finos (Arenas) y Agregados Gruesos (Gravas), ocupando del 59 al 76% del volumen.

---

<sup>21</sup> SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero: El Concreto – Generalidades. Bogotá: Bhandar Editores Ltda. 2001. 350 p.

- Agua: Por medio de reacciones químicas complejas hidrata al Cemento Portland para que este desarrolle sus propiedades aglutinantes, la cual constituye entre el 14 y 18%.
- Aire: El aire atrapado en la mezcla representa del 1 al 3%.
- Aditivos: Se utilizan para modificar las propiedades del concreto de manera que lo hagan más adecuado para determinadas condiciones, estos pueden ser reductores de agua, retardantes o acelerantes, incorporadores de aire, las cuales se rigen por la NTC 1299 y la NTC 3502

El Concreto presenta una diversificación dependiendo del uso y las especificaciones a los cual se quieran llegar, teniéndose a grandes rasgos los Concretos Convencionales y Especiales.

#### 4.2.1.1 Concretos Convencionales

Es un Concreto de uso general recomendado para todo tipo de construcciones que no requieran condiciones especiales de colocación. Este tiene una amplia utilización en elementos estructurales que no requieren ningún tipo de característica especial de transporte, manejo y colocación, tales como:

- Cimentaciones poco profundas.
- Columnas de estructuras convencionales
- Vigas de estructuras convencionales.
- Placas de entre pisos.
- Bordillos.
- Andenes.
- Dinteles.
- Prefabricados

#### 4.2.1.2 Concretos Especiales<sup>22</sup>

Son concretos que ofrecen una solución versátil a exigencias de alto desempeño, diseñados para obras que requieren especificaciones muy particulares y de uso poco común.

- **Concreto Lanzado:** Es un concreto desarrollado especialmente para ser proyectado de forma neumática a través de una manguera a gran velocidad sobre una superficie. Para poder ser aplicado de esta forma, tiene un control estricto del tamaño máximo, la relación arena/agregado y de su manejabilidad.
- **Concreto Sistema Tremier:** Mezcla con alta fluidez especialmente diseñado para ser colocado en flujo inverso a través del sistema tremier. Se utiliza para fundir elementos en presencia de nivel freático o en excavaciones donde se empleen lodos de perforación tales como las Cimentaciones profundas.
- **Concreto para Pavimentos:** Está especialmente diseñado para ofrecer resistencia a la flexión, característica que es propia del tipo de estructuras que van a estar sometidas a las cargas del tráfico.
- **Concreto AutoCompactante:** Tiene la capacidad de compactarse por la acción de su propio peso, sin necesidad de equipos de vibración ni compactación.
- **Concreto Fluido:** Concreto con o sin agregado grueso de gran fluidez que puede colocarse en terraplenes, sub-bases y bases, así como utilizarse para rellenar zanjas o huecos de difícil acceso
- **Concreto de Alta Resistencia:** Es una mezcla de alto desempeño que soporta grandes cargas a nivel de flexión y compresión.
- **Concreto con Fibras:** Es un concreto convencional a la cual se le adicionan fibras de acero, polipropileno, vidrio, caña de azúcar, entre otras.

---

<sup>22</sup> CEMEX. Catálogo de Soluciones [En Línea]. <<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/CatalogoDeSoluciones.pdf>> [Citado el 13 octubre del 2015]

#### 4.2.1.3 Fabricación y Puesta en Obra

Para la obtención de mezclas de concreto se requiere de un proceso que consiste en la selección de los ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, un concreto con el grado requerido de manejabilidad, tal que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia deseada.<sup>23</sup>

##### - Diseño de Mezcla

Una vez se han evaluado las características de los materiales componentes del concreto deseado, se procede al diseño de la mezcla:

- Dependiendo del tipo de construcción se define el asentamiento que tendrá la muestra en estado fresco.
- Se determina el tamaño máximo de agregado.
- Calcular el contenido inicial de agua y aire con base en el asentamiento y el tamaño máximo.
- Selección de la Resistencia de Diseño  $F'_c$ .
- Elección de la relación agua-cemento.
- Cálculo del contenido de Cemento.
- Estimación de las proporciones de agregados por el Método ACI 211.1
- Ajuste por humedad de los agregados.
- Calibración de las mezclas de prueba.

##### - Transporte y Manejo

Una vez diseñada la mezcla se debe definir cómo va a ser el transporte del concreto, garantizando como mínimo los siguientes aspectos:

---

<sup>23</sup> CRUZ MORALES, Claudia. Manual, diapositivas y acetatos para el curso laboratorio de hormigón I: Fabricación y Puesta en Obra del Hormigón. Medellín, 2000, 102 h. Monografía. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Nacional: < <http://www.bdigital.unal.edu.co/41024/> >

- Agilidad en el Suministro
- La Manejabilidad del Concreto (Asentamiento)
- La no segregación de la mezcla (Separación del Agregado grueso)

#### - Colocación y Compactación

La colocación del concreto en obra debe ser una de las actividades más controladas en la ejecución de la misma, ya que de esta depende la respuesta que la estructura presente ante las diferentes sollicitaciones de carga a lo largo de su vida útil.

Entre las técnicas de colocación en obra que más frecuentemente se utilizan y facilitan el trabajo están:

- Máquinas extendedoras y cimbras deslizantes
- Extendedores de tornillo
- Canalones
- Carretillas manuales y motorizadas
- Bandas transportadoras
- Plumas, grúas y torre – grúas
- Sistema de bombeo
- Sistema de tuba - embudo

El concreto debe depositarse en capas horizontales de espesor uniforme, consolidando, cada capa antes de vaciar la siguiente. El espesor de cada capa varía según el tipo de estructura, sin embargo, las capas deberán ser de 15 cm a 50 cm de espesor para los elementos reforzados y de 38 cm a 50 cm de espesor para trabajos macizos.

El proceso de compactación o consolidación del concreto consiste en reducir al mínimo la cantidad de aire atrapado, una vez que ha sido vaciado dentro de la formaleta correspondiente, para obtener el máximo Peso Unitario.

La cantidad de aire atrapado depende principalmente del diseño de la mezcla, la granulometría del agregado, el tamaño y forma, la cantidad de acero de refuerzo y del procedimiento de vaciado.

La compactación por vibración se define en función de la frecuencia y de la amplitud del movimiento. Los más utilizados son:

- Vibración Interna
- Vibración Externa de formaleta
- Mesas Vibratorias
- Vibración por rodillos

- Curado

Curado del Concreto se entiende como el proceso de controlar y mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable, durante la hidratación de los materiales cementantes. Se realiza inmediatamente después del fraguado final de la mezcla.

Según ensayos realizados en Laboratorios, este proceso se efectúa de dos formas: una de ellas es sometiendo los cilindros de concreto a un tanque con agua después de 24 horas de haber sido vaciados, y la otra forma es mediante un proceso de curado acelerado, que es un proceso de hidratación, por medio del cual se logran aumentos de resistencia a corto plazo para hacer una proyección rápida de la resistencia que se obtendría a los 28 días de su fabricación.

## 4.2.2 Fibras

Uno de los materiales más usados durante generaciones para que las estructuras tuvieran mayor resistencia eran las fibras, por ello las civilizaciones antiguas mezclaban fibras naturales como pasto, fique, junco o pelo animal con el adobe o barro; materiales que minimizaban su tendencia a la fisura y mejoraban el desempeño del material frente a la tensión. Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que al adicionar al concreto se espera que mejore ciertas propiedades específicas de la mezcla siempre y cuando las fibras tengan ciertas características para cuando estén distribuidas en el concreto mejoren la propiedades esperadas.<sup>24</sup>

### 4.2.2.1 Clasificación de las Fibras

#### - Fibras Minerales

Las fibras minerales artificiales son fibras producidas por el hombre usando materia inorgánica que se emplean ampliamente como aislantes térmicos y acústicos. Incluyen básicamente el filamento continuo de fibra de vidrio, las lanas de vidrio, de roca y de escoria, y las fibras cerámicas refractarias. Así mismo, en las últimas 2 décadas también se han desarrollado fibras a nivel de nanoescala, entre las que destacan los nanotubos de carbono por su gran conductividad eléctrica, resistencia mecánica y estabilidad térmica. Tanto las fibras minerales artificiales como los nanotubos de carbono tienen propiedades que los hacen respirables y potencialmente nocivos, lo que ha conducido a la realización de estudios para valorar su patogenicidad.

---

<sup>24</sup> SEPÚLVEDA LOZANO, Carlos Elías. Fibras de Acero: La cantidad hace la fuerza. En: REVISTA METAL ACTUAL. [En Línea]. <[http://www.metalactual.com/revista/22/materiales\\_fibra.pdf](http://www.metalactual.com/revista/22/materiales_fibra.pdf)> [Citado el 12 octubre del 2015]

## - Fibras Naturales

Fibras naturales (tales como el sisal, cáñamo, hierba de elefante, estopa de coco) como refuerzo de construcciones con tierra o fibroconcreto y otros elementos compuestos como tableros de fibra.

Fibras naturales, torcida para cuerdas, para unir elementos de construcción o producir piezas estructurales tensoras, especialmente en la construcción de techos.

Ventajas<sup>25</sup>:

- Generalmente son materiales abundantes disponibles localmente, baratos (o incluso sin costo), rápidamente renovables (que también pueden crecer en un patio).
- El tejado de paja, si está ejecutado adecuadamente, puede ser perfectamente impermeable y posee buenas propiedades acústicas y térmicas.
- Las construcciones de junco tienen alta resistencia a tracción, una buena relación resistencia-peso, y, por tanto, usualmente buen comportamiento a los movimientos sísmicos. En caso de colapsar su peso ligero causa menos daño que la mayoría de los otros materiales.
- Las planchas de paja comprimida tienen alta estabilidad dimensional y resistencia al impacto y al agrietamiento, no son fácilmente inflamables, y (si se mantienen secas) no son atacadas por agentes biológicos. Las planchas son empleadas como tableros de madera.
- Juncos, empaquetados o atados como tableros, o raspados y tejidos como esteras, para diversos usos como columnas, viguetas, revestimiento de paredes, protectores solares, o material para techado, o como subestructura para construcciones entretejidas y embadurnadas.

---

<sup>25</sup> CENTRO DE LAS CIENCIAS ECOLÓGICAS. Materiales de Construcción Adecuados: Fibra y Micro concreto <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0a.htm>> [Citado el 12 octubre del 2015]

- Fibras más utilizadas en el mortero y concreto reforzado

Las fibras más utilizadas en el concreto reforzado son de corta longitud y pequeña sección y se pueden clasificar según su naturaleza.

- Fibras de acero (Con variantes en el contenido de carbono e inoxidables)
- Fibras poliméricas
- Fibras inorgánicas

Imagen 2. Fibras mas utilizadas en morteros y concretos

Tipo de fibra	Resistencia a tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Alargamiento de rotura (%)
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	13,0-15,0
Polipropileno	400-800	5-25	900	8,0-20,0
Poliéster	700-900	8,2	1400	11,0-13,0
Hormigón	5-8	30	2300	-

Fuente: RAMOS SALCEDO, Heisin. Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI

- Propiedades Mecánicas de las fibras

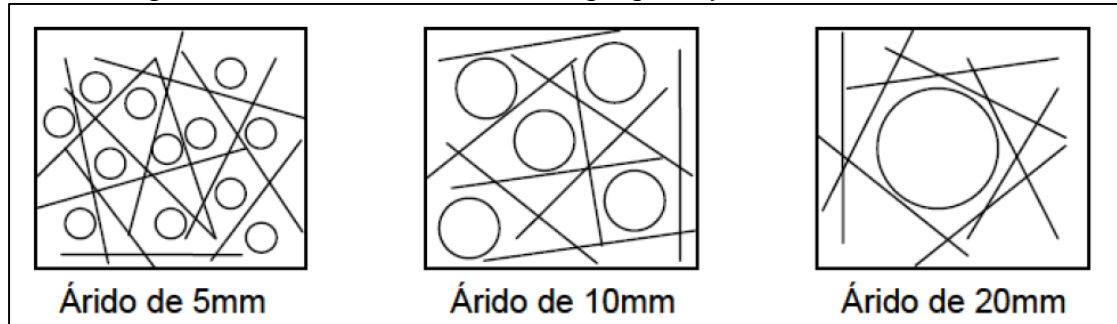
Las fibras para que tengan un comportamiento óptimo deben estar homogéneamente distribuidas en la mezcla componiendo una micro-armadura la cual tiene un comportamiento eficaz mecánicamente a la fisuración y permite mayor ductilidad a toda la masa de la mezcla. En los concretos convencionales la resistencia a la tracción es casi despreciable, lo que no sucede al adicionarle fibras a la mezcla de hormigón ya que con la adición de estas se logra estabilizar esta resistencia lo que permite considerar esta propiedad como resistencia de diseño.

Debido a que los ensayos a tracción directa son complicados de realizar, estos se hacen indirectamente mediante la flexión de vigas o placas. Un concreto normal sin ningún tipo de refuerzo, una viga simplemente apoyada su carga de primera fisuración la viga falla de inmediato siendo el comportamiento típico de un material frágil mientras que con un hormigón fibroreforzados cuando el punto de primera fisuración llega este empieza a soportar más carga constante generando un mayor desplazamiento y un colapso más lento. Estos comportamientos ya sean grados de ductilidad y tenacidad que adquiere el hormigón están directamente relacionados con la cantidad de fibras presentes en el hormigón con sus características mecánicas y geométricas. La geometría que tienen las fibras influyen en el comportamiento del hormigón ya sea por la relación longitud diámetro lo cual es la característica más influyente debido a que de estas depende la medida de la ductilidad y la tenacidad del hormigón reforzado con fibras de acero.

Las resistencias a la tracción de las fibras juegan un papel importante en el comportamiento del concreto fibroreforzados ya que al no producir la extracción inmediata por la adherencia entre fibra hormigón puede llevar a la ruptura lenta de la fibra debido a la resistencia a la tracción de las fibras.

Finalmente, la cantidad agregada en el hormigón es un índice notable ya que es proporcional al grado de ductilidad y tenacidad que adquiere el hormigón fibroreforzados. Se debe tener en cuenta que el aumento de la relación longitud diámetro puede disminuir la dosificación de fibras determinado para obtener una resistencia ya que estadísticamente se incrementa la tracción como consecuencia del incremento estadístico de la longitud de fibra a extraer.

Imagen 3. Efecto del tamaño del agregado y la adición de fibras

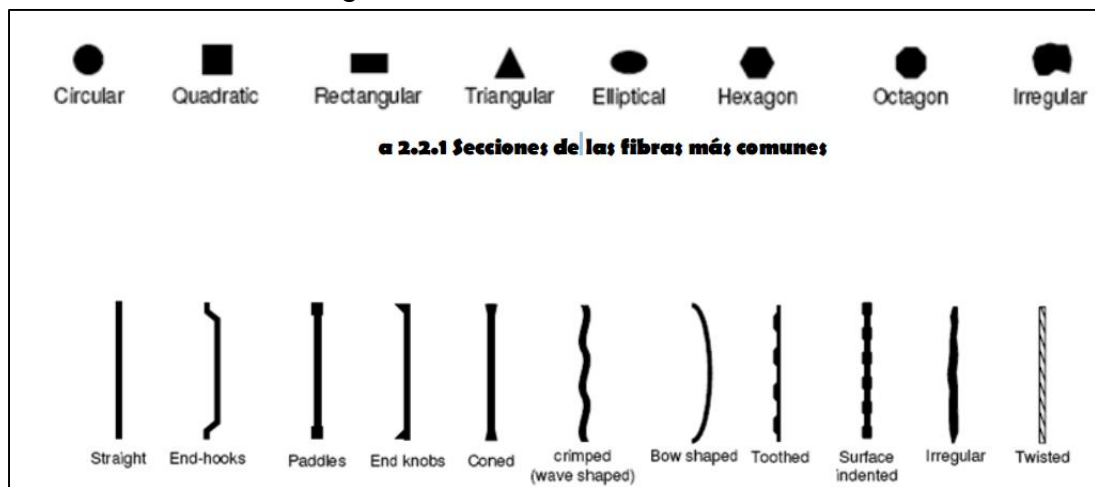


Fuente: MÁRMOL SALAZAR, Patricia, Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas

#### 4.2.2.2 Fibras de Acero

Las fibras de acero pueden ser de diferentes composiciones de acero al carbono o con aleaciones según el requerimiento técnico y mecánico o acero inoxidable. También se pueden encontrar fibras con recubrimiento de zinc o galvanizadas que resultan más económicas que las de acero inoxidable y presentan resistencia a la corrosión. Las fibras pueden tener diferentes formas: Rectas, onduladas, corrugadas con extremos conformados, dentadas, entre otras. Sus secciones transversales también pueden ser muy variadas circulares, cuadradas, rectangulares y planas.

Imagen 4. Secciones Fibras de Acero



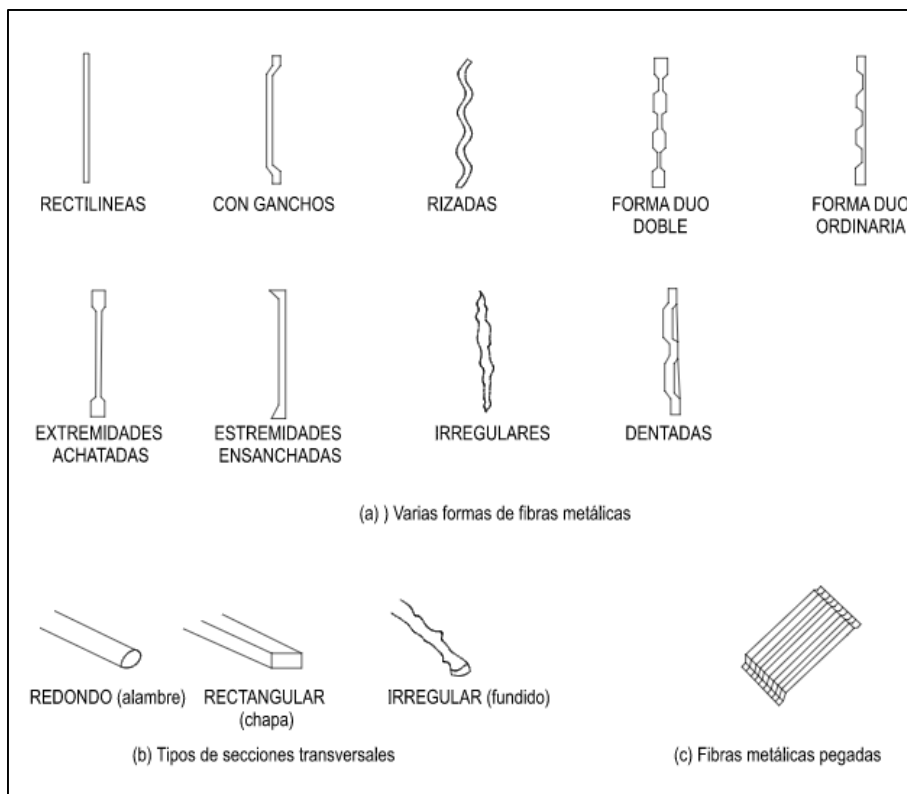
Fuente: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported.

- Clasificación de las fibras según su geometría.

Las fibras de acero se caracterizan por tener una forma determinada diferenciándola de las demás, teniendo una superficie lineal o irregular ingresándola en el concreto de forma recta o doblada para que de esta manera tenga una distribución uniforme en toda la mezcla siempre manteniendo las características geométricas de la fibra. Una fibra rectilínea se considera cuando hay deformaciones localizadas en su eje menores a  $L/30$  y no mayor al diámetro que esta tiene.

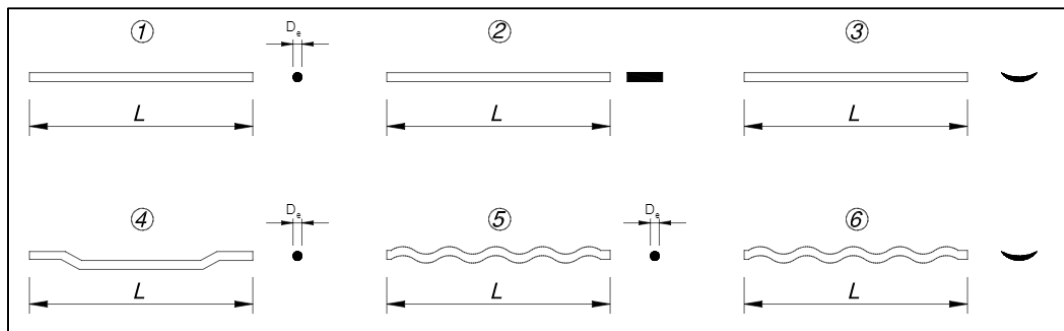
De forma axial las fibras pueden tener diferentes formas ya sean rectilíneas o perfiladas según sea la especificación, mientras que transversalmente pueden ser circulares, rectangulares o variadas.

Imagen 5. Secciones Transversales Fibras de Acero



Fuente: MACCAFERRI. Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón. Manual Técnico

Imagen 6. Formas axiales Fibras de Acero



Fuente: MACCAFERRI. Fibras como elemento estructural para el refuerzo del hormigón. Manual Técnico

Las fibras metálicas son cintas discontinuas con dimensiones reducidas, de un tipo de acero con propiedades particulares. El armado disperso del concreto con fibras metálicas mejora considerablemente las propiedades mecánicas del mismo.

El método más empleado que se da para las fibras metálicas es en la industria de la construcción mediante el armado de elementos estructurales reemplazando el armado convencional.<sup>26</sup>

Hay fibras de acero de diferentes formas, con longitudes que van de 0.25 a 2.5 pulgadas, las cuales se vacían directamente al camión para mezclarlas con el concreto, de manera que se obtiene un concreto homogéneo, donde el refuerzo se encuentra distribuido en toda la mezcla del concreto, brindando así, un refuerzo en todas direcciones más eficientes, a diferencia de sistemas de refuerzo tradicionales, donde el acero se coloca únicamente en una parte de la sección y en un solo plano (siempre y cuando se coloque adecuadamente), lo cual en muchas ocasiones puede ser prácticamente imposible. Esta distribución del acero en las fibras metálicas, permite absorber de manera más eficiente los esfuerzos de contracción por secado del concreto ya endurecido, así como los esfuerzos generados por cambios de temperatura, disminuyendo así la posibilidad de agrietamientos originados por estos esfuerzos.

<sup>26</sup> ARQHYS ARQUITECTURA. Construcción: Fibras Metálicas usadas en el concreto <<http://www.arqhys.com/construccion/fibras-metalicas-concreto.html>> [Citado el 12 octubre del 2015]

Así mismo la incorporación de fibras metálicas aumenta el módulo de ruptura del concreto y por ende su capacidad de carga, por lo que en algunas ocasiones puede considerarse como un refuerzo primario al sustituir refuerzo con varilla de acero o malla electrosoldada. Además de permitir una mayor separación entre juntas y una mejor transferencia de cargas a través de las juntas de control, ya que las mantienen más cerradas, afianzando el efecto de trabazón, que se da entre las secciones de concreto, separadas por la junta misma. Por otro lado, el uso de fibras metálicas elimina prácticamente los costos de mano de obra, de supervisión y desperdicios de material, asociados con la utilización de sistemas de refuerzo tradicional, donde se requiere una gran cantidad de personal, una buena supervisión y una gran cantidad de tiempo. Es así, que en la construcción de pisos de concreto reforzados con fibras metálicas, el tiempo de ejecución llega a reducirse a más de la mitad en comparación con un piso reforzado con sistemas tradicionales.

Algunas de las características más importantes de las fibras metálicas son la forma que tenga para lograr un buen anclaje en el concreto y la relación de aspecto, la cual se refiere a la relación que existe entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. Esta relación es uno de los principales parámetros que diferencia a las fibras metálicas entre sí, ya que generalmente una relación de aspecto mayor, proporciona un mejor desempeño, a cambio de una mayor dificultad en el mezclado, vaciado y acabado del concreto. Es por esto que, se han desarrollado algunos compuestos y técnicas de producción que permiten a una fibra con baja relación de aspecto, tener un desempeño equivalente a una de alta relación de aspecto, sin comprometer la facilidad en el manejo del concreto.

#### 4.2.2.3 Aplicaciones

Las fibras de acero mejoran las propiedades de ductilidad, dureza, resistencia al impacto, fatiga y resistencia al desgaste. Todo esto dependiendo del tipo de fibra y de la dosificación. Todas estas propiedades dependen para ser específicos de la longitud de las fibras, de su diámetro, peso específico, resistencia a la flexión y

módulo de elasticidad. Normalmente se recomienda que las fibras se agreguen al concreto fresco en la planta de concreto premezclado por la empresa concretera con la intención que se integren perfectamente a la mezcla por la acción de mezclado durante el trayecto de los camiones de concreto de la planta al sitio de los trabajos. Es normal esperar que con el uso de fibras en la mezcla de concreto se vea afectada la manejabilidad del concreto, sin embargo, mediante pruebas previas a los trabajos, ésta se puede estimar de muy buena manera y ser considerado en el diseño de mezcla original, evitando que la mezcla sea alterada con agua una vez que el camión esté en el sitio de los trabajos.<sup>27</sup>

- Superiores propiedades mecánicas; mayor resistencia a la flexión, tracción y cortante.
- Gran capacidad para soportar cargas.
- Control eficaz de los fenómenos de fisuración y retracción del hormigón.
- Excelente resistencia a los impactos y a la fatiga.
- Ductilidad.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Rápida y sencilla aplicación.
- Sustitución de la malla, eliminando los riesgos de una mala colocación.
- Asegura un refuerzo homogéneo y tridimensional más eficaz.
- Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- Permite reducir el número de juntas de retracción.
- No requiere de bomba, dado que se puede realizar el hormigonado directamente desde el camión.
- De fácil integración al hormigón, tanto en planta como a pie de obra.
- Si fuese necesario, bombeable incluso con altas dosificaciones.
- No requiere de tratamientos especiales. Se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.

---

<sup>27</sup>ARCELORMITTAL. Fibras de Acero [En línea].  
<[http://www.constructalia.com/espanol/productos/armaduras\\_de\\_acero\\_para\\_hormigon/fibra\\_de\\_acero#.Vhvr9st\\_Oko](http://www.constructalia.com/espanol/productos/armaduras_de_acero_para_hormigon/fibra_de_acero#.Vhvr9st_Oko)>  
[Citado el 3 de septiembre del 2015]

- Economía. En la mayoría de los casos, para la realización de pavimentos de hormigón, supone un importante ahorro de materiales.

#### 4.2.3 Esfuerzo a Cortante

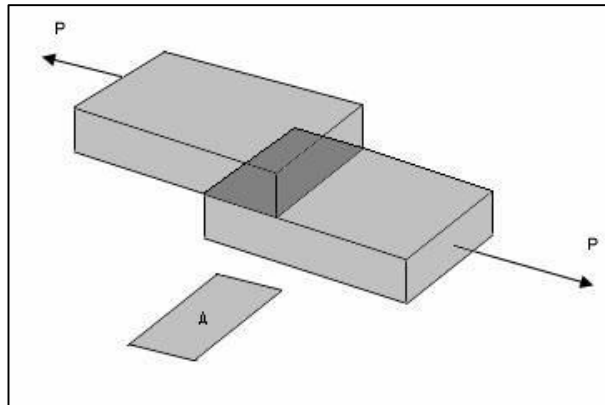
Los esfuerzos cortantes se presentan en distintas partes de la estructura en concreto. Cuando se realizan cálculos de vigas lo que más interesa son los esfuerzos de tensión diagonal que por lo general siempre van acompañados por esfuerzos cortante, esto debido a que cuando un elemento falla por cortante se debe a la tensión que se está generando en el elemento. El efecto de esfuerzo cortante se analiza principalmente a elementos sometidos a flexión que es como generalmente sucede y también cuando existe carga axial.

Los elementos de concreto tienden a fallar según las superficies perpendiculares a las direcciones de las tensiones principales, esto se debe a que la resistencia del concreto sometido a tensión es bajo con respecto a la resistencia a compresión con aproximadamente un 10% de la resistencia a compresión. Es por esto que es necesario reforzar las estructuras de concreto para contrarrestar los esfuerzos de tensión en todo el elemento.

El esfuerzo cortante se debe a las fuerzas aplicadas a un elemento estructural que pueden inducir un efecto de deslizamiento de una parte del mismo con respecto a otra, es decir paralelamente al plano que resiste las fuerzas, en este caso, sobre el área de deslizamiento se produce un esfuerzo cortante, tangencial o de cizalladura.

Para poder comprender los esfuerzos a cortante que actúan sobre elementos estructurales como una viga, debemos entender el concepto de momento flexionante, ya que a partir de este se puede deducir dichos esfuerzos.

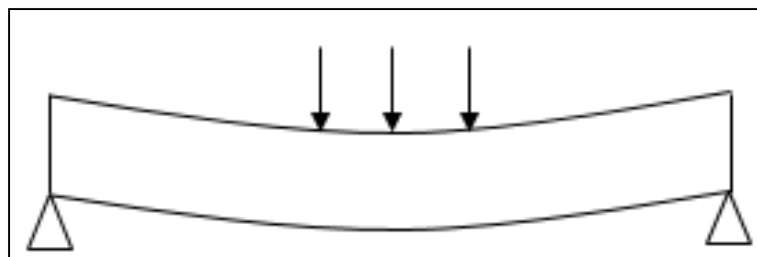
Imagen 7. Esfuerzo Cortante



Fuente: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/fig%2014\\_.png](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec1/fig%2014_.png)

El momento flexionante o flector es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan sobre el elemento o viga, respecto al eje perpendicular al plano de las fuerzas y que pasan por el centro de gravedad del elemento, provocando efectos de flexión.

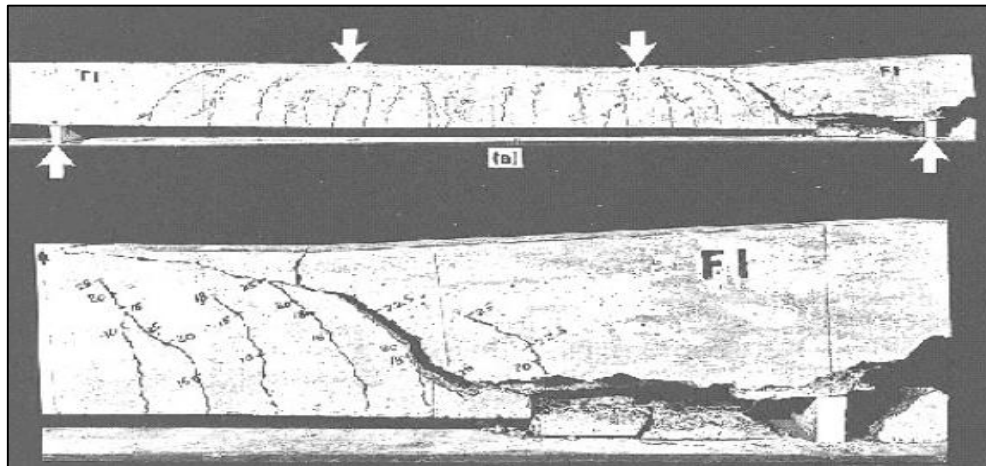
Imagen 8. Flexión en Vigas



Fuente: Propia

Una viga sin ningún tipo de refuerzo falla a tensión ante una sobrecarga causada por la flexión. Pero si se coloca hierro para flexión, las grietas se van a formar por tensión diagonal, conocidas como grietas diagonales, las cuales son producidas por fallas a esfuerzos de corte

Imagen 9. Grietas Diagonales



Fuente: Profesor Néstor Camargo

La falla por cortante del concreto reforzado, más propiamente llamada tensión diagonal, es una de las fallas más peligrosas; por lo que una viga sin refuerzo a cortante fallara súbitamente.

El esfuerzo cortante ( $\tau$ ) se calcula como:

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Donde,

$\tau$ : es el esfuerzo cortante

F: es la fuerza que produce el esfuerzo cortante

A: es el área sometida a esfuerzo cortante

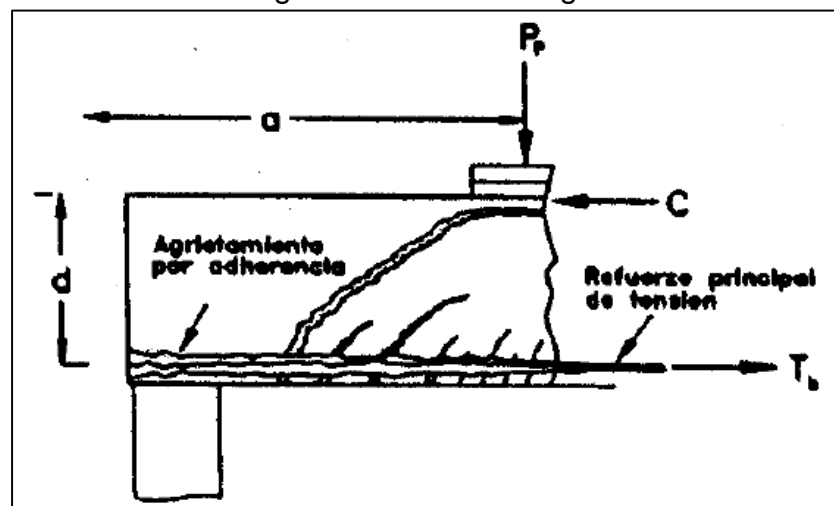
#### 4.2.3.1 Tipos de Falla al Corte

El cortante se puede presentar en tres diferentes formas:

- Tensión Diagonal

Este tipo de falla se presenta en elementos estructurales que no tienen o llevan muy poco refuerzo, se genera cuando el concreto no puede resistir las fuerzas a tensión y proporciona una grieta inclinada perpendicular a la trayectoria del esfuerzo de tensión, cuando la grieta aparece en el elemento se produce una falla súbita causando el colapso de la falla.

Imagen 10. Tensión Diagonal

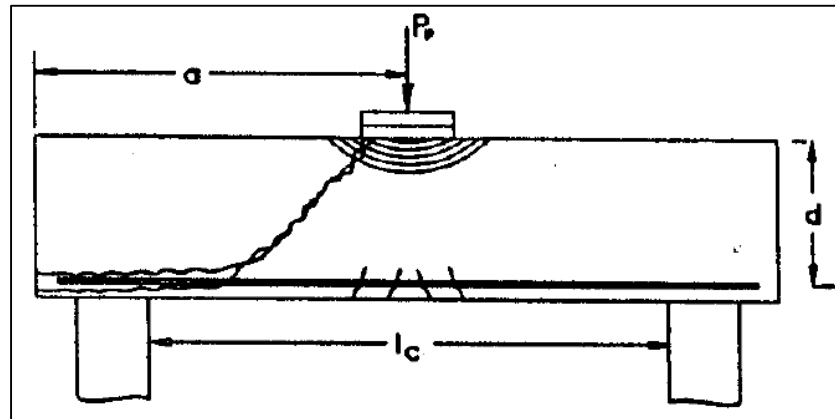


Fuente: UNIVERSIDAD DE SONORA. Temas de apoyo para los cursos de concreto: Capitulo 5 Cortante

- Esfuerzo cortante

Cuando el agrietamiento aparece de forma inclinada y va aumentando poco a poco se genera un aplastamiento por compresión en el extremo de la grieta, esto pasa ya que se reduce la zona que resiste los esfuerzos de compresión que pueden originar los esfuerzos a flexión, a esto se le denomina compresión por cortante. Aun así, el elemento estructural puede soportar cargas mayores que las que produce el agrietamiento inclinado pero la falla ocurre cuando la grieta ya es considerable y la resistencia es mayor que la carga que formó la grieta.

Imagen 11. Esfuerzo por Cortante

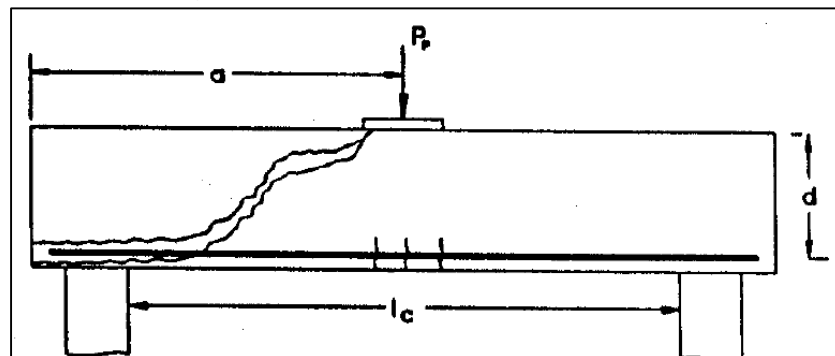


Fuente: UNIVERSIDAD DE SONORA. Temas de apoyo para los cursos de concreto: Capitulo 5 Cortante

- Adherencia por cortante

Se presenta cuando aparecen agrietamientos longitudinales al nivel del acero en tensión con un ligero aplastamiento en la zona de aplicación de la fuerza junto al extremo de la grieta inclinada.

Imagen 12. Falla adherencia por cortante



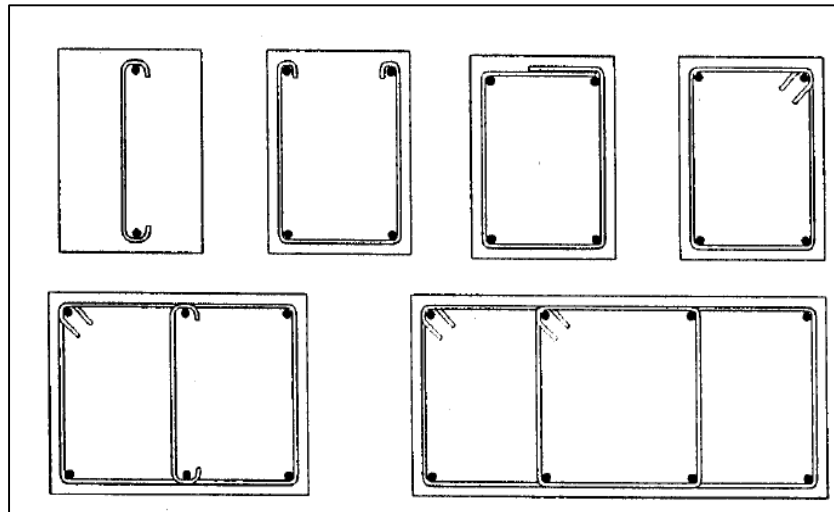
Fuente: UNIVERSIDAD DE SONORA. Temas de apoyo para los cursos de concreto: Capitulo 5 Cortante

Cuando ocurren este tipo de fallas antes de que el acero llegue a su fluencia es muy desfavorable para las estructuras ya que estas fallas se producen rápidamente con deformaciones pequeñas y genera que la estructura sea poco dúctil y genere una falla súbita.

#### 4.2.3.2 Refuerzo al Corte

El refuerzo longitudinal empleado en el concreto es para aumentar su resistencia a los esfuerzos cortantes, también estos refuerzos se usan doblándolos en zonas donde no se requieren refuerzos, pero donde pueden aparecer las grietas longitudinales, este refuerzo es conocido generalmente como estribo.

Imagen 13. Diferentes tipos de refuerzo a cortante (Estribos)



Fuente: UNIVERSIDAD DE SONORA. Temas de apoyo para los cursos de concreto: Capitulo 5 Cortante

Elementos que estén o no reforzados tienen un comportamiento similar hasta la aparición de las primeras grietas ya que es en ese momento donde empieza a actuar el refuerzo longitudinal el cual restringe el crecimiento de estas grietas, si hay el suficiente refuerzo las grietas serán pequeñas y de poca consideración y la falla que generara será la de flexión antes o después de la fluencia del refuerzo, ayuda a conservar una mayor profundidad para la zona de compresión incrementando la capacidad de resistir fuerzas normales y tangenciales.

Cualquier tipo de refuerzo longitudinal usado no empezara a actuar hasta que se formen las primeras grietas en el concreto. Cuando empiezan a aparecer estas grietas el refuerzo comienza a deformarse gradualmente al incrementarse la carga hasta llegar a su punto límite de fluencia. Para que el refuerzo se comporte de una

manera eficiente se debe colocar a diferentes longitudes del elemento estructural, para que cuando aparezca una grieta se encuentre por lo menos con una barra de acero.

#### 4.2.3.3 Elementos Sometidos a Corte

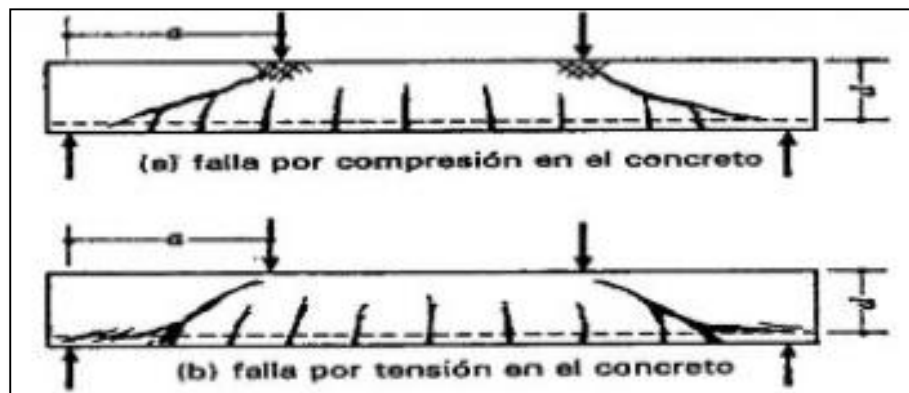
##### - Vigas

Las Vigas son elementos estructurales utilizados para soportar los pesos colocados encima de estos mediante la resistencia a las fuerzas internas de flexión y corte.

En ese sentido el Predimensionamiento de las vigas consiste en determinar las dimensiones necesarias para que el elemento sea capaz de resistir la flexión y el corte. Para el diseño de vigas se debe cumplir con los requisitos de:

Determinar las cargas – Cuantificar las Fuerzas – Predimensionar – Comprobar rigidez

Imagen 14. Fallas en Vigas



Fuente: <http://es.slideshare.net/lagaher/elementos-de-concreto-simple-y-reforzado>

Las vigas deben tener un factor de seguridad adecuado contra los tipos de fallas conocidos: Flexión y Corte. La falla por cortante es difícil de predecir adecuadamente, aun con el uso de sofisticadas herramientas de estudio y mucha experimentación, todavía no se ha dado una explicación satisfactoria del fenómeno.

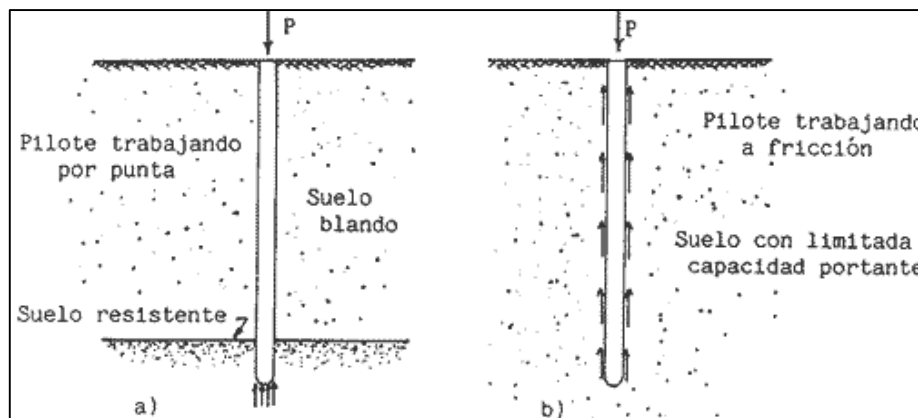
Si una viga sin refuerzo adecuado para corte se sobrecarga a la falla, el colapso por corte ocurrirá de repente sin ningún aviso de sobre esfuerzo. Entonces, las vigas de concreto reforzado se diseñan para que ocurra una falla por flexión antes que una falla por corte.

#### - Pilotes

Los pilotes son elementos constructivos de tipo puntual usados para cimentación profunda en obras de construcción, los cuales permiten transmitir las cargas de la estructura hasta capas de suelo más profundas que tengan la capacidad de carga suficiente para soportarlas.

Los pilotes transmiten al terreno las cargas que reciben de la estructura mediante una combinación de rozamiento lateral o resistencia por fuste y resistencia a la penetración o resistencia por punta. Ambas dependen de las características del pilote y del terreno, y la combinación idónea es el objeto del proyecto. Los pilotes se pueden clasificar por su manera de trabajar ya sea por punta o por fricción

Imagen 15. Tipos de Pilotes



Fuente: <http://ingecivilcusco.blogspot.com.co/2009/06/pilotes.html>

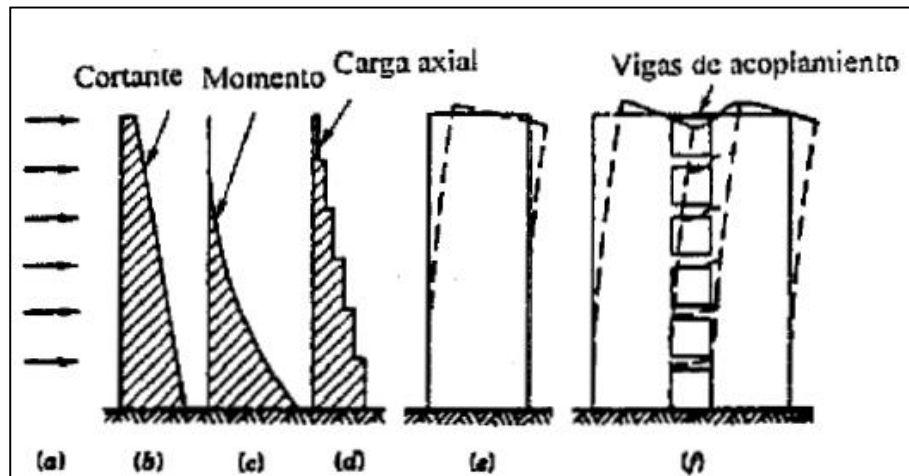
Para el diseño de los pilotes se procede básicamente a tratarlos como columnas, y su consideración como cortas o esbeltas dependerán del grado de confinamiento que les impartan los estratos atravesados por el pilote; así mismo, la longitud de sus refuerzos será en función, de la disipación de la carga del pilote por fricción con el terreno que lo rodea, del grado de homogeneidad del mismo terreno y de la

localización del refuerzo transversal, además de sus propias especificaciones, debe ser apta para las fuerzas de corte definidas por el ingeniero asesor de suelos y fundaciones.<sup>28</sup>

#### - Muros Estructurales

Es común que se denomine a los muros de concreto reforzado como “muros de corte” o “muros de cortante” porque resisten un alto porcentaje de la fuerza cortante lateral total. Sin embargo, la mayoría de los muros se diseñan de manera que tengan un comportamiento dominado por flexión, y que, por tanto, exhiban un modo de falla dúctil.

Imagen 16. Esfuerzos en los Muros Estructurales



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/60394698/MUROS-ESTRUCTURALES>

Los muros estructurales deben diseñarse para resistir la variación del cortante en la altura (que es máximo en la base), del momento, que produce compresión en un extremo y tensión en el extremo opuesto, así como las cargas gravitacionales que producen compresión en el muro (Imagen 16). La cimentación debe diseñarse para resistir el cortante y el momento máximo que puedan desarrollarse en las bases de los muros<sup>29</sup>

<sup>28</sup> SEGURA FRANCO, Jorge Ignacio. Estructuras de Concreto I: Capítulo 8 Cimentaciones. 7 ed. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011. 589 pág.

<sup>29</sup> ALCOCER, Sergio. Comportamiento y diseño de estructuras de concreto reforzado: Muros estructurales. México D.F. 1995. Obtenido en: <<http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Diciembre2005/pdf/spa/doc6517/doc6517.htm>>

#### 4.2.3.4 Resistencias

El esfuerzo a cortante se presenta en diferentes situaciones de la estructura de concreto, vigas, muros estructurales, cimentaciones profundas, entre otras, siendo las vigas las que mayor presentan esfuerzos de tensión producidos por los esfuerzos de cortante. Los elementos estructurales que fallen por cortante tenderán a hacerlo en superficies perpendiculares a las direcciones de las tensiones principales, esto se debe a que la resistencia del concreto a cortante es baja aproximada del 10% en comparación con la resistencia a compresión. Por esto es necesario colocar refuerzos de acero a los elementos estructurales para contrarrestar los esfuerzos de cortante y tensión. El principal efecto que produce la fuerza cortante en un elemento estructural, es el desarrollo de esfuerzos a tensión inclinados o más conocidos como grietas inclinadas con respecto al eje longitudinal del elemento por lo que es necesario reforzar el elemento por cortante.<sup>30</sup>

En un elemento que no tenga refuerzo a cortante, el concreto es el que asume esa resistencia, mientras que, si el elemento tiene refuerzos a cortante, una parte de la resistencia a cortante la proporciona el concreto y el restante lo asume el refuerzo diseñado a cortante. La resistencia asumida por el concreto se supone que es la misma si tuviera o no refuerzo y se toma como el cortante que provoca un agrietamiento inclinado significativo

#### 4.2.3.5 Metodologías existentes para medir Esfuerzos de Cortante

Debido a que las roturas por corte son consideradas frágiles y frente al incremento en la ductilidad del hormigón que producen las fibras, actualmente existe un gran interés en determinar la respuesta del hormigón reforzado con fibras frente a esas

---

<sup>30</sup> UNIVERSIDAD DE SONORA. Biblioteca Digital: Estudio Cortante  
<<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3527/Capitulo5.pdf>> [Citado el 10 de octubre del 2015]

condiciones de carga. Por este motivo se han propuesto diferentes tipos de probetas y ensayos que tienen por objetivo producir esfuerzos de corte en un plano de falla predefinido (normalmente cortando entallas en las probetas), empleando barras y cargas de compresión<sup>31</sup>

El ensayo de probetas tipo Z (Imagen 17a) ha sido bastante popular en la determinación de la respuesta al corte directo del hormigón.<sup>32</sup> La probeta es básicamente un prisma cortado formando dos bloques tipo L, unidos a través de un plano sobre el que se producen las tensiones de corte debido a una carga de compresión externa. Sin embargo, estos ensayos son muy sensibles a excentricidad en la aplicación de la carga de compresión, lo que se traduce en roturas por flexión y no por corte.

Frente a este problema experimental, se han propuesto otras alternativas de ensayo, como las vigas o paneles en flexión con una o dos entallas excéntricas y carga central o vigas con dos entallas centrales y cargas excéntricas, que se puede ver en la Imagen 17b.<sup>33</sup> Estas configuraciones de ensayo permiten la propagación de fisuras en modo mixto de fractura, es decir, en ellas se desarrollan simultáneamente componentes de tracción (apertura) y corte (deslizamiento de las caras)<sup>34</sup>

---

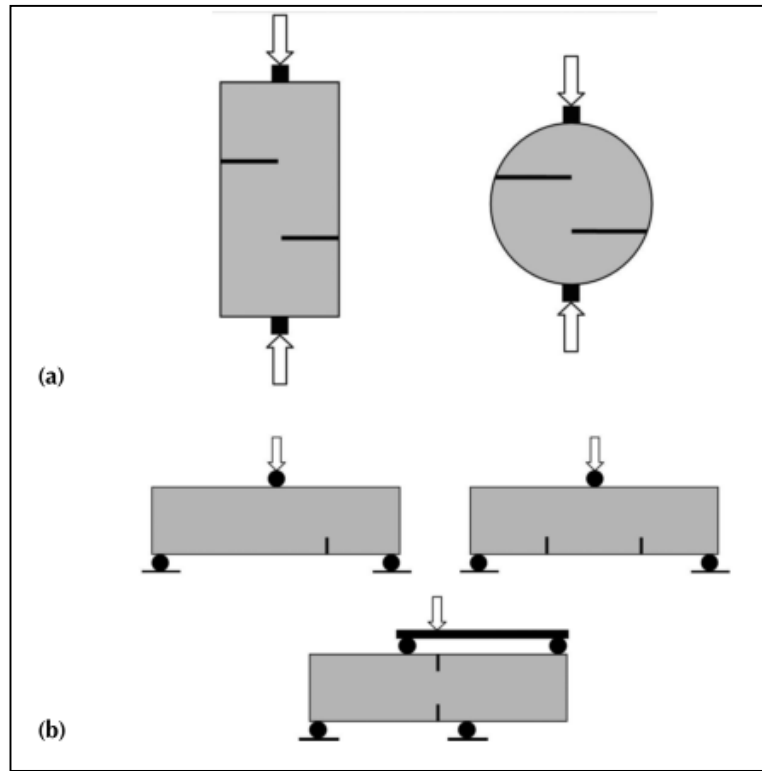
<sup>31</sup> TURMO, José, BANTHIA, Nemy, GETTU, Ravindra y BARRAGÁN, Bryan. Estudio del Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras. En: Revista Materiales de Construcción. Vol. 58, No 292, p. 5-13

<sup>32</sup> BARR, B. The Fracture Characteristics of FRC Materials in Shear, Fiber Reinforced Concrete: Properties and Applications, 1987, Editado por SHAH, Surendra y BATSON, Gordon, Farmington Hills, Michigan: ACI SP-105, pp 27 – 53

<sup>33</sup> *Ibid.*, pág. 27-53

<sup>34</sup> *Ibid.*, pág. 27-53

Imagen 17. Tipos de Ensayo Existentes para medir el Esfuerzo a Cortante



Fuente: CARMONA, Sergio y CABRERA, Manuel. Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero

## 4.3 MARCO LEGAL

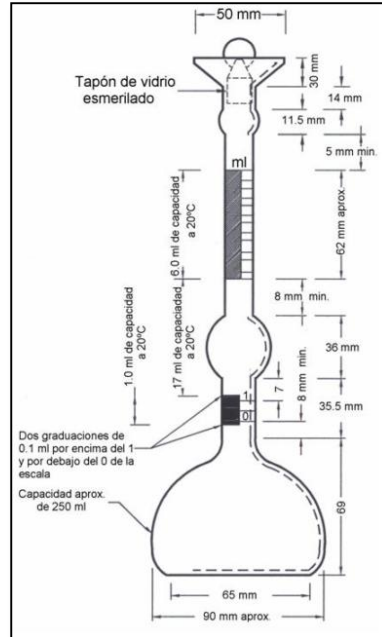
### 4.3.1 Normativa Respecto al Cemento

#### 4.3.1.1 NTC 221

“Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico.”<sup>35</sup>

El método consiste en llenar el Frasco de Le Chatelier con Kerosen o Nafta (Densidad > 0.73 g/ml a 23°C) hasta el punto situado entre las marcas 0 ml y 1 ml. Luego se agrega lentamente una cantidad de cemento pesado (aproximadamente 64 g de cemento Portland), procurando evitar salpicaduras y observando que el cemento no se adhiera a las paredes del recipiente. Después de agregar todo el cemento debe colocarse el tapón en el frasco y girarlo con cuidado en círculos horizontales, con el fin de que todas las burbujas asciendan.

Imagen 18. Frasco de Le Chatelier



Fuente: NTC 221

<sup>35</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1999. 6 p. (NTC 221)

La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa de cemento usada en el ensayo, la densidad en Megagramos por metro cúbico ( $\text{Mg/m}^3$ ) es equivalente a gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ) y para los cálculos del Diseño de Mezcla se necesitarán en kilogramos por metro cúbico ( $\text{Kg/m}^3$ )

#### 4.3.2 Normativa Respecto al Agregado Fino y Grueso

##### 4.3.2.1 NTC 98

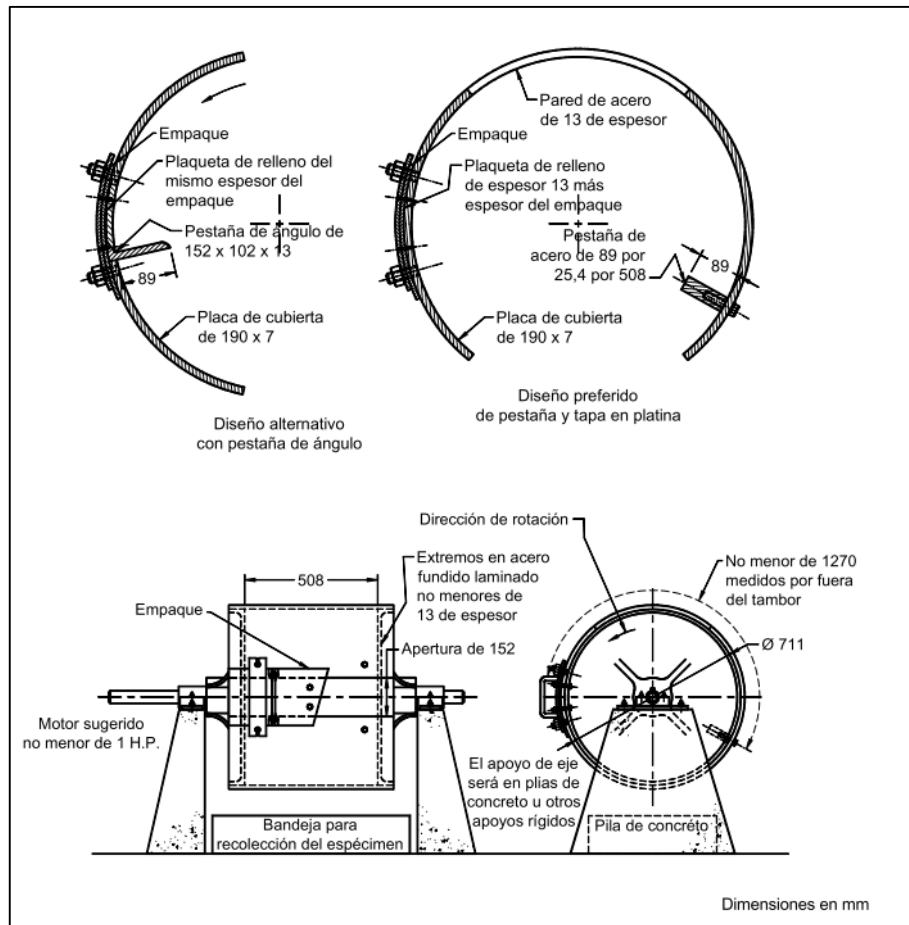
“Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos hasta de 37.5mm, Utilizando la Máquina de los Ángeles”<sup>36</sup>

El ensayo en la máquina de Los Ángeles es una medida del desgaste de los agregados minerales de gradación normalizada resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto, y trituración en un tambor rotatorio de acero; que contiene un número especificado de esferas de acero; el número de esferas depende de la gradación de la muestra de ensayo. Cuando el tambor rota, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta que ellas caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto - trituración. El contenido, entonces, es arrastrado dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña y el ciclo se repite. Después del número prescrito de vueltas, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizado para medir el desgaste como pérdida en porcentaje. Para que el agregado sea apto el porcentaje de desgaste deberá ser menor al 50%

---

<sup>36</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos hasta de 37.5mm, Utilizando la Máquina de los Ángeles. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 2006. 9 p. (NTC 98)

Imagen 19. Máquina de Ensayo de Los Ángeles



Fuente: NTC 98

#### 4.3.2.2 NTC 77

#### “Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos”<sup>37</sup>

Esta norma abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado. Una muestra de agregado seco previamente pesada, se separa a través

<sup>37</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 2007. 10 p. (NTC 77)

de una serie de tamices de aberturas progresivamente más reducidas para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas

Imagen 20. Tamices



Fuente: [http://www.interquimica.cl/home/images/stories/virtuemart/product/tamiz\\_bronce\\_ace\\_52704befa04df5.jpg](http://www.interquimica.cl/home/images/stories/virtuemart/product/tamiz_bronce_ace_52704befa04df5.jpg)

#### 4.3.2.3 NTC 176

##### “Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso”<sup>38</sup>

Una muestra de agregado grueso, la cual su cantidad depende del tamaño nominal del agregado, se sumerge en agua durante 24 h aproximadamente para saturar los poros. Luego se remueve el agua y se seca la superficie de las partículas, y se determina su masa. Posteriormente, la masa de la muestra es determinada y sumergida en el agua. Finalmente, la muestra es seca al horno y se determina su masa una tercera vez. Se usan las masas obtenidas y con las fórmulas de este método de ensayo, se calculan tres tipos de densidad y la absorción.

---

<sup>38</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 12 p. (NTC 176)

#### 4.3.2.4 NTC 237

“Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino”<sup>39</sup>

Se toma una muestra de agregado fino de aproximadamente 1 kg, se seca en el horno a 110°C, cuando la muestra se enfrié procedemos a cubrir con suficiente agua para saturar la muestra, dejándola entre 15 a 19 horas. Luego se remueve el agua y se seca el agregado al aire libre o con una corriente caliente, corroborando su asentamiento sea completo al ingresarlo en un cono truncado. Una vez el agregado se encuentre seco procedemos a depositarlo en un Picnómetro parcialmente lleno, es necesario eliminar completamente el aire atrapado en el recipiente; trabajando a una temperatura de 23°C. Una vez se completa las indicaciones se pesa la muestra y luego se extrae para su correspondiente secado en el horno, después pesamos nuevamente la muestra seca para realizar luego los cálculos pertinentes.

#### 4.3.2.5 NTC 92

“Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados”<sup>40</sup>

Esta norma se usa para determinar los valores de la masa unitaria (peso unitario o densidad) necesarios para la selección de las proporciones de los agregados en las mezclas de concreto.

Se debe utilizar un recipiente con determinadas especificaciones (ver norma completa), una varilla compactadora de acero con diámetro de 5/8” y un equipo de calibración que consiste en un vidrio de espesor mínimo de 6 mm.

Se procede inicialmente con la calibración del recipiente, en la cual se debe llenar completamente con agua, en la parte superior ubicamos la placa de vidrio para lograr completar el llenado y así eliminar las burbujas y el exceso de agua. Se mide la temperatura del agua y se pesa junto con el recipiente.

---

<sup>39</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 11 p. (NTC 237)

<sup>40</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 10 p. (NTC 92)

La norma específica 2 tipos de procedimientos dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado para encontrar la Masa Unitaria Compactada:

- Procedimiento por Apisonamiento, para tamaño igual o menores a 1 ½”, en la cual se llena el molde con 3 capas compactadas con 25 golpes con la varilla de compactadora.
- Procedimiento por Golpeteo, aplica para tamaño superiores a 1 ½” y consiste en dejar caer el recipiente 25 veces a una altura de 50 mm, de las cuales se compacta en 2 capas.

Por último, se realiza el Procedimiento por paleo, mediante el cual llenamos el recipiente con una cuchara o pala sin compactar el material.

Para calcular la Masa Unitaria se recopila la información de calibración del recipiente y los datos del procedimiento; una vez calculada esta densidad se procede a deducir el Contenido de vacíos, en la que se hace necesario haber hallado la Gravedad específica de los agregados según la NTC 176 y la NTC 237.

#### 4.3.2.6 NTC 1495

“Ensayo para Determinar el Contenido en Humedad de Suelos y Roca, con Base en la Masa”<sup>41</sup>

La aplicación práctica de la determinación del contenido de agua en un material, es conocer la masa del agua removida al secar dicho material cuando está húmedo, en un horno a 110°C; y usar este valor como la masa del agua en el espécimen de prueba. La masa del material remanente después de secado en el horno, corresponde a la masa de las partículas sólidas. El contenido de agua se calcula relacionando la masa de agua en la muestra húmeda con la masa de la muestra seca.

---

<sup>41</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Ensayo para Determinar el Contenido en Humedad de Suelos y Roca, con Base en la Masa. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2001. 9 p. (NTC 1495)

### 4.3.3 Normativa Respecto al Diseño de Mezcla

#### 4.3.3.1 NTC 1377

##### “Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio”<sup>42</sup>

Esta norma establece los procedimientos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto que se puede compactar por apisonamiento o vibración.

#### 4.3.3.2 NTC 396

##### “Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto”<sup>43</sup>

Una muestra de concreto fresco se coloca en un molde tronco cónico y se compacta mediante una varilla. El molde se levanta permitiendo que el concreto se asiente. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. Las mediciones se deben tomar en el centro de la cara superior. El valor resultante debe incluirse en el informe como el asentamiento del concreto.

#### 4.3.3.3 NTC 673

##### “Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto”<sup>44</sup>

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen

---

<sup>42</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1994. 17 p. (NTC 1377)

<sup>43</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1992. 4 p. (NTC 396)

<sup>44</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. 3 ed. Bogotá: ICONTEC, 2010. 13 p. (NTC 673)

se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen.

#### 4.3.3.4 NSR 10 Título C

##### “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: Concreto Estructural”<sup>45</sup>

El Título C proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos del NSR-10 del cual el Título C forma parte. Este título también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes y rige en todos los aspectos relativos al diseño y a la construcción de concreto estructural.

Los requisitos del Título C deben emplearse en el diseño de elementos de concreto estructural que sean parte de estructuras diseñadas en otro material estructural distinto del concreto estructural cubierto por otros Títulos de la NSR-10.

#### 4.3.4 Normativa Respecto a las Fibras de Acero

##### 4.3.4.1 NTC 3696

“Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido”<sup>46</sup> Mayor a Tamiz 1 ½”

Esta norma determina el tiempo que requiere el concreto reforzado con fibras para fluir a través del cono de asentamiento invertido, sometido a vibración interna. La cual aplica para Laboratorio como para obra.

---

<sup>45</sup> ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá, Colombia: AIS, 2010.

<sup>46</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 5 p. (NTC 3696)

#### 4.3.4.2 NTC 5541

“Concretos reforzados con fibras”<sup>47</sup>

Constituye en la norma general de fibras, con las definiciones y clases generales de reforzamiento con fibras. Igualmente, lista las propiedades del concreto modificadas por la inclusión de las fibras. Así como señala las recomendaciones de mezclado, transporte y manipulación de un concreto reforzado con fibras. Establece igualmente las tolerancias de variación sobre las propiedades más importantes de los concretos reforzados con fibras. Equivalente a la ASTM C 1116

#### 4.3.4.3 NTC 5214

“Fibras de acero para refuerzo de concreto”<sup>48</sup>

Equivalente a la ASTM A 820 define las propiedades y especificaciones, de las fibras de acero destinadas a ser usadas en concreto.

#### 4.3.5 Metodología del Estudio de Esfuerzos a Cortante

##### 4.3.5.1 JSCE SF-6

"Japan Society of Civil Engineers. Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete SFRC. Tokyo: JSCE."<sup>49</sup>

En esta norma se implementan dos platinas provistas de dos cuñas cada una, cuyas caras exteriores coinciden con el borde interno de la otra platina, garantizándose un plano de falla definido y por lo tanto un esfuerzo de cortante puro.

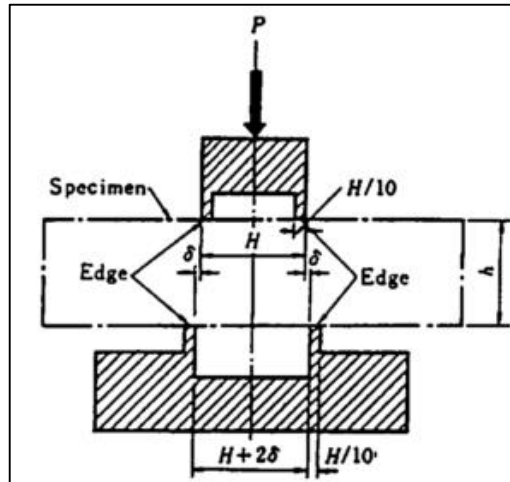
---

<sup>47</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Concretos reforzados con fibras. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2007. 28 p. (NTC 5541)

<sup>48</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Fibras de acero para refuerzo de concreto. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2010. 8 p. (NTC 5214)

<sup>49</sup> JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Concrete library international: Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete SFRC. Tokyo: JSCE, 1984. 3 p. SF-6.

Imagen 21. Platinas para Ensayo a Cortante



Fuente: JSCE SF-6

#### 4.3.6 Normativa Respecto a los Aditivos en el Concreto

##### 4.3.6.1 NTC 1299

“Concretos. Aditivos químicos para el concreto”<sup>50</sup>

Esta norma comprende los materiales que se usan como aditivos químicos, en mezclas de concreto hidráulico los cuales se adicionan con el propósito indicado para los siete tipos mencionados a continuación:

Tipo A. Aditivos reductores de agua.

Tipo B. Aditivos retardantes.

Tipo C. Aditivos acelerantes.

Tipo D. Aditivos reductores de agua y retardantes.

Tipo E. Aditivos reductores de agua y acelerantes.

Tipo F. Aditivos reductores de agua de alto rango.

<sup>50</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Concretos. Aditivos químicos para el concreto. 4 ed. Bogotá: ICONTEC, 2008. 25 p. (NTC 1299)

## 5 DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Línea Central de Investigación de la Universidad La Gran Colombia

“INGENIERÍA CIVIL CON TECNOLOGÍA APROPIADA PARA LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA REGIONAL SOSTENIBLE Y EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA”

Línea Primaria de Investigación en Estructuras

“EDIFICACIONES Y OBRAS CIVILES CON TECNOLOGÍA APROPIADA PARA LA REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE VIDA: EDOC – UGC”

### 5.2 ENFOQUE CUANTITATIVO

El estudio del Comportamiento a Cortante del Concreto Reforzado con Fibras de Acero se realizará con un enfoque cuantitativo. Cabe resaltar la definición de Hernández Sampieri, para quien en dicho enfoque se “usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición y análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento”<sup>51</sup>. Basados en estos datos la investigación parte de teorías existentes en diversos campos, las cuales deben ser sometidas al mejoramiento del conocimiento por medio de nuevos procesos, métodos y materiales. De esta manera nace la idea de estudiar la afectación que puede tener las Fibras de Acero en el Comportamiento a Cortante del Concreto.

---

<sup>51</sup> HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la Investigación: Proceso de la Investigación Cualitativa. México D.F.: McGraw-Hill, 2010. 613 pág. ISBN: 978-607-15-0291-9

### 5.3 TIPO INVESTIGACIÓN

El procedimiento para esta investigación experimental se conoce generalmente como método científico. “La aplicación de la lógica y la objetividad al entendimiento de los fenómenos o comportamientos físicos desconocidos, es la base de la fundamentación del método científico”<sup>52</sup>. Para el método científico es esencial el estudio de lo que ya se conoce. A partir de este conocimiento, se formulan hipótesis, las cuales se ponen a prueba partiendo por lo general de situaciones experimentales.

### 5.4 HIPÓTESIS

La adición de Fibras de Acero en cuantías del 2.0% tendrá un mejor comportamiento al Corte debido a una óptima dosificación, siendo el diámetro de las fibras directamente proporcional a la resistencia, utilizando una relación de fibras 65/60 clave para mejorar el rendimiento al Corte.

La muestra de Concreto reforzada con Fibras de Acero de resistencia a la compresión de 44 Mpa tendrá una falla dúctil, debido al buen comportamiento de las Fibras de Acero.

### 5.5 VARIABLES

Esta investigación experimental analizará las Variables Independientes que tendrán afectación a las Variables Dependientes definidas:

---

<sup>52</sup> Ibid., 613 pág.

Variables Dependientes:

Variable		Definición	Medición
Resistencia a la Compresión	21 Mpa 44 Mpa	Capacidad máxima del Concreto de soportar carga antes de llegar a la falla	Capacidad en Unidades de Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia al Cortante		Capacidad máxima del Concreto de resistir fuerzas paralelas al plano de falla	Capacidad proporcionada en Unidades de Presión (Kg/cm <sup>2</sup> )

Variables Independientes:

Variable		Definición	Medición
Cuantías de Fibra de Acero	0.5% 1.0% 1.5% 2.0%	Porcentaje de adición de Fibras de Acero en base al peso de la muestra	Están dadas en Peso de Fibras (Kg)
Tipo Fibras de Acero	Dramix 80/60 Dramix 65/60	Diferentes geometrías de la Fibra de Acero	Están ligadas a las Cuantías de Fibra

## 5.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La realización de Ensayos de Laboratorio es indispensable para la recolección de información:

### 5.6.1 Pruebas a los Materiales

<b>Norma</b>	<b>Tipo Ensayo</b>	<b>Equipo Necesario</b>
NTC 98 INVE 218	Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos hasta de 37.5mm.	Máquina de los Ángeles
NTC 77 INVE 213	Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos	Horno, Tamices
NTC 1495 INVE 122	Ensayo para Determinar el Contenido en Humedad de Suelos y Roca, con Base en la Masa	Horno
NTC 176 INVE 223	Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso	Horno, Saturar 24 Horas
NTC 237 INVE 222	Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino	Horno, Saturar a 15 a 19 Horas
NTC 221 INVE 307	Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico	Frasco Le Chatelier
NTC 176 INVE 223	Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso	Horno
NTC 237 INVE 222	Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino	Picnómetro, Horno

### 5.6.2 Pruebas al Diseño de Mezcla

<b>Norma</b>	<b>Tipo Ensayo</b>	<b>Equipo Necesario</b>
NTC 1377	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio	Cilindros
NTC 396	Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto	Molde para Asentamiento
NTC 673 INVE 410	Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto	Máquina Compresión

### 5.6.3 Pruebas Definitivas

<b>Norma</b>	<b>Tipo Ensayo</b>	<b>Equipo Necesario</b>
NTC 1377	Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio	Cilindros
NTC 396	Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto	Molde para Asentamiento
NTC 673 INVE 410	Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto	Máquina Compresión
JSCE-SF6	Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete.	Montaje Ensayo a Corte

## 5.7 FASES

EL Proyecto sobre el Análisis Del Comportamiento A Cortante De Concretos De 21Mpa Y 44Mpa Reforzado Con Fibras De Acero estará dividido en tres fases o etapas principales:

### 5.7.1 Fase 1: Diseño de Mezcla

Esta primera fase consistirá en caracterizar las propiedades de los materiales necesarios para llevar a cabo el diseño de mezcla tales como el Cemento, Agregados Gruesos y Finos, características necesarias:

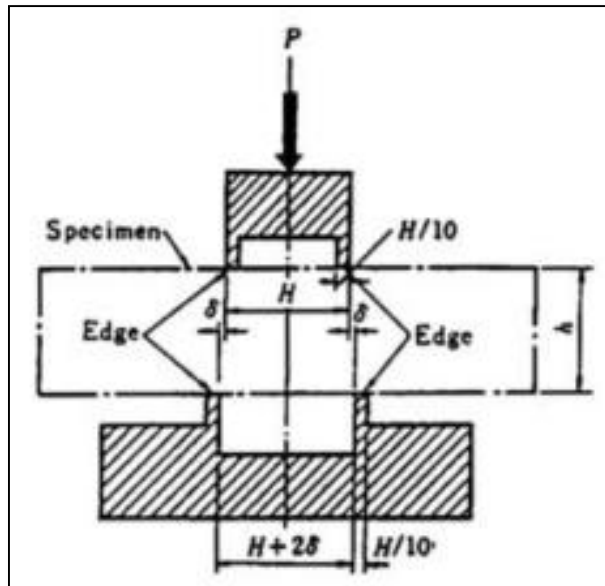
- Análisis Granulométrico
- Forma y Textura de las Partículas
- Peso Específico Aparente
- Capacidad de Absorción de Agua
- Contenido Natural de Humedad
- Masas Unitarias

Con el fin de que las Muestras de concreto logren obtener resistencias de 21 Mpa y 44 Mpa se realizara el diseño de mezcla de acuerdo a las características de los materiales. Esto con el fin de garantizar una resistencia constante en la Fase 3 de las Pruebas Definitivas

### 5.7.2 Fase 2: Método JSCE-SF6

La segunda etapa del proyecto consistirá en la elaboración y preparación del Método recomendado por la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE-SF6). Para ello se fabricarán las Platinas en Acero Macizo con las dimensiones recomendadas y espesor suficiente para soportar grandes cargas de compresión.

Imagen 22. Dimensiones Recomendadas para el Método JSCE-SF6

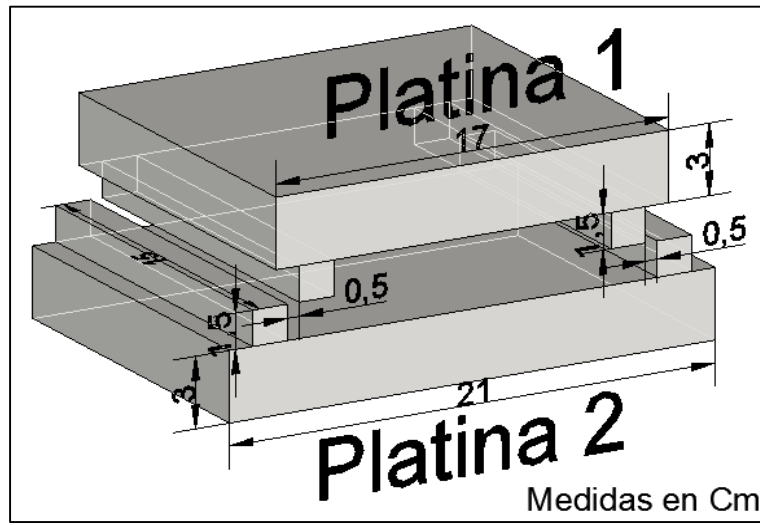


Fuente: Fig.1 JSCE-SF6

El aparato de ensayo de corte (Platinas) como muestra la Imagen 22 será de tal manera que la carga actuará perpendicularmente sobre la muestra en todo momento y tendrá bordes de ancho específico, mientras que las desviaciones ( $\delta$ ) en los bordes superiores e inferiores; deberán encontrarse en un rango que varía de 0 a 1 mm. La separación ( $H$ ) entre los bordes; será de la misma dimensión que la altura de la probeta ( $h$ ), y el ancho del borde será  $1/10$  de la separación del borde ( $H$ ).

Las formaletas disponibles en el Laboratorio de la UGC-Facultad de Ingeniería Civil son de 15cm de Ancho, 15cm de Alto y 54cm de Largo, por lo que en base a lo recomendado en la JSCE-SF6 se procedió a predimensionar las Platinas de Acero necesarias.

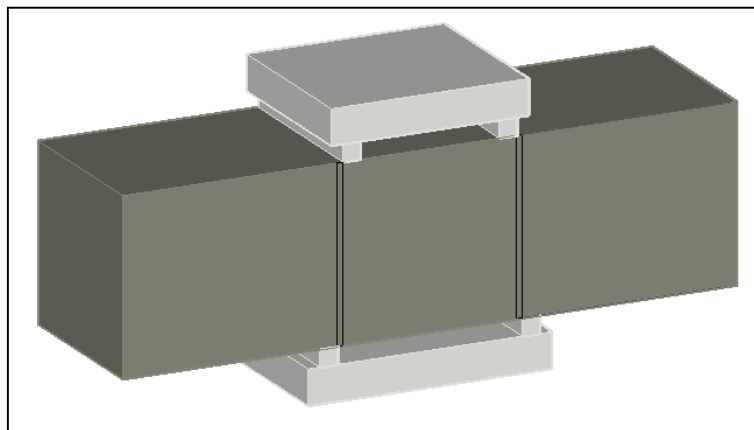
Imagen 23. Predimensionamiento Platinas de Acero para el Método JSCE-SF6



Fuente: Propia

Ensayos previos realizados por Mirsaya - Bantia<sup>53</sup> y Carmona<sup>54</sup> demostraron que la falla no se producía en la zona esperada, por lo que era necesario definir aún más los planos de falla, estos autores realizaron 2 entalladuras o ranuras en las zonas angostas a las cual se someterían a esfuerzos de corte, teniendo en cuenta una edad mínima de las probetas de 7 días, esto con el fin de garantizar resultados válidos y homogéneos.

Imagen 24. Disposición de Ranuras en Viguetas



Fuente: Propia

<sup>53</sup> MIRSAYAH, Amir y BANTHIA, Nemkumar. Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete. En: ACI Materials Journal. Vol. 99, No. 5 (Sep. 2002); p. 473-479

<sup>54</sup> CARMONA, Sergio y CABRERA, Manuel. Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero. En: Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 24, No. 1, p. 19-94

### 5.7.3 Fase 3: Pruebas Definitivas

En esta etapa se procede a realizar los Ensayos de Resistencia a Corte en las Probetas ya previamente realizado su Diseño de Mezcla.

Tabla 1. Resumen Probetas

VIGUETAS A ENSAYAR				
Cuantía	Kg/m3	Tipo Fibra	3000 psi	6000 psi
0.0%	0.0		3	3
0.5%	12.2	65/60	3	3
		80/60	3	3
1.0%	24.5	65/60	3	3
		80/60	3	3
1.5%	36.7	65/60	3	3
		80/60	3	3
2.0%	49.0	65/60	3	3
		80/60	3	3
<b>Total</b>			<b>27</b>	<b>27</b>
			<b>54</b>	

Fuente: Propia

Las Probetas manejarán cuantías de Fibras, respecto al peso, de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0% con relaciones de aspecto de 65/60 y 80/60. El diseño de las muestras de Concreto se trabajará con resistencia a la Compresión de 21 Mpa y 44 Mpa. De allí se procederá a realizar las pruebas de Resistencia a Cortante para analizar el comportamiento que tendrán la dosificación de fibras en el Concreto, del tipo de Fibra de Acero, y de Resistencia.

La resistencia al corte se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P}{2bh}$$

Donde, T: Resistencia al Corte (Kgf/cm<sup>2</sup>) (N/mm<sup>2</sup>)

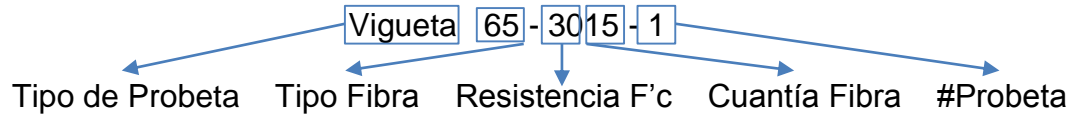
P: Máxima carga obtenida de no menos de tres especímenes. (Kgf) (N)

B: Ancho del espécimen obtenido de acuerdo con la norma (cm) (mm)

H: Alto del espécimen obtenido de acuerdo con la norma (cm) (mm)

Las alturas y ancho de cada uno de los dos planos de falla previstos de los especímenes se medirán al “0.2mm más cercano en los dos lugares y los respectivos valores medios tomados serán la altura y ancho.”<sup>55</sup>

Las muestras (Viguetas o Cilindros) se codificarán de la siguiente manera:



- Tipo Probeta: Viguetas y Cilindros
- Tipo Fibra: Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60
- Resistencia F'c: 3000psi (21Mpa) y 6000psi (44Mpa)
- Cuantía Fibras: Cantidad de Fibras en base al peso de la probeta, 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%
- # Probeta: Identificación de la Probeta. 1, 2 o 3

---

<sup>55</sup> JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Concrete library international: Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete SFRC. Tokyo: JSCE, 1984. 3 p. SF-6.

## 6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 DISEÑO DE MEZCLA

Se plantearon pruebas piloto con el fin de garantizar que la mezcla cumpla con las condiciones de Resistencia de 21Mpa y 44Mpa, para ello fue necesario caracterizar primero los materiales y estudiar la granulometría de los agregados grueso (grava) y fino (arena). Para el diseño Mármol Salazar<sup>56</sup> recomienda fabricar el concreto como se realiza tradicionalmente sin fibras, aumentando el asentamiento en el Cono de Abrams, para cuantías de fibras del 1% será necesario un asentamiento de 180mm, con el fin de garantizar una dispersión adecuada de estas y una fluidez adecuada para la mezcla.

Bajo estas premisas se continúan con los lineamientos de Sánchez de Guzmán<sup>57</sup>, quien sigue el método más común en Norte América y muchos países, entre la cual se incluye Colombia: “Práctica Recomendable para Dosificar Concreto Normal y Concreto Pesado de la ACI 211”, con algunas variaciones que permiten hacer los diseños más adecuados a las condiciones y materiales del medio colombiano.

#### 6.1.1 Caracterización de los Materiales

Los ensayos necesarios para caracterizar los materiales deben cumplir con las especificaciones de la Norma Técnica Colombiana. Se explica a continuación cada material manejado.

---

<sup>56</sup> MÁRMOL SALAZAR, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Madrid, 2010, 81 h. Trabajo de grado (Master Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ingeniería Civil

<sup>57</sup> SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero: Diseño de Mezcla. Bogotá: Bhandar Editores Ltda. 2001. 350 p.

Se utilizó cemento gris Portland tipo I convencional, marca Cemex que, de acuerdo a la ficha técnica del producto, cumple con las normas NTC 121 y NTC 321. Ver Anexo A, obteniéndose:

Densidad del Cemento:  $2.78 \text{ g/cm}^3$

Imagen 25. Cemento



Fuente: Propia

El agregado fino corresponde a arena de río lavada, adquiridas de un depósito local, cercano a la Facultad de Ingeniería Civil de la UGC (Ver Imagen 26), cuyas características se presentan a continuación:

Humedad: 0.57%

Gravedad Específica bulk (Gsb):  $2.60 \text{ g/cm}^3$

Gravedad Específica bulk sat. superficial seca (Gsb sss):  $2.63 \text{ g/cm}^3$

Gravedad Específica aparente (Gsa):  $2.68 \text{ g/cm}^3$

Absorción: 1.2%

Imagen 26. Arena



Fuente: Propia

El módulo de finura se calculó en base a la granulometría del material, ver Anexo A.

Módulo Finura: 3.27

El agregado grueso corresponde a grava común en su mayoría de forma redondeada, (Ver Imagen 28) adquirida en Funza (Cundinamarca), la cual debía cumplir en primera instancia con un indicador de calidad relativa, el ensayo de desgaste en la Máquina de los Ángeles (Ver Imagen 27), obteniéndose:

Porcentaje Desgaste: 31.44%

Imagen 27. Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia

Las demás características se resumen a continuación:

Humedad: 1.38%

Gravedad Específica bulk (Gsb): 2.23 g/cm<sup>3</sup>

Gravedad Específica bulk sat. superficial seca (Gsb sss): 2.34 g/cm<sup>3</sup>

Gravedad Específica aparente (Gsa): 2.50 g/cm<sup>3</sup>

Absorción: 4.8%

Tamaño Máximo: 3/4

Tamaño Máximo Nominal: 1/2

Imagen 28. Gravilla



Fuente: Propia

Los tamaños máximo y máximo nominal se calcularon de la granulometría del material, ver Anexo A.

Las Fibras de Acero Dramix, fueron provistas por Proalco, de producción nacional. Las cuales cumplen las normas ASTM A820 y NTC 5214. Ver Anexo A.

Se utilizaron dos tipos de Fibras de Acero, relacionadas en la siguiente tabla:

Tabla 2. Propiedades Fibras Dramix empleadas

Propiedades	Dramix 80/60	Dramix 65/60
Longitud (mm)	60	60
Diámetro (mm)	0.75	0.90
Esbeltez	80	65
Fibras/Kg	4600	3200
Resistencia a tracción (N/mm <sup>2</sup> )	1225 ± 7.5%	1160 ± 7.5%

Fuente: Propia

Las longitudes de los dos tipos de fibras se dejaron constante, mientras su diámetro vario de 0.75mm a 0.90 mm. Comercialmente las fibras vienen pegadas (unidas), pero con la característica que, al entrar en contacto con el agua y la acción de mezclado, estas se desprenden.

Imagen 29. Fibras de Acero



Fuente: Propia

Los concretos adicionados con Fibras de Acero presentan pérdida de manejabilidad, por lo que se es necesario usar Aditivos Súper plastificantes y/o Reductores de Agua. Para la presente investigación se utilizó un Aditivo de alto rango, conocido como MasterGlenium 357 y fabricado por Basf. El cual presenta un excelente desempeño para asentamientos deseados de 150 a 200mm, y por recomendación del fabricante se debe usar dosificaciones en un rango de 0.15 a 1.20% del peso del cemento.

Imagen 30. Aditivo súper plastificante / Reductor de Agua



Fuente: Propia

### 6.1.2 Granulometría

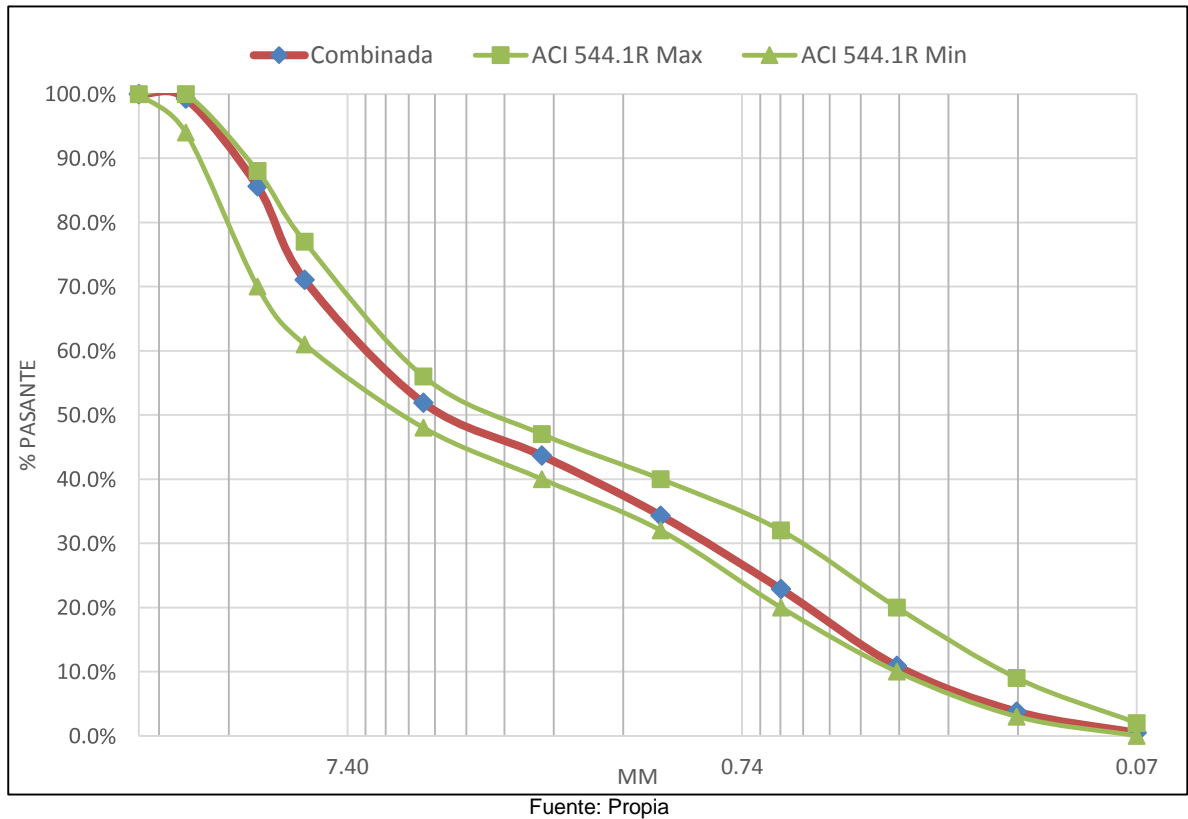
La granulometría de los agregados debe cumplir con los requerimientos de la Tabla 2.1 "Recommended combined aggregate gradations for steel fiber reinforced concrete"<sup>58</sup> del ACI 544.1R-8 para concretos reforzados con fibras.

En la Gráfica 1, se compara la granulometría de los agregados combinados utilizados contra las granulometrías límite recomendadas por la ACI 544.1R. Esta recomendación indica mantener la combinación de agregado grueso y fino dentro de unos rangos, esto se debe a que los concretos reforzados con fibras necesitan un contenido suficiente de finos de tal manera que permitan una buena manejabilidad de la muestra y una correcta lubricación de la interfaz de agregados, cemento y fibras.

---

<sup>58</sup> AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2002. pág. 8. ACI 544-1R 02.

Gráfica 1. Granulometría Combinada



Como se observa en la gráfica los porcentajes de los agregados son de 60% Arenas y 40% Gravas los cuales satisfacen los requerimientos para los Concretos Reforzados con Fibras de la ACI 544.1R.

### 6.1.3 Pruebas Piloto

Se realizó el diseño de mezcla para un concreto simple con resistencia deseada de 21 Mpa y 44 Mpa en dos edades, a los 7 y 28 días. Se planteó inicialmente un diseño a los 7 días con el fin de establecer de manera rápida la combinación adecuada de agua-cemento (a/c), siendo de la siguiente manera:

- 1 mezcla de relación a/c de 0.48 y un asentamiento deseado de 180mm, la cual se llevaría a la falla a los 7 días, con el objetivo de obtener el 60-70% de resistencia a la compresión final de 21 Mpa (3000psi)

- 1 mezcla de relación a/c de 0.32 y un asentamiento deseado de 180mm, la cual se llevaría a la falla a los 7 días, con el objetivo de obtener el 60-70% de resistencia a la compresión final de 44 Mpa (6000psi)

De estas mezclas se obtuvieron las siguientes resistencias a la compresión f'c:

Tabla 3. Resistencia a los 7 Días

a/c	f'c 28 días (Kg/cm2)	Cilindros (Kg/cm2)				Promedio x̄	Desviación Estándar		f'c equiv. a 28 Días
		1	2	3	4		s	%	
0.48	210	*	152.77	141.20	149.12	147.69	±5.91	2.82%	70.33%
0.32	440	250.78	262.33	259.62	260.35	258.27	±5.12	1.16%	58.70%

\* Irregularidad en la probeta

Fuente: Propia

Para las mezclas fue necesario el uso de aditivos súper plastificantes / reductores de agua con el fin de mejorar la manejabilidad y lograr un asentamiento de 180mm, con una dosificación máxima permitida del 1.20% de aditivo, se consiguió una mezcla autocompactante (asentamiento mayor a 200mm) lo cual nos indicaba que el asentamiento de la mezcla no llegaría a tener problemas de manejabilidad al momento de adicionar las fibras de acero.

Estas mezclas cumplieron con los rangos establecidos de resistencia y asentamiento, por lo que se procedió con las mezclas de edad de 28 días, obteniéndose lo siguiente:

- 1 mezcla de resistencia a la compresión f'c 21 Mpa. (a/c de 0.48)

Tabla 4. Mezcla C-3000

Mezcla Pruebas Piloto	C-3000	
Asentamiento	180	mm
Resistencia f'c	210	kg/cm2
Relación Agua/Cemento	0.48	a/c
Contenido Agua Mezclado	201.12	kg/cm3
Contenido Cemento	419.0	kg/cm3
Estimación Agregados	Método Grafico	
Humedad Arena	7.27	%
Humedad Grava	6.25	%

Tabla 4. (Continuación)

Probetas	4	Cilindros
Desperdicio	10	%
Ajuste por Humedad a la Mezcla		
Material	Peso Húmedo kg/m <sup>3</sup>	Peso Húmedo kg
Cemento.	419.000	2.896
Agua.	129.674	0.896
Contenido de aire.	0.000	0.000
Agregado grueso	718.130	4.963
Agregado fino.	1087.500	7.516
<b>TOTAL</b>	<b>2354.304</b>	<b>16.272</b>
Aditivo	0.50%	0.014
Fibras Acero	0.00%	0.000

Fuente: Propia

- 1 mezcla de resistencia a la compresión  $f'c$  44 Mpa. (a/c de 0.32)

Tabla 5. Mezcla C-6000

Mezcla Pruebas Piloto	C-6000	
Asentamiento	180	mm
Resistencia $f'c$	420	kg/cm <sup>2</sup>
Relación Agua/Cemento	0.32	a/c
Contenido Agua Mezclado	201.12	kg/cm <sup>3</sup>
Contenido Cemento	628.5	kg/cm <sup>3</sup>
Estimación Agregados	Método Grafico	
Humedad Arena	7.27	%
Humedad Grava	6.25	%
Probetas	5	Cilindros
Desperdicio	10	%
Ajuste por Humedad a la Mezcla		
Material	Peso Húmedo kg/m <sup>3</sup>	Peso Húmedo kg
Cemento.	628.500	5.430
Agua.	137.970	1.192
Contenido de aire.	0.000	0.000
Agregado grueso	634.746	5.484
Agregado fino.	961.227	8.304
<b>TOTAL</b>	<b>2362.443</b>	<b>20.410</b>
Aditivo	0.70%	0.038
Fibras Acero	0.00%	0.000

Fuente: Propia

El ensayo de resistencia de compresión del concreto debe cumplir con los requerimientos de la NTC 673, todos los especímenes de ensayo para una edad de ensayo dada deben romperse dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, estas no deben superar los 28 días 20 horas (Tabla 6) y su precisión está dada en la Tabla 7

Tabla 6. Edad Ensayo Especímenes Permitidos

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	± 0,5 h o 2,1 %
3 d	2 h o 2,8 %
7 d	6 h o 3,6 %
28 d	20 h o 3,0 %
90 d	2 d o 2,2 %

Fuente: Tabla 2 de la NTC 673

Tabla 7. Precisión Ensayo Permitidos

	Coeficiente de variación <sup>4</sup>	Rango aceptable <sup>4</sup> de resistencia de cilindros Individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
150 mm por 300 mm [6 pulgadas por 12 pulgadas]			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
100 mm por 200 mm [4 pulgadas por 8 pulgadas]			
Condiciones de laboratorio	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuente: Tabla 4 de la NTC 673

Los cilindros de concreto con resistencia esperada de 21 Mpa se fundieron el 18 de febrero del 2016, mientras los de 44 Mpa el 01 marzo del 2016. Las edades de los ensayos y precisión cumplen con las condiciones dadas por la norma.

Tabla 8. Resultados Cilindros a 28 Días

F'c Esperado	Probeta	Edad	Pmax (Kn)	F'c (Kg/cm2)	F'c Prom (Kg/cm2)	Desv. Est.		Rango NTC 673
21 MPa	Cilindro 1	28 Dias 18 Horas	165.90	208.18	213.80	±10.67	4.99%	10.60%
	Cilindro 2	28 Dias 18 Horas	167.50	210.60				
	Cilindro 3	28 Dias 18 Horas	186.00	229.63				
	Cilindro 4	28 Dias 18 Horas	163.60	206.79				
	Cilindro	0 Dias 0 Horas	0.00					
44 MPa	Cilindro 1	28 Dias 0 Horas	357.80	446.65	446.26	±27.31	6.12%	10.60%
	Cilindro 2	28 Dias 0 Horas	362.10	465.00				
	Cilindro 3	28 Dias 0 Horas	326.90	404.10				
	Cilindro 4	28 Dias 0 Horas	356.20	440.61				
	Cilindro 5	28 Dias 0 Horas	378.00	474.96				

Fuente: Propia

La resistencia última  $f'c$  promedio obtenida fue de 213.8 Kg/cm<sup>2</sup> (21.0Mpa) con un Módulo de Elasticidad (E) de 21'522Mpa y de 446.3 kg/cm<sup>2</sup> (43.8Mpa) con un Módulo de Elasticidad (E) de 31'080Mpa, lográndose cumplir los objetivos de resistencia esperada.

Imagen 31. Cilindros C-3000 y C-6000



Fuente: Propia

## 6.2 MÉTODO JSCE-SF6

Siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Civiles (JSCE) para el Método de Ensayo de Resistencia al Corte en Concreto Reforzado con Fibras de Acero, se procedió a la fabricación de las Platinas de Acero Macizo.

Imagen 32. Platinas de Acero (Iniciales) para el Método JSCE-SF6



Fuente: Propia

Para definir aún mejor los planos de falla, se hizo indispensable realizar 2 entalladuras o ranuras en las zonas angostas que serían sometidas a esfuerzos de corte, para esto fue necesario realizar un corte de alrededor de 10mm de profundidad en las viguetas con una Pulidora provista de un disco especializado para cortes en concreto (Ver Imagen 33). Se realizaron las dos entalladuras (ranuras) en las 54 Viguetas necesarias para la presente investigación.

Imagen 33. Ranuras en las Viguetas



Fuente: Propia

El montaje del Método JSCE-SF6 se realizó en la Máquina Versa Tester (marca SOILTEST) (Ver Imagen 34) la cual posee dos rangos de carga, uno de 50 Kn y otro de 300 Kn, con una precisión de 0,01 Kn y 0.1 Kn respectivamente, con capacidad máxima de 300Kn (30 Toneladas) y velocidad de carga de 0.5mm/min (la mínima posible) manteniéndose durante toda la ejecución del ensayo. Las duraciones de las pruebas estaban en un rango de 5 - 10 min. dependiendo de la carga necesaria para que estas llegaran a la falla.

Imagen 34. Montaje del Método JSCE-SF6



Fuente: Propia

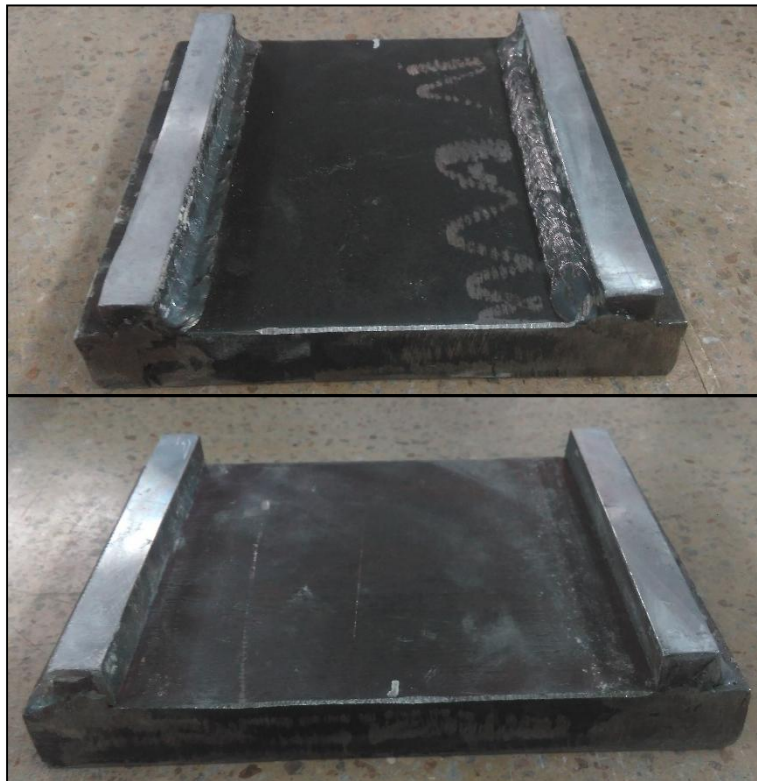
En las primeras pruebas definitivas se presentaron inconsistencias en el montaje del Método propuesto por la JSCE-SF6, el cual define que las fallas se deberán presentar en los dos planos ranurados de las probetas, se realizaron calibraciones a la máquina, obteniéndose aun así predilección por fallar en uno de los dos planos inducidos de falla, por lo que se procedió a realizar un análisis más exhaustivo del problema.

Se encontraron 5 posibles causas, tratándose siempre de solucionarse:

- Desniveles en las Platinas de Acero

Se midieron con un Pie de Rey (medidor de alta precisión) las cuñas y demás partes de las platinas con el fin de verificar las dimensiones recomendadas por la JSCE-SF6. Se encontraron leves desniveles en las cuñas de cada una de las platinas menores a 1 mm, por lo tanto, se decidió nivelarlas con una Máquina Fresadora (herramienta de corte y desbaste de alta precisión) con el fin de garantizar un exacto y paralelo nivel entre las cuñas de las platinas (Ver Imagen 35)

Imagen 35. Platinas de Acero (Finales) para el Método JSCE-SF6



Fuente: Propia

- Ranuras en las Viguetas

La abertura de las ranuras realizadas a las probetas están en un rango de 3 - 5 mm, producto del ancho del disco de corte en la Pulidora, lo que hace indispensable la precisión en los cortes de las probetas, pero que, debido a la falta de experiencia

de los investigadores, estas ranuras pueden tener pequeñas desviaciones (Ver Imagen 36); no obstante a medida que transcurren los cortes en las probetas, la calidad y precisión fueron mejorando respecto a las iniciales.

Imagen 36. Desviación de las Ranuras respecto a las Platinas



Fuente: Propia

Se realizaron pruebas con viguetas disponibles en el laboratorio, las cuales no contaban con la ranuración en sus dos planos, para verificar sus influencias en la preferencia a la falla en un solo plano; esta ausencia no afectó los resultados de la problemática (falla en un plano), por lo que se descarta que las ranuras promuevan o induzcan este error.

#### - Máquinas de Ensayo Desniveladas

La Máquina Versa Tester (marca SOILTEST) (Ver Imagen 34) y la Máquina a Compresión (Imagen 43) empleadas para el montaje del ensayo de la JSCE-SF6 presentaron problemas de nivelación (Imagen 37). Fue necesario realizar ajustes en la base de la Máquina Versa Tester con el fin que esta quedara nivelada, obteniéndose aun así un desnivel en la parte superior de la máquina (Imagen 38). Es decir, que la base estaría nivelada mientras la parte superior, en donde se aplicaría la carga, no estaría a nivel.

Imagen 37. Maquina Versa Tester Desnivelada



Fuente: Propia

Imagen 38. Parte Superior Maquina Versa Tester (Rotula)



Fuente: Propia

- Homogeneidad de la Mezcla

Los diseños de mezclas se realizan para garantizar una proporción adecuada de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua, estos bajo las recomendaciones de la NTC 1377<sup>59</sup> se vierten en la mezcladora o tambor con el fin de que toda la mezcla quede uniforme y homogénea. A pesar de todo es difícil lograr una homogeneidad al 100%, ya que siempre se llegará a tener variaciones en el agregado grueso y fibras de acero presente en alguno de los dos planos.

Se verificó en una muestra al azar (Ver Imagen 39), la distribución de su agregado grueso con el fin de corroborar dicha teoría, en la cual a simple vista se puede definir cuál fue el plano de falla (Plano Izquierdo), notándose menor cantidad de agregado grueso y menor tamaño de sus partículas.

Imagen 39. Planos de Falla Vigüeta 3000-1 (Izquierdo y Derecho)



Fuente: Propia

---

<sup>59</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1994. 17 p. (NTC 1377)

- Secciones Deformadas en Viguetas

En la etapa de elaboración y colocación de las mezclas en las formaletas es necesario un alto control, para evitar secciones de vigas deformadas. Estas se deben a que las formaletas de las viguetas no fueron lo suficientemente apretadas y cuando fue vertida la mezcla se presentó un ligero desplazamiento de alguna de las caras de la formaleta, provocando variaciones en las secciones de las viguetas. En el Anexo C se puede verificar la discrepancia en las alturas y bases de algunas probetas. Se toma evidencias fotográficas de algunas viguetas con esta problemática (Ver Anexo D).

Imagen 40. Sección Deformada Viguetas 3000-1



Fuente: Propia

Una vez analizadas y socializadas estas causas, se tomó la decisión de estudiar el comportamiento de las fibras de acero a cortante con fallas en solo plano, pues a

pesar de los inconvenientes presentados en el montaje del ensayo de la JSCE-SF6, la falla presentada en un solo plano siempre fue a cortante puro.

Imagen 41. Plano de Falla a Cortante Puro. Vigüeta con y sin Fibras



Fuente: Propia

En las vigüetas sin fibras las fallas fueron frágiles y súbitas, presentándose un completo desprendimiento de la sección, mientras en las probetas con fibras las fallas tendían a ser menos súbitas y conservarse unidas (en una sola pieza).

### 6.3 PRUEBAS DEFINITIVAS

#### 6.3.1 Resultados Obtenidos

Las pruebas del método de ensayo de resistencia al corte en concreto reforzado con fibra de acero (JSCE-SF6) se realizaron entre el 18 de marzo y el 8 de abril,

debido a problemas con el Método JSCE-SF6 (Véase numeral 6.2) y programación en el Laboratorio las edades de las Probetas están entre 29 y 34 días.

Tabla 9. Resultados Esfuerzo a Cortante Máximo

	F'c Prom.	pf	Probeta	Edad	Pmax	τ Max	τ Max Prom.	s
Sin Fibras	21 MPa	0.0%	Vigueta 0/0-3000-1	29 Días	71.20 Kn	1.94 MPa	1.94 MPa	±0.02
			Vigueta 0/0-3000-2	29 Días	69.50 Kn	1.96 MPa		
			Vigueta 0/0-3000-3	29 Días	67.70 Kn	1.91 MPa		
	44 MPa	0.0%	Vigueta 0/0-6000-1	29 Días	102.50 Kn	2.84 MPa	2.68 MPa	±0.17
			Vigueta 0/0-6000-2	29 Días	96.80 Kn	2.70 MPa		
			Vigueta 0/0-6000-3	29 Días	92.60 Kn	2.49 MPa		
Dramix 65/60 BG	21 MPa	0.5%	Vigueta 65/60-3005-1	28 Días	92.50 Kn	2.64 MPa	3.73 MPa	±0.32
			Vigueta 65/60-3005-2	31 Días	122.50 Kn	3.50 MPa		
			Vigueta 65/60-3005-3	31 Días	137.50 Kn	3.95 MPa		
		1.0%	Vigueta 65/60-3010-1	35 Días	153.10 Kn	4.43 MPa	4.13 MPa	±0.42
			Vigueta 65/60-3010-2	35 Días	149.50 Kn	4.31 MPa		
			Vigueta 65/60-3010-3	35 Días	130.00 Kn	3.64 MPa		
		1.5%	Vigueta 65/60-3015-1	34 Días	164.10 Kn	4.88 MPa	4.94 MPa	±0.17
			Vigueta 65/60-3015-2	34 Días	179.20 Kn	5.13 MPa		
			Vigueta 65/60-3015-3	34 Días	166.60 Kn	4.81 MPa		
	2.0%	Vigueta 65/60-3020-1	34 Días	206.70 Kn	5.59 MPa	5.75 MPa	±0.62	
		Vigueta 65/60-6020-2	34 Días	180.40 Kn	5.23 MPa			
		Vigueta 65/60-3020-3	34 Días	208.60 Kn	6.44 MPa			
	44 MPa	0.5%	Vigueta 65/60-6005-1	34 Días	183.70 Kn	5.11 MPa	5.04 MPa	±0.09
			Vigueta 65/60-6005-2	34 Días	231.60 Kn	6.63 MPa		
			Vigueta 65/60-6005-3	34 Días	173.90 Kn	4.98 MPa		
		1.0%	Vigueta 65/60-6010-1	34 Días	234.90 Kn	6.84 MPa	6.12 MPa	±0.76
			Vigueta 65/60-6010-2	34 Días	187.90 Kn	5.33 MPa		
			Vigueta 65/60-6010-3	34 Días	220.00 Kn	6.21 MPa		
		1.5%	Vigueta 65/60-6015-1	34 Días	253.80 Kn	7.22 MPa	7.28 MPa	±0.13
			Vigueta 65/60-6015-2	34 Días	259.70 Kn	7.42 MPa		
			Vigueta 65/60-6015-3	34 Días	250.10 Kn	7.19 MPa		
		2.0%	Vigueta 65/60-6020-1	34 Días	256.50 Kn	7.28 MPa	8.08 MPa	±0.51
			Vigueta 65/60-6020-2	34 Días	248.50 Kn	7.13 MPa		
			Vigueta 65/60-6020-3	34 Días	283.80 Kn	8.08 MPa		

Fuente: Propia

Tabla 9. (Continuación)

	F'c Prom	pf	Probeta	Edad	Pmax	τ Max	τ Max Prom	s
Dramix 80/60 BG	21 MPa	0.5%	Vigueta 80/60-3005-1	29 Días	148.10 Kn	4.22 MPa	4.44 MPa	±0.33
			Vigueta 80/60-3005-2	29 Días	154.30 Kn	4.29 MPa		
			Vigueta 80/60-3005-3	29 Días	168.10 Kn	4.83 MPa		
		1.0%	Vigueta 80/60-3010-1	29 Días	198.10 Kn	5.71 MPa	6.14 MPa	±0.61
			Vigueta 80/60-3010-2	29 Días	149.80 Kn	4.35 MPa		
			Vigueta 80/60-3010-3	29 Días	225.60 Kn	6.57 MPa		
		1.5%	Vigueta 80/60-3015-1	29 Días	220.90 Kn	6.33 MPa	6.61 MPa	±0.28
			Vigueta 80/60-3015-2	29 Días	223.70 Kn	6.62 MPa		
			Vigueta 80/60-3015-3	29 Días	234.40 Kn	6.90 MPa		
		2.0%	Vigueta 80/60-3020-1	29 Días	222.60 Kn	6.35 MPa	6.33 MPa	±0.45
			Vigueta 80/60-3020-2	29 Días	241.00 Kn	6.77 MPa		
			Vigueta 80/60-3020-3	29 Días	200.90 Kn	5.88 MPa		
	44 MPa	0.5%	Vigueta 80/60-6005-1	30 Días	233.50 Kn	6.77 MPa	6.30 MPa	±0.42
			Vigueta 80/60-6005-2	30 Días	220.00 Kn	6.12 MPa		
			Vigueta 80/60-6005-3	30 Días	210.00 Kn	6.00 MPa		
		1.0%	Vigueta 80/60-6010-1	30 Días	215.30 Kn	6.18 MPa	6.26 MPa	±0.29
			Vigueta 80/60-6010-2	30 Días	213.30 Kn	6.02 MPa		
			Vigueta 65/60-3010-3	30 Días	230.30 Kn	6.58 MPa		
1.5%		Vigueta 80/60-6015-1	30 Días	219.40 Kn	6.14 MPa	7.50 MPa	±0.57	
		Vigueta 80/60-6015-2	30 Días	247.60 Kn	7.10 MPa			
		Vigueta 80/60-6015-3	30 Días	277.50 Kn	7.91 MPa			
2.0%		Vigueta 80/60-6020-1	29 Días	332.80 Kn	9.71 MPa	9.35 MPa	±0.5	
		Vigueta 80/60-6020-2	29 Días	257.30 Kn	7.46 MPa			
		Vigueta 80/60-6020-3	29 Días	329.10 Kn	9.00 MPa			

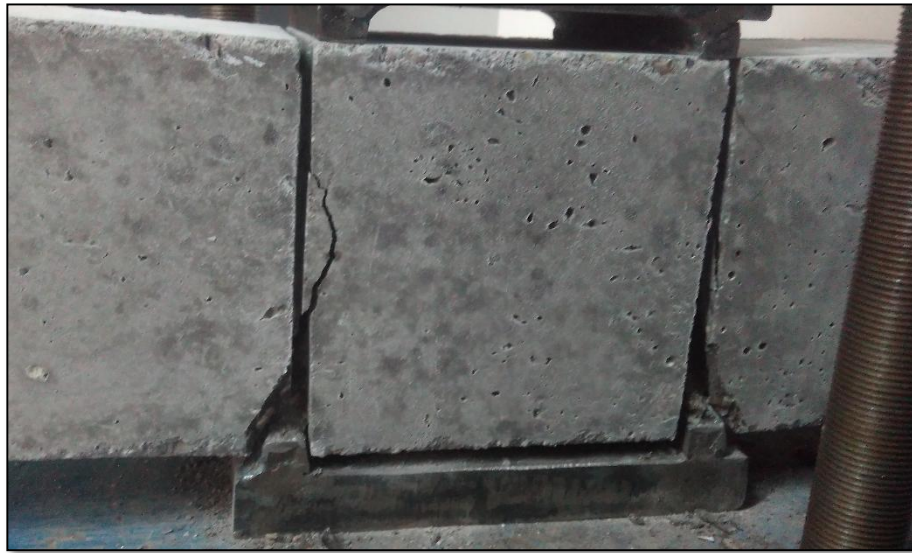
Fuente: Propia

La información detallada de los resultados se encuentra en el Anexo C. Algunos de los resultados se resaltaron en amarillo o azul por considerarse anormales o con problemas al momento del ensayo, esto con el fin de estudiarlos y de ser necesario excluirlos de los cálculos.

- La "Vigueta 65/60-3005-1" presentó inconsistencia en los resultados comparado con los demás ensayos, al obtenerse una carga de falla de 92.5Kn siendo menor a los demás datos obtenidos.

- La “Vigueta 65/60-6005-2” fue la única probeta en la cual la falla se presentó en los dos planos, produciendo una mayor carga última ( $P_{max}$ ) de más de 50Kn y por lo tanto mayor Resistencia al Corte ( $T_{max}$ ), se descartó este valor por considerarse que alteraba la generalidad de los ensayos, como se especificó en el numeral 6.2 se analizarían los ensayos con falla en un solo plano.

Imagen 42. Falla a Corte en ambos Planos.



Fuente: Propia

Las fallas se presentaron simultáneamente en ambos planos de la vigueta, se detalló que la sección de la probeta se encontraba más uniforme y su área de falla fueron similares.

- Las “Viguetas 65/60-6020” con cuantías de Fibras de Acero del 2.0%, bajo hipótesis de los investigadores se creía que estas fallarían a cargas mayores de 300Kn por lo que la máquina Versa Tester (Capacidad Max. 300Kn) no sería adecuada para el ensayo, se optó por usar la única máquina disponible en el laboratorio con capacidades mayores, la Máquina a Compresión (Ver Imagen 43), que cuenta con una capacidad de 3000Kn, con el problema de falta de control en la velocidad de aplicación de la carga.

Imagen 43. Máquina a Compresión



Fuente: Propia

Las dos primeras probetas dieron valores de carga máxima de 256.5Kn y 248.5Kn, notándose valores inferiores a las “Viguetas 65/60-6015”, la tercera probeta se volvió a ubicar en la máquina Versa Tester con el fin de verificar la información de las anteriores pruebas, llegándose a la conclusión que la velocidad de carga, cuando es muy alta, influye en la resistencia al corte en el concreto, puesto que se logró llegar a 283.8Kn en donde se detuvo el ensayo por limitaciones de la máquina. En el Anexo D se puede verificar el registro fotográfico de los Ensayos.

- La “Vigueta 80/60-3010-2” presentó inconsistencia en los resultados comparado con los demás ensayos, al obtenerse una carga de falla de 149.8Kn siendo menor en 50Kn respecto a los demás datos obtenidos.
- La “Vigueta 80/60-6015-1” también evidenció inconsistencia en los resultados, obteniéndose 40Kn menos que las demás probetas.
- Las “Viguetas 80/60-6020” con cuantías de Fibra de Acero del 2.0% se ensayaron en la máquina a compresión y gracias a la experiencia de los laboratoristas se bajó la velocidad de carga al compresor, aunque esta aún era desconocida. Por la dificultad del montaje en la máquina (Ver Imagen 43) la platina superior de la probeta #2 quedó descentrada y por lo tanto apoyada sobre la ranura de un plano de falla, obteniéndose datos erróneos, esta fue excluida de los cálculos.

Imagen 44. Platinas Descentrada en Vigueta



Fuente: Propia

### 6.3.2 Análisis de Resultados con Fibras de Acero 65/60

En la Tabla 10 se identifica los resultados obtenidos en las Viguetas con Fibras de Acero Dramix 65/60, se evidencia un incremento en la Resistencia al corte a medida que la cuantía de fibras aumenta.

Tabla 10. Resultados Resistencia al Corte Fibra Acero 65/60

Fibra	F'c	ρ Fibras		Tmax	T/To
Fibras 65/60	21 MPa	0.0%	0.0 Kg/m <sup>3</sup>	1.94 MPa	1.00
		0.5%	12.2 Kg/m <sup>3</sup>	3.73 MPa	1.93
		1.0%	24.5 Kg/m <sup>3</sup>	4.13 MPa	2.13
		1.5%	36.7 Kg/m <sup>3</sup>	4.94 MPa	2.55
		2.0%	49.0 Kg/m <sup>3</sup>	5.75 MPa	2.97
	44 MPa	0.0%	0.0 Kg/m <sup>3</sup>	2.68 MPa	1.00
		0.5%	12.2 Kg/m <sup>3</sup>	5.04 MPa	1.88
		1.0%	24.5 Kg/m <sup>3</sup>	6.12 MPa	2.29
		1.5%	36.7 Kg/m <sup>3</sup>	7.28 MPa	2.72
		2.0%	49.0 Kg/m <sup>3</sup>	8.08 MPa	3.02

Fuente: Propia

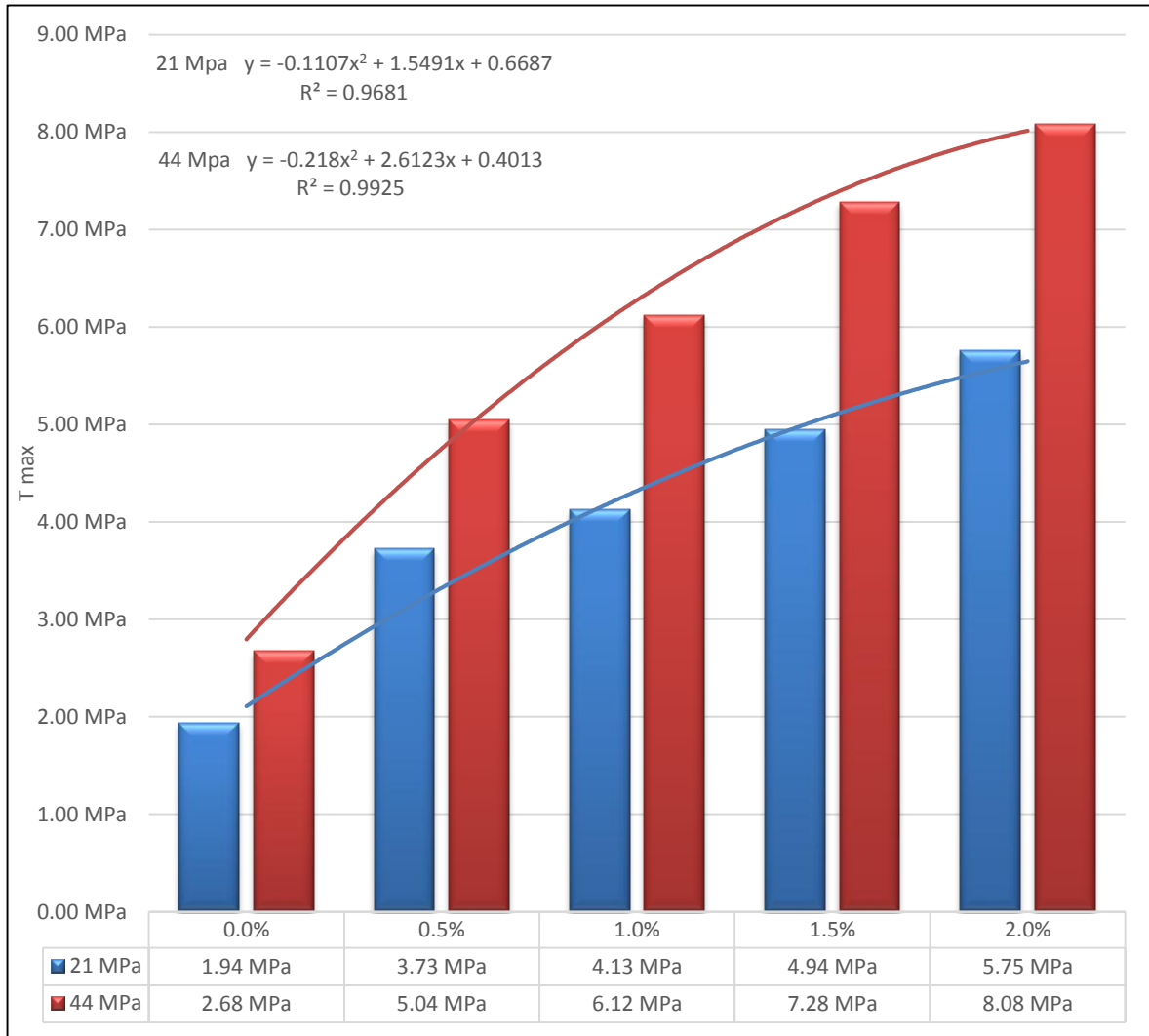
En las probetas de 21 Mpa los incrementos, con respecto a la mezcla sin fibras, en la resistencia al corte estuvieron entre 1.93 y 2.97 veces para una inclusión de 0.5% y 2.0% de fibra de acero respectivamente, mientras en las probetas de alta resistencia (44Mpa) los incrementos se encontraron entre 1.88 y 3.02 veces para una cuantía de fibras de 0.5% y 2.0%.

En la Gráfica 2 se realiza la comparación entre los dos tipos mezcla, y la línea de tendencia que mejor representa el comportamiento a Corte es una parábola convexa, de la cual se puede deducir:

- El incremento en la cantidad de fibras ( $\rho_f$ ) es proporcional a la resistencia al corte ( $T_{max}$ ), aunque esta no indique que al duplicar una cantidad de fibras nos duplique su resistencia ( $2 \cdot \rho_f \neq 2 \cdot T_{max}$ )
- La mezcla de 44Mpa presento un mejor comportamiento al corte con la adición de fibras de acero respeto a la mezcla de 21Mpa, como se observa

en la gráfica la pendiente inicial es mayor y su crecimiento (Tmax) es siempre mayor a la mezcla de 21Mpa

Gráfica 2. Comportamiento a Cortante de las Fibras de Acero 65/60

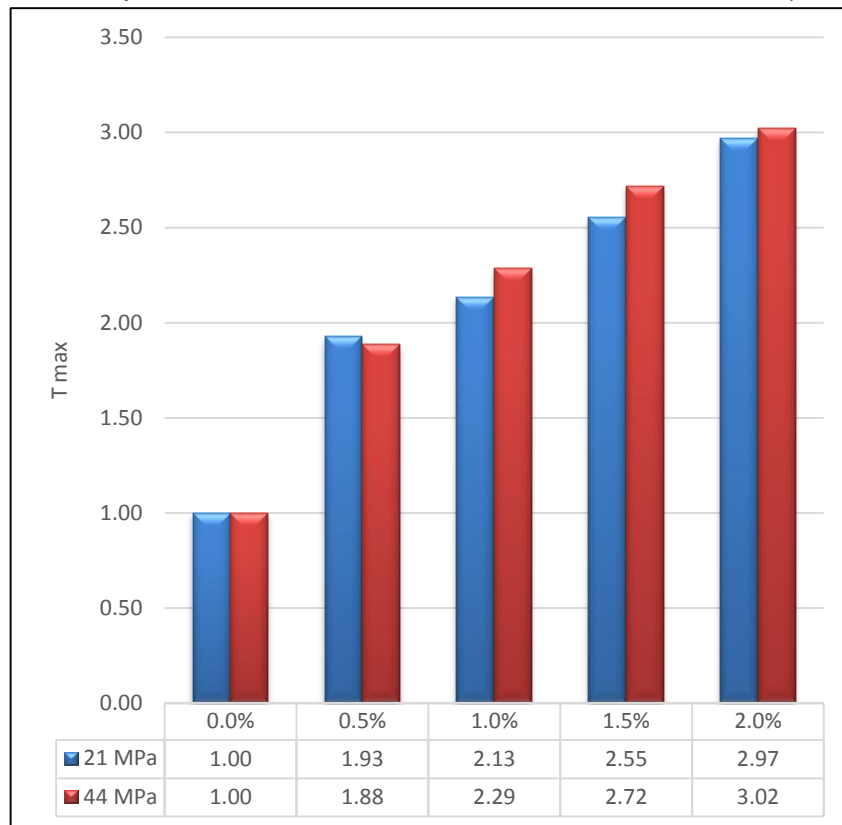


Fuente: Propia

En la Gráfica 3 se comparan los valores de Resistencia al Corte Máximo sin fibras y con adición en distintas cantidades, estos valores están dados en cuantas veces mejora respecto al Esfuerzo de Corte Máximo obtenido de las probetas sin fibras ( $T_0/T_{max}$ )

- En la cuantía de 1.0% se presentó un aumento de 20% (21Mpa) y 41% (44Mpa) respecto a las viguetas con 0.5% de Fibras.
- En la cuantía de 1.5% el aumento fue del 41% (21Mpa) y de 43% (44Mpa) respecto a las muestras de 1.0% de Fibras.
- En la cuantía de 2.0% el incremento fue de 42% (21Mpa) y de 30% (44Mpa) en relación con las probetas de 1.5% de Fibras.

Gráfica 3. Comportamiento a Cortante en Fibras Acero 65/60 ( $T_0/T_{max}$ )



Fuente: Propia

El mayor incremento en la resistencia al corte se presenta cuando las cuantías de fibras de acero corresponden al 1.5% ( $36.7 \text{ Kg/m}^3$ ) obteniéndose un  $T_{max}$  de 5.75 y 7.28 Mpa para las mezclas de 21 y 44Mpa respectivamente.

### 6.3.3 Análisis de Resultados con Fibras de Acero 80/60

En la Tabla 11 se identifica los resultados obtenidos en las Viguetas con Fibras de Acero Dramix 80/60, se evidencia un incremento en la Resistencia al corte a medida que la cuantía de fibras aumenta.

Tabla 11. Resultados Resistencia al Corte Fibra Acero 80/60

Fibra	F'c	$\rho$ Fibras		Tmax	T/To
Fibras 80/60	21 MPa	0.0%	0.0 Kg/m3	1.94 MPa	1.00
		0.5%	12.2 Kg/m3	4.44 MPa	2.30
		1.0%	24.5 Kg/m3	6.14 MPa	3.17
		1.5%	36.7 Kg/m3	6.61 MPa	3.42
		2.0%	49.0 Kg/m3	6.33 MPa	3.27
	44 MPa	0.0%	0.0 Kg/m3	2.68 MPa	1.00
		0.5%	12.2 Kg/m3	6.30 MPa	2.35
		1.0%	24.5 Kg/m3	6.26 MPa	2.34
		1.5%	36.7 Kg/m3	7.50 MPa	2.80
		2.0%	49.0 Kg/m3	9.35 MPa	3.49

Fuente: Propia

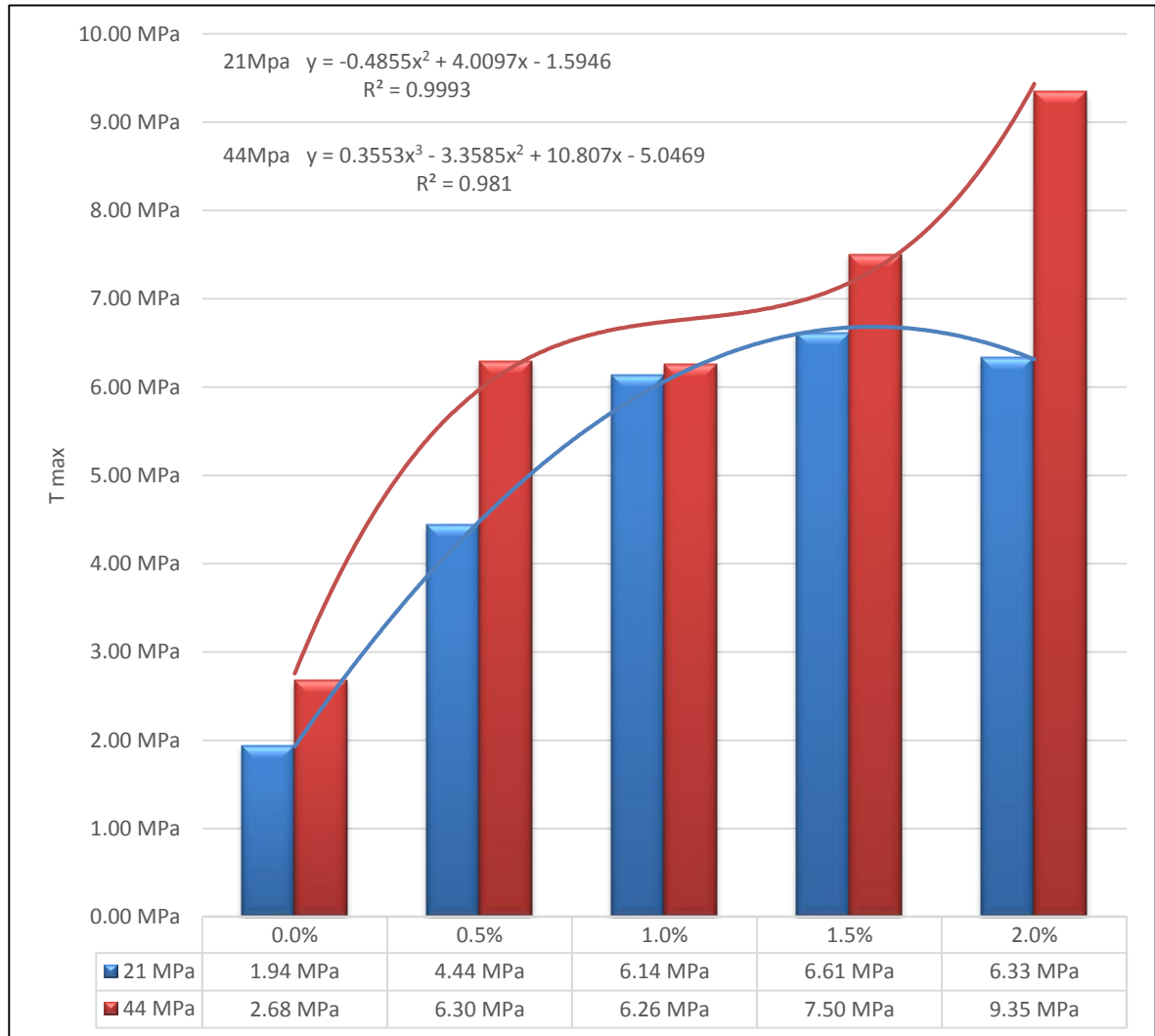
En la mezcla de 21 Mpa los incrementos, con respecto a las viguetas sin fibras, en la resistencia al corte estuvieron entre 2.30 y 3.27 veces para una cuantía de 0.5% y 2.0% respectivamente, mientras en las mezclas de alta resistencia (44Mpa) los incrementos se encontraron entre 2.35 y 3.49 veces para una cuantía de fibras de 0.5% y 2.0%

En la Gráfica 4 se realiza la comparación entre los dos tipos mezcla, y la línea de tendencia que mejor representa el comportamiento a Corte, en el concreto de 21Mpa es una parábola convexa y una función cubica para concretos de 44Mpa, de la cual se puede deducir:

- Los resultados de resistencia al cortante en las Fibras de Acero 80/60 presentaron mayor dispersión de resultados a medida que se aumentaban las cuantías de fibras, respecto a la Fibra 65/80

- Para la mezcla de 21Mpa la resistencia al corte óptimo está dada por una cuantía del 1.5%, obteniéndose un valor Tmax de 6.61Mpa.
- En la mezcla de 44Mpa el incremento inicial es alto (4.44Mpa), luego se mantiene esta resistencia, posteriormente con cuantía del 2.0% vuelve a aumentar su resistencia al corte a 6.33Mpa

Gráfica 4. Comportamiento a Cortante de las Fibras de Acero 80/60

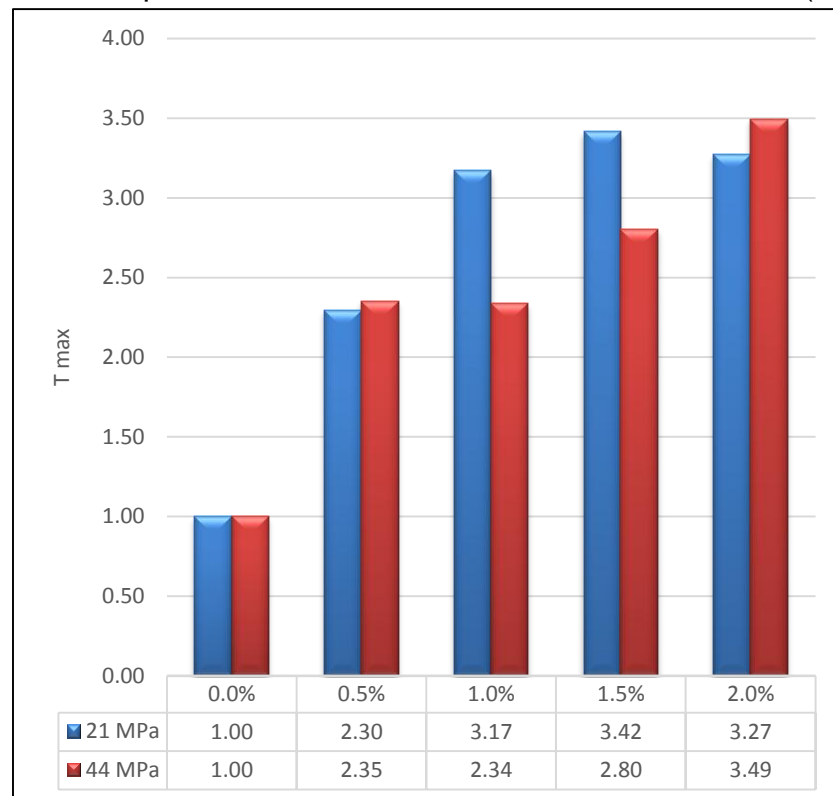


Fuente: Propia

En la Gráfica 5 se comparan los valores de Resistencia al Corte Máximo sin fibras y con adición en distintas cantidades, estos valores están dados en cuantas veces mejora respecto al Esfuerzo de Corte Máximo obtenido de las probetas sin fibras ( $T_0/T_{max}$ )

- En la cuantía de 1.0% se presentó un aumento de 87% (21Mpa) y una disminución del 1% (44Mpa) respecto a las viguetas con 0.5% de Fibras.
- En la cuantía de 1.5% el aumento fue del 25% (21Mpa) y de 46% (44Mpa) respecto a las muestras de 1.0% de Fibras.
- En la cuantía de 2.0% la resistencia al corte disminuyo 15% (21Mpa) y aumento un 69% (44Mpa) en relación con las probetas de 1.5% de Fibras.

Gráfica 5. Comportamiento a Cortante en Fibras Acero 80/60 ( $T_0/T_{max}$ )



Fuente: Propia

Para concretos de 21Mpa se presentó una cuantía optima, en base al peso, al 1.0% ( $24.5\text{Kg/m}^3$ ), obteniéndose un incremento en la Resistencia al Corte de 87% ( $T_{max}$ : 6.14Mpa) respecto a la cuantía anterior (0.5%).

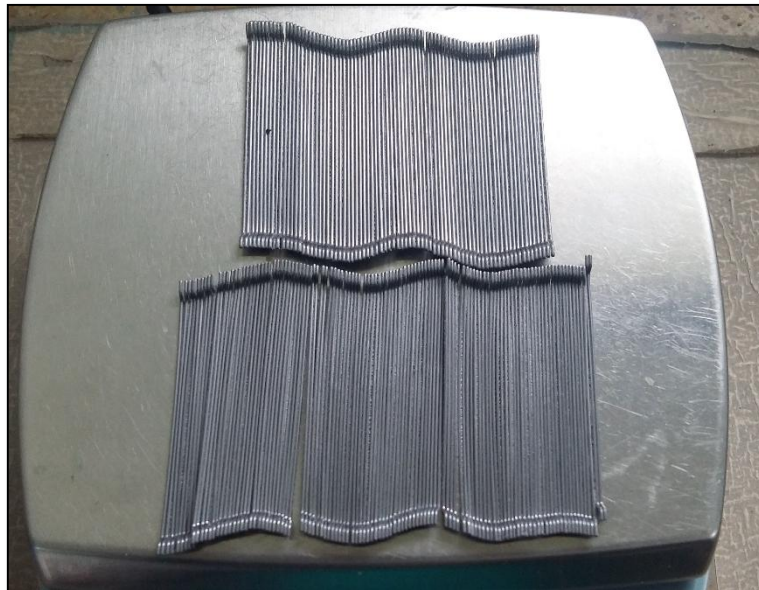
Para concretos de 44Mpa la cuantía óptima es del 2.0%, alcanzando un incremento en la Resistencia al Corte de 69% ( $T_{max}$ : 9.35) respecto a la cuantía anterior (1.5%)

#### 6.3.4 Análisis y Comparación entre las Fibras de Acero 65/60 y 80/60

Se realizó la comparación entre fibras de acero 65/60 y 80/60 para el diseño de mezcla de 21Mpa y 44Mpa, con el fin de analizar la eficiencia entre los dos tipos de fibras utilizadas. En la hipótesis planteada inicialmente se dice: “La adición de Fibras de Acero en cuantías del 2.0% tendrá un mejor comportamiento al Corte debido a una óptima dosificación, siendo el diámetro de las fibras directamente proporcional a la resistencia, utilizando una relación de fibras 65/60 clave para mejorar el rendimiento al Corte.”, bajo esta premisa se procedió a analizar el comportamiento de los dos tipos de fibras de acero en cada mezcla.

Las Fibras de Acero 65/60 presentan un diámetro de 0.90mm y por lo tanto un mayor peso en cada unidad de fibra, mientras las Fibras de Acero 80/60 de 0.75mm de diámetro poseen un menor peso en cada unidad de fibras, lo que indica que para 1 kg de fibras se necesita aproximadamente 3200 unidades de Fibra de Acero 65/60 y 4600 unidades de Fibra de Acero 80/60

Imagen 45. Fibra de Acero 65/60 y 80/60 (24g c/u)



Fuente: Propia

En la Gráfica 6 se representan los datos obtenidos de resistencia al corte máxima para una mezcla de 21Mpa, lográndose analizar:

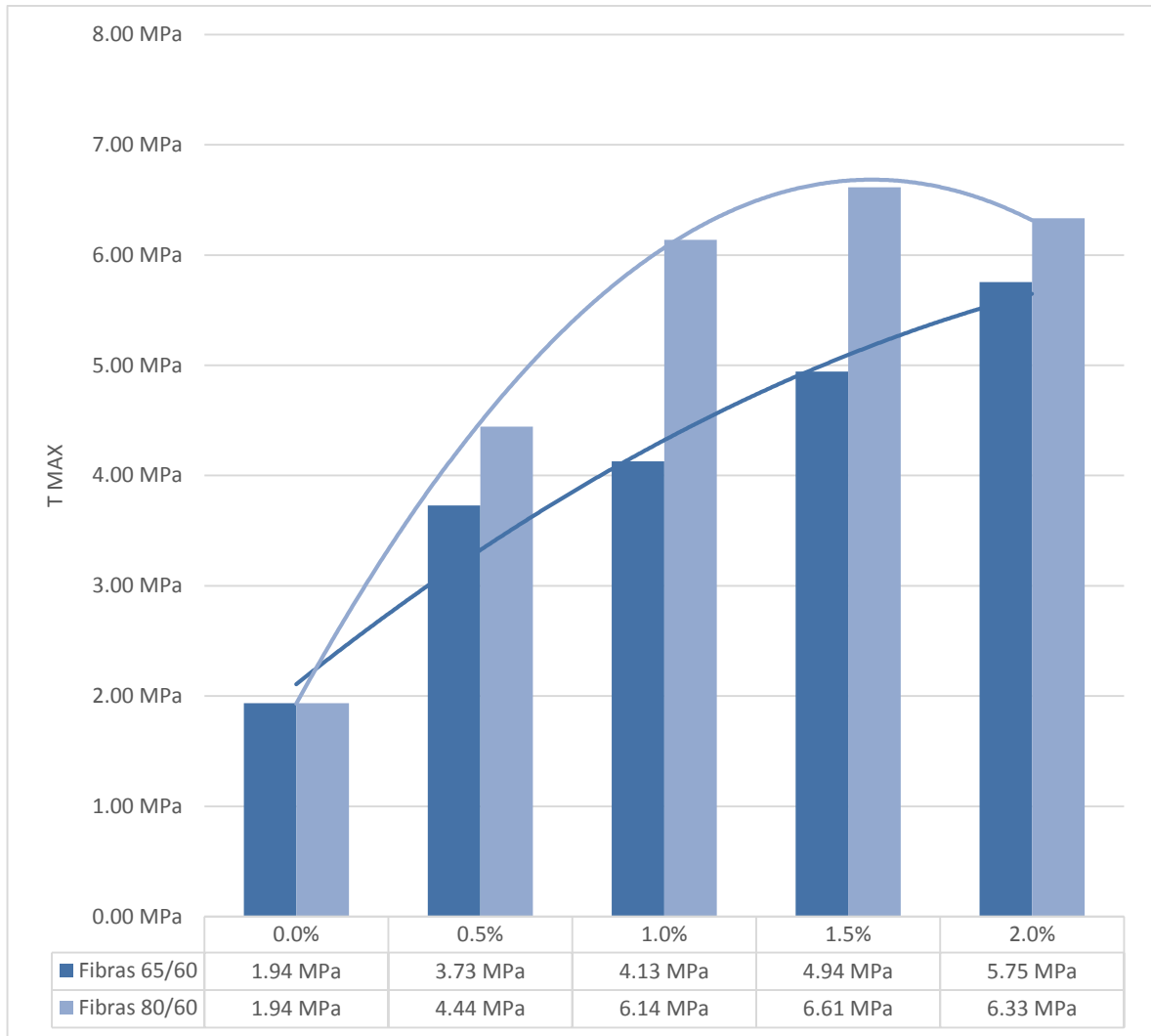
#### Fibra de Acero Dramix 80/60

- La Fibra de Acero 80/60 presenta mejores valores de resistencia al corte respecto a la fibra de acero 65/60
- Se evidencia un aumento considerable a medida que aumenta las cuantías de fibras, hasta llegar a una cuantía del 1.5% presentando su mayor resistencia al corte de 6.61Mpa.
- Al sobrepasar la cuantía de 1.5% se observa una disminución en la resistencia al corte, esto puede deberse a la saturación de la mezcla, la cual provocaría que la interacción de agregados se viera afectada.
- El diámetro de la Fibra de Acero 80/60 es 0.15mm menor a la Fibra 65/60, lo que indica una mayor cantidad de unidades de fibras para un mismo peso, esto puede asociarse a posibles cambios en el comportamiento a corte cuando una mezcla se satura.

#### Fibra de Acero Dramix 65/60

- La Fibra de Acero 65/60 presenta menores valores de resistencia al corte respecto a la fibra de acero 80/60
- Esta fibra no presenta disminución de la resistencia al corte a medida que se aumentan las cuantías de fibras, contrario a lo sucedido con la Fibra Acero 80/60
- Con una cuantía del 2.0% se logró una resistencia al corte de 5.75Mpa, siendo esta el mayor valor obtenido.

Gráfica 6. Comparación Fibra de Acero 65/60 y 80/60 en concretos de 21Mpa



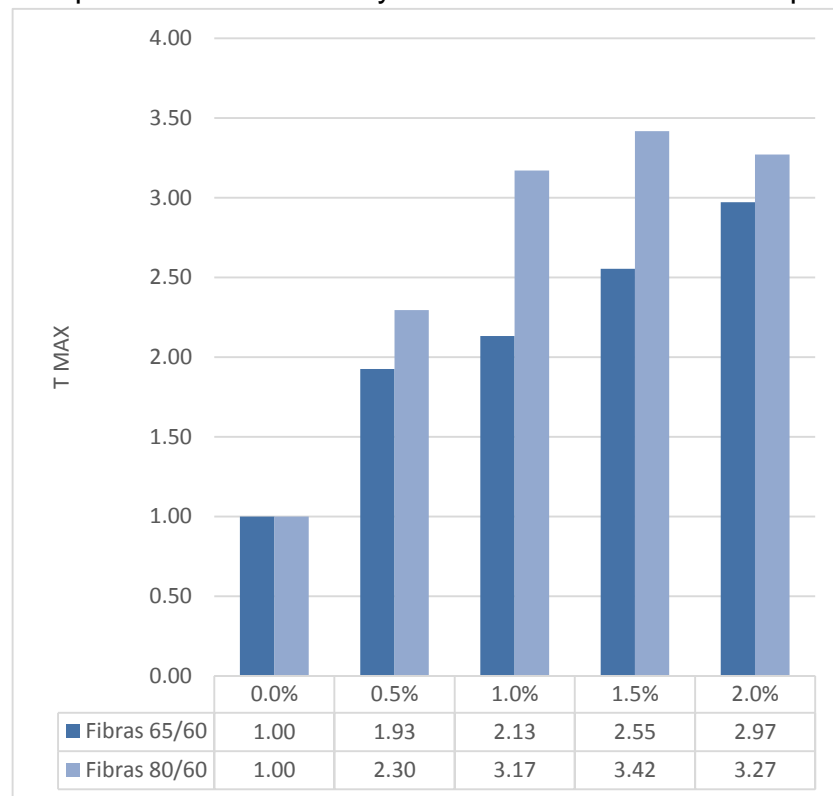
Fuente: Propia

En la Gráfica 7 se comparan los valores de Resistencia al Corte Máximo sin fibras y con adición en distintas cantidades, para una mezcla de 21Mpa, estos valores están dados en cuantas veces mejora respecto al Esfuerzo de Corte Máximo obtenido de las probetas sin fibras ( $T_0/T_{max}$ )

- En la cuantía de 1.0% se presentó un aumento del 20% (Fibra 65/60) y 87% (Fibra 80/60) respecto a las viguetas con 0.5% de Fibras.

- En la cuantía de 1.5% el aumento fue del 42% (Fibra 65/60) y de 25% (Fibra 80/60) respecto a las muestras de 1.0% de Fibras.
- En la cuantía de 2.0% la resistencia al corte aumento un 42% (Fibra 65/60) y disminuyó un 15% (Fibra 80/60) en relación con las probetas de 1.5% de Fibras.

Gráfica 7. Comparación Fibra 65/60 y 80/60 en concretos de 21Mpa ( $T_0/T_{max}$ )



Fuente: Propia

La fibra de acero 80/60 se presentan mayores aumentos en la resistencia al corte, respecto a la fibra 65/60, esto se debe a que la cantidad y no el diámetro de las fibras influyen en la resistencia al corte.

El mayor incremento en la resistencia al corte en las Fibras 65/60 se presenta cuando las cuantías corresponden al 1.5% ( $36.7 \text{ Kg/m}^3$ ) obteniéndose un  $T_{max}$  de

4.94Mpa, mientras en la Fibras 80/60 este incremento se presentó con cuantía del 1.0% (24.5 Kg/m<sup>3</sup>) logrando un Tmax de 6.14Mpa

En la Gráfica 8 se representan los datos obtenidos de resistencia al corte máxima para una mezcla de 44Mpa, lográndose analizar:

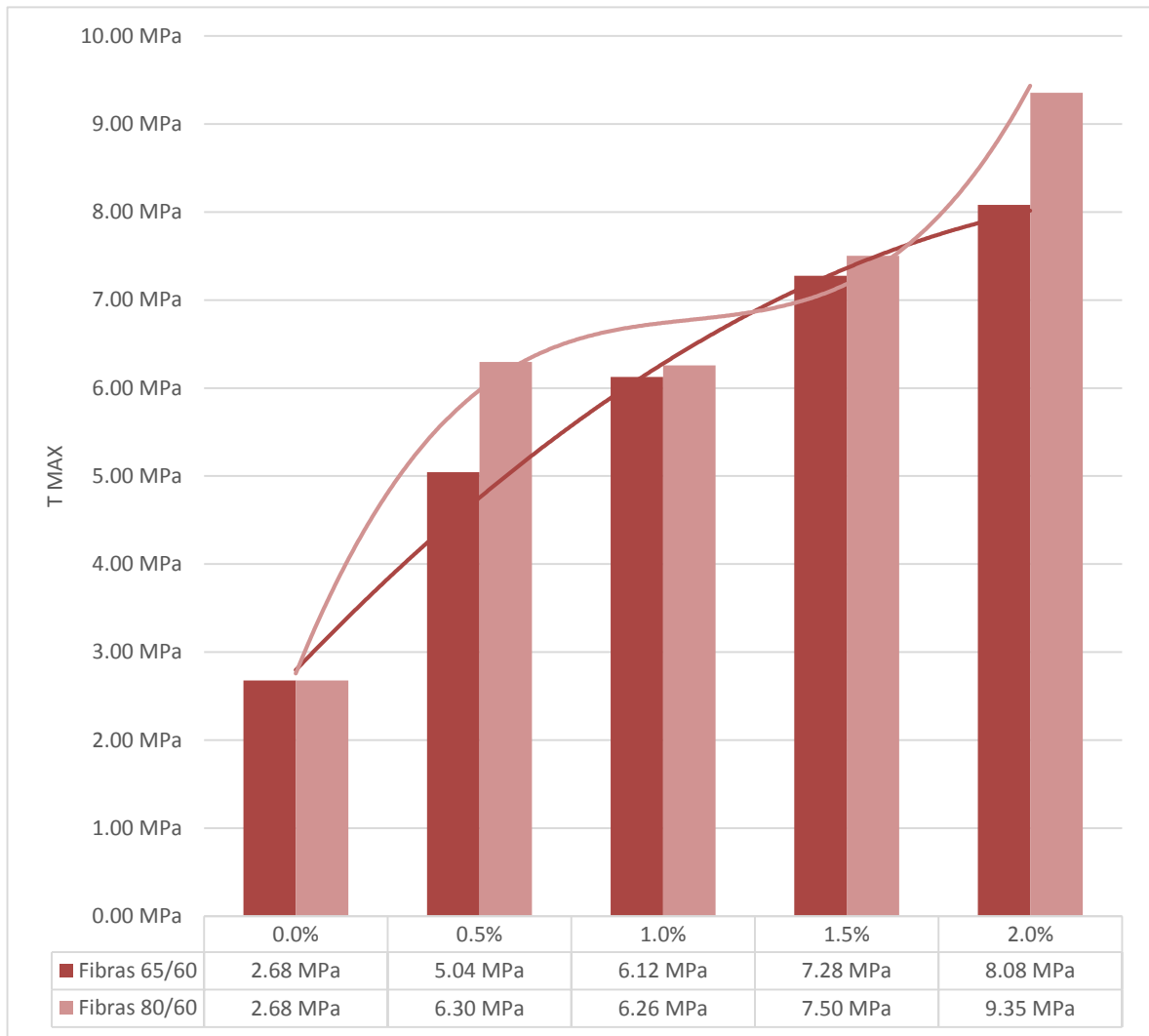
Fibra de Acero Dramix 80/60:

- La Fibra de Acero 80/60 presenta mejores valores de resistencia al corte respecto a la fibra de acero 65/60
- Esta fibra presenta un buen comportamiento al corte inicial (0.5%), mientras con cuantías de 1.0% y 1.5% no presenta aumentos considerables, para finalmente con cuantías del 2.0% tener un aumento considerable nuevamente.
- Con una cuantía del 2.0% se logró una resistencia al corte máximo de 9.35Mpa

Fibra de Acero Dramix 65/60:

- La Fibra de Acero 65/60 presenta menores valores de resistencia al corte respecto a la fibra de acero 80/60
- Esta fibra no presenta disminución de la resistencia al corte a medida que se aumentan las cuantías de fibras, contrario a lo sucedido con la Fibra Acero 80/60
- Con una cuantía del 2.0% se logró una resistencia al corte de 8.08Mpa.

Gráfica 8. Comparación Fibra de Acero 65/60 y 80/60 en concretos de 44Mpa



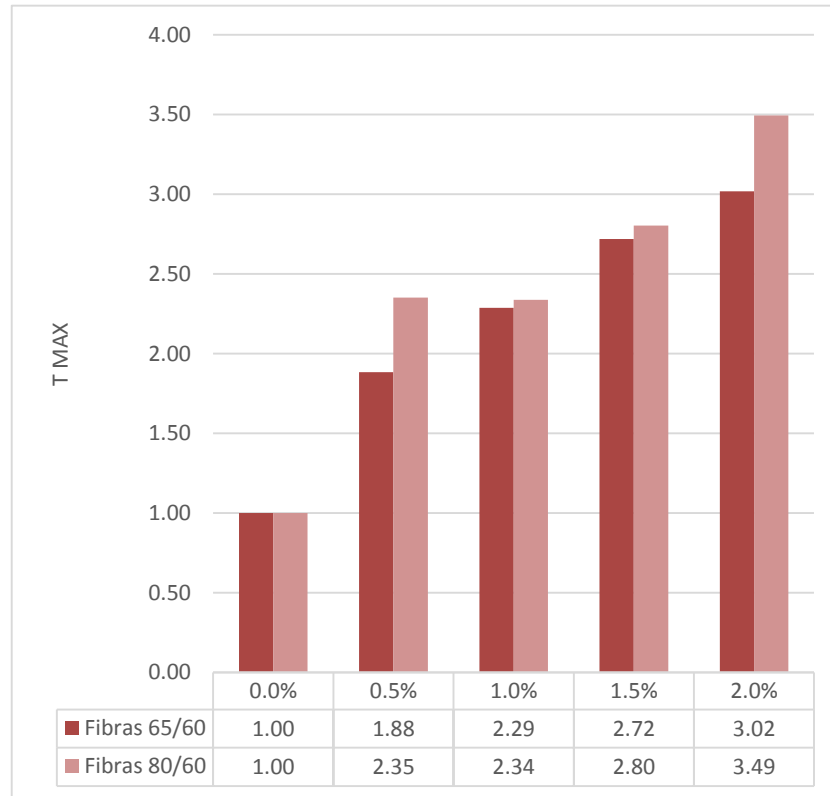
Fuente: Propia

En la Gráfica 9 se comparan los valores de Resistencia al Corte Máximo sin fibras y con adición en distintas cantidades, para una mezcla de 44Mpa

- Se evidencia un alto incremento en la Resistencia al Corte con cuantías de 0.5%, presentándose un aumento de 88% (Fibra 65/60) y 135% (Fibra 80/60) respecto al diseño sin fibras
- En la cuantía de 1.0% se presentó un aumento del 41% (Fibra 65/60) y una disminución del 10% (Fibra 80/60) respecto a las viguetas con 0.5% de Fibras.

- En la cuantía de 1.5% el aumento fue del 43% (Fibra 65/60) y de 46% (Fibra 80/60) respecto a las muestras de 1.0% de Fibras.
- En la cuantía de 2.0% la resistencia al corte aumento un 30% (Fibra 65/60) y disminuyo un 69% (Fibra 80/60) en relación con las probetas de 1.5% de Fibras.

Gráfica 9. Comparación Fibra 65/60 y 80/60 en concretos de 44Mpa ( $T_0/T_{max}$ )



Fuente: Propia

La fibra de acero 80/60 se presentan mayores aumentos en la resistencia al corte, respecto a la fibra 65/60, lo que indica que el diámetro de la fibra no influye en su resistencia al corte.

El mayor incremento en la resistencia al corte en las Fibras 65/60 se presenta cuando las cuantías corresponden al 1.5% ( $36.7 \text{ Kg/m}^3$ ) obteniéndose un  $T_{max}$  de 7.28Mpa, mientras en la Fibras 80/60 este incremento se presentó con cuantía del 2.0% ( $49.0 \text{ Kg/m}^3$ ) logrando un  $T_{max}$  de 9.35Mpa

### 6.3.5 Análisis de Resultados frente a otras investigaciones

El objetivo de esta investigación es Analizar la Resistencia a Cortante en Concretos de 21 Mpa y 44 Mpa con adición de Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60 en cuantías de 0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%. Es importante recalcar que las cuantías de fibras se calcularon en base al peso y no al volumen, como en varias investigaciones.

Una cuantía de fibras en base al volumen significa que por cada volumen de concreto es necesario cierta cantidad de fibras en volumen, pero las fibras deben ser medidas y distribuidas en peso, como lo dicta la NTC 5541<sup>60</sup>, por lo que se optó en estudiar las fibras en cuantías en base al peso. En la Tabla 12 se realiza una equivalencia de cuantías en kilos de fibras por volumen de concreto realizados en esta investigación.

Tabla 12. Equivalencia de Cuantías, en base al peso, en Kg/m<sup>3</sup>.

Cuantía Fibras	Kg/m <sup>3</sup>
0.5%	12.20
1.0%	24.50
1.5%	36.70
2.0%	49.00

Fuente: Propia

#### 6.3.5.1 Determinación de la energía de fractura para concreto reforzado con fibras cortas de acero (Sergio Segura)

- Para la medición de la resistencia al corte en concretos con adiciones de fibras de acero en las dos investigaciones se utilizó el ensayo JSCE SF-6 con una configuración en las viguetas las cuales llevan ranuras para favorecer que los planos de falla estén bien definidos.

---

<sup>60</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Concretos reforzados con fibras. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2007. 28 p. (NTC 5541)

- Al momento de someter las viguetas a corte se recomienda que la maquina se calibre para que produzca una velocidad de carga del 0.5 mm/min la cual fue empleada en ambas investigaciones.
- En la investigación “Determinación de la energía de fractura para concreto reforzado con fibras cortas de acero (SFRC)” se obtuvieron tres promedios diferentes de diseño de mezcla (25,4 Mpa, 27,5Mpa y 41,2Mpa) donde se observan dispersión de datos considerables impidiendo una buena comparación de resultados.
- Con los resultados obtenidos se evidencia que la adición de fibras en el concreto permite el aumento de la resistencia al corte.

#### 6.3.5.2 Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero (Carmona Sergio y Contreras Manuel)

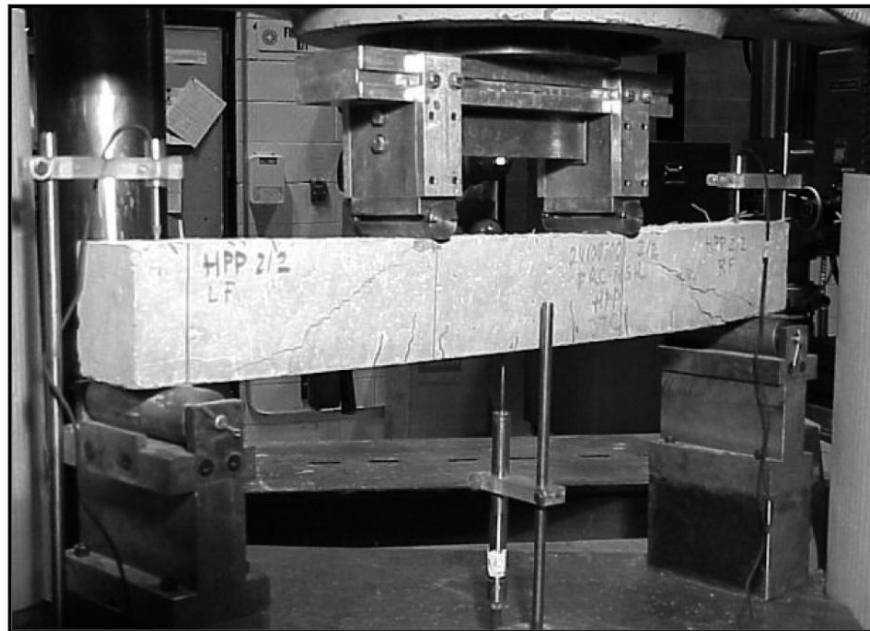
- Con el método JSCE-SF6 se logró cuantificar el efecto que tiene la incorporación de fibras en el concreto para que resista los esfuerzos a cortante.
- En las dos investigaciones se lograron aumentos considerables de resistencia al corte, en la investigación “Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero” se logró un aumento hasta del 75% mientras en la presente investigación “Análisis del comportamiento a cortante de concretos de 21mpa y 44mpa reforzado con fibras de acero” se alcanzó una resistencia al corte del 87%.
- Los resultados obtenidos en las dos investigaciones pueden evidenciar el buen comportamiento que tienen las fibras de acero frente a las solicitudes de resistencia al corte.
- En la investigación “Comportamiento al corte de hormigones reforzado con fibras de acero” se evaluaron diferentes condiciones para medir la resistencia al corte como la implementación de cuantías volumétricas con el 0,5 % y

1,0% con respecto al volumen total del hormigón, además de esto se evaluaron dos condiciones de aspecto (65/35 y 80/60) obteniendo con esto 4 tipos de dosificaciones. Mientras en la presente investigación “Análisis del comportamiento a cortante de concretos de 21mpa y 44mpa reforzado con fibras de acero” se usaron diferentes condiciones para medir la resistencia al corte como la implementación de cuantías con respecto al peso del hormigón (0.5%, 1.0%, 1.5% y 2.0%) y con dos condiciones de aspecto (65/60 y 80/60) teniendo un total de dosificaciones de 8.

#### 6.3.5.3 Estudio del comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras (Barragán Bryan, Turmo Jose, Banthia Nemy y Gettu Ravindra)

- En esta investigación se busca el comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras usando un concreto de 50MPa y se emplean tres tipos de fibras diferentes como Dramix RL 45/50 BN que tiene como característica los extremos achatados, también se utilizaron fibras acero Novotex 1050 y fibras de polipropileno onduladas S-152 HPP. Utilizando una cuantía del 1.0% con relación al volumen, mientras la presente investigación se empleó concretos de 21MPa y 44MPa y con fibras de acero con relación de aspecto de (65/60 y 80/60).
- El cortante ultimo obtenido en esta investigación con dosificaciones del 1.0% es inferior a la resistencia al corte que genera un refuerzo convencional con estribos para contrarrestar estos esfuerzos.
- Para vigas reforzadas con fibras de acero el aumento de carga para esfuerzo cortante fue del 20% en comparación con vigas reforzadas con estribos.
- Para la medición de resistencia al corte de vigas reforzadas con fibras se empleó un laboratorio distinto al JSCE, empleándose una adaptación del ensayo a flexión, carga bajo dos puntos situados a tercios de la luz de la viga.

Imagen 46. Ensayo a cortante carga en dos puntos a tercios de luz



Fuente: Estudio del Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras. TURMO, José, BANTHIA, Nemy, GETTU, Ravindra y BARRAGÁN, Bryan.

## 7 CONCLUSIONES

En la primera fase se plantearon los diseños de mezcla para concretos de 21Mpa y 44Mpa: (Fase1)

- Los materiales empleados (Gravas, Arena, Cemento y aditivos) cumplieron con lo dictaminado en la NTC y en la ACI 544.1R
- El diseño de mezcla cumplió con lo planteado en el objetivo “Diseñar las mezclas de concreto con resistencias de 21Mpa y 44Mpa reforzadas con Fibras de Acero Dramix 65/60 y 80/60.” Obteniéndose los valores de resistencia requeridos.

En el desarrollo del Método propuesto por JSCE-SF6 se determinó: (Fase 2)

- El método JSCE-SF6 empleado para la medición de la resistencia a cortante en el concreto, demostró ser el adecuado para generar esfuerzos de cortante puro.
- La velocidad de carga de las máquinas debe ser constante y mínima, para garantizar uniformidad en los resultados.
- El uso de Aditivos Superplastificantes/reductores de agua fue indispensable para mejorar la manejabilidad de las mezclas con fibras de acero.
- El control de calidad en el mezclado y colocación debe ser riguroso para evitar segregaciones y secciones de viguetas deformadas

Analizando el comportamiento de las fibras de acero en el concreto se logró concluir: (Fase 3)

- En todas las viguetas se verificó el incremento en la resistencia al cortante con la adición de fibras de acero.
- La Fibra de Acero 65/60 logro un incremento en la resistencia al corte de 197% para concretos de 21Mpa y de un 202% en concretos de 44Mpa
- La Fibra de Acero 80/60 presento mejoras en la resistencia al corte de 227% para concretos de 21Mpa y de 249% en concretos de 44Mpa

- La dosificación óptima de fibras de acero es del 1.5%, pues el incremento en la resistencia al corte fue el más representativo con valores del 155% (Fibra 65/60) y 242% (Fibra 80/60) para concretos de 21Mpa y del 172% (Fibras 65/60) y 180% (Fibra 80/60) para concretos de 44Mpa respecto a la resistencia al corte de las probetas sin fibras.
- La Fibra de Acero 80/60 presentó un mejor comportamiento al corte que la Fibra de Acero 65/60, debido a que el resultado se ve más influenciado por la cantidad de unidades de fibras que por el diámetro de la misma.
- Las fibras de acero presentan un mejor comportamiento al corte en concretos de alta resistencia (44Mpa).
- Las fibras de acero producen que las fallas frágiles, comunes en concretos de alta resistencia, se presenten de manera dúctil.

## 8 RECOMENDACIONES

- En la elaboración de la mezcla y colocación en las formaletas es importante un buen control de calidad y una superficie a nivel, para evitar secciones de viguetas deformadas.
- Las Platinas de Acero empleadas para el montaje de la JSCE-SF6 deben tener un control minucioso en sus dimensiones
- La Máquina que se emplee para el Ensayo de la JSCE-SF6 deberá cumplir con mínimos requerimientos, tales como: Control en la Velocidad de Carga, Alta Capacidad de Carga y Máquinas correctamente niveladas
- El uso de Aditivos Superplastificantes/reductores de agua es indispensable para mejorar la manejabilidad de las mezclas con fibras de acero.

### Recomendaciones para futuras investigaciones

- Profundizar el estudio del comportamiento a cortante en fibras de acero con cuantías, en base al peso, entre el 1.0 y 2.0%
- Investigar la incidencia en la resistencia al corte que pueda tener la longitud de las Fibras de Acero
- Realizar investigaciones con fibras de acero de menor diámetro a la Fibra 80/60, para corroborar que el diámetro no afecta la resistencia al corte, sino, la cantidad de fibras.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

6TH INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON FIBRE-REINFORCED CONCRETES (20-22, September 2004: Varenna, Italy) RILEM Publications, 2004. 1544 p. Retrieved from [http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id\\_publication=44](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=44)

ALMANSA, Eduardo Moreno y CÁNOVAS, Manuel Fernández. Dosificación de hormigón reforzado con fibras cortas de acero. En: Revista Materiales de Construcción. Vol. 47, p. 247-268

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported. Farmington Hills, Michigan: ACI, 2002. 66 p. ACI 544-1R 96.

ARCELORMITTAL. Fibras de Acero [En línea]. <[http://www.constructalia.com/espanol/productos/armaduras\\_de\\_acero\\_para\\_hormigon/fibra\\_de\\_acero#.Vhvr9st\\_Oko](http://www.constructalia.com/espanol/productos/armaduras_de_acero_para_hormigon/fibra_de_acero#.Vhvr9st_Oko) > [Citado el 3 de septiembre del 2015]

ARQHYS ARQUITECTURA. Construcción: Fibras Metálicas usadas en el concreto <<http://www.arqhys.com/construccion/fibras-metalicas-concreto.html>> [Citado el 12 octubre del 2015]

ASOCIACIÓN DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. Bogotá, Colombia: AIS, 2010

BARR, B. The Fracture Characteristics of FRC Materials in Shear, Fiber Reinforced Concrete: Properties and Applications, 1987, Editado por SHAH, Surendra y BATSON, Gordon, Farmington Hills, Michigan: ACI SP-105, pp 27 – 53

BLANCO ÁLVAREZ, Ana. Durabilidad del hormigón con fibras de acero. Barcelona, 2008, 156 h. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Politécnica de Cataluña: < <http://hdl.handle.net/2099.1/6557> >

CARMONA, Sergio y CABRERA, Manuel. Comportamiento al corte de hormigones reforzados con fibras de acero. En: Revista Ingeniería de Construcción. Vol. 24, No. 1, p. 19-94

CEMEX. Catálogo de Soluciones [En Línea]. <<http://www.cemexcolombia.com/SolucionesConstructor/files/CatalogoDeSoluciones.pdf>> [Citado el 3 septiembre del 2015]

CENTRO DE LAS CIENCIAS ECOLÓGICAS. Materiales de Construcción Adecuados: Fibra y Micro concreto <<http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/HDL/spanish/sk01ms/sk01ms0a.htm>> [Citado el 12 octubre del 2015]

CRUZ MORALES, Claudia. Manual, diapositivas y acetatos para el curso laboratorio de hormigón I: Fabricación y Puesta en Obra del Hormigón. Medellín, 2000, 102 h. Monografía. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Nacional: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/41024/>>

FIGUEROA ANDRADE, Manuel. Comparativa de la Tenacidad entre Hormigón Convencional, Hormigón Reforzado con Fibras de Acero y Hormigón Reforzado con Fibras de Polipropileno. Madrid, 2013, 66 h. Trabajo de Grado (Master en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Universidad Politécnica de Madrid: <<http://oa.upm.es/19960/>>

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la Investigación: Proceso de la Investigación Cualitativa. México D.F.: McGraw-Hill, 2010. 613 pág. ISBN: 978-607-15-0291-9

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Densidad del Cemento Hidráulico. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1999. 6 p. (NTC 221)

----- . Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Resistencia al Desgaste de Agregados Gruesos hasta de 37.5mm, Utilizando la Máquina de los Ángeles. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 2006. 9 p. (NTC 98)

----- . Documentación: Método de Ensayo para el Análisis por Tamizado de los Agregados Finos y Gruesos. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 2007. 10 p. (NTC 77)

----- . Documentación: Método de Ensayo para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Grueso. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 12 p. (NTC 176)

----- . Documentación: Método para Determinar la Densidad y la Absorción del Agregado Fino. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 11 p. (NTC 237)

----- . Documentación: Determinación de la Masa Unitaria y los Vacíos entre Partículas de Agregados. 2 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 10 p. (NTC 92)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.  
Documentación: Ensayo para Determinar el Contenido en Humedad de Suelos y Roca, con Base en la Masa. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2001. 9 p. (NTC 1495)

----- Documentación: Elaboración y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayos de Laboratorio. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1994. 17 p. (NTC 1377)

----- Documentación: Método de Ensayo para Determinar el Asentamiento del Concreto. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1992. 4 p. (NTC 396)

----- Documentación: Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto. 3 ed. Bogotá: ICONTEC, 2010. 13 p. (NTC 673)

----- Documentación: Método de ensayo para determinar el tiempo de fluidez del concreto reforzado con fibras a través del cono de asentamiento invertido. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1995. 5 p. (NTC 3696)

----- Documentación: Concretos reforzados con fibras. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2007. 28 p. (NTC 5541)

----- Documentación: Fibras de acero para refuerzo de concreto. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2010. 8 p. (NTC 5214)

----- Documentación: Concretos. Aditivos químicos para el concreto. 4 ed. Bogotá: ICONTEC, 2008. 25 p. (NTC 1299)

----- Documentación: Concretos. Especificaciones para Aditivos Químicos usados en la Producción de Concreto Fluido. 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 1997. 8 p. (NTC 3502)

JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Concrete library international: Method of test for shear strength of steel fiber reinforced concrete SFRC. Tokyo: JSCE, 1984. 3 p. SF-6.

MÁQUINARIA PRO. Tipos de Vigas  
<<http://www.Máquinariapro.com/construccion/vigas.html>> [Citado el 3 de septiembre del 2015]

MÁRMOL SALAZAR, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero Características Mecánicas. Madrid, 2010, 81 h. Trabajo de grado (Master Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Madrid. Facultad de Ingeniería Civil

MIRSAYAH, Amir y BANTHIA, Nemkumar. Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete. En: ACI Materials Journal. Vol. 99, No. 5 (Sep. 2002); p. 473-479

NAAMAN, Antoine. Fiber Reinforcement for Concrete. En: Concrete International: Design and Construction. Vol. 7, No 3 (Mar., 1985); PP. 21-25.

PROALCO BEKAERT. Fibras de Acero Dramix [En línea]. <<http://proalco.bekaert.com/es-MX/construccion/fibras-de-acero-dramix/dramix>> [Citado el 3 de septiembre del 2015]

RAMOS SALCEDO, Heisin. Aplicación de Fibras Estructurales a los Pilotes tipo CPI 8. Barcelona, 2012, 77 h. Trabajo de grado (Ingeniería Civil). Universidad Politécnica de Cataluña. Facultad de Ingeniería.

REVISTA METAL ACTUAL. Fibras de Acero: La cantidad hace la fuerza [En Línea]. <[http://www.metalactual.com/revista/22/materiales\\_fibra.pdf](http://www.metalactual.com/revista/22/materiales_fibra.pdf)> [Citado el 12 octubre del 2015]

ROMUALDI, James y BATSON, Gordon. Mechanics of Crack Arrest in Concrete. En: Journal of Engineering Mechanics ASCE. Vol 89, No EM3 (Jun., 1963); pp 147-168

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero: El Concreto, Generalidades. Bogotá: Bhandar Editores Ltda. 2001. 350 p.

SEGURA ARENAS, Sergio Mauricio. Determinación de la energía de fractura para concreto reforzado con fibras cortas de acero (SFRC). Bogotá, 2013, 217 h. Trabajo de Grado (Magister en Ingeniería Civil). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Facultad de Ingeniería. Disponible en el catálogo en línea de la Biblioteca de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: <<http://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/129>>

SHAH, Surendra P., SWARTZ, Stuart E. y OUYANG, Chengsheng. Fracture mechanics of concrete: applications of fracture mechanics to concrete, rock and other quasi brittle materials. New York: Wiley, 1995. P. 552

TURMO, José, BANTHIA, Nemy, GETTU, Ravindra y BARRAGAN, Bryan. Estudio del Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras. En: Revista Materiales de Construcción. Vol. 58, No 292, p. 5-13

UNIVERSIDAD DE SONORA. Temas de apoyo para los cursos de concreto: Capitulo 5 Cortante. [En línea] <<http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=3527>> [Citado 19 de abril de 2016]

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Mampostería Confinada <[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102803/MODULO\\_ACADEMICO/leccin\\_\\_17\\_mamostera\\_confinada.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102803/MODULO_ACADEMICO/leccin__17_mamostera_confinada.html)> [Citado el 10 de octubre del 2015]