

**ANÁLISIS DEL ESFUERZO RESIDUAL EN CONCRETO PARA PAVIMENTO
RIGIDO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS Y SINTÉTICAS**

**JUAN IVAN MENDOZA VARGAS Cód. 6100110
ALBERTO VÁSQUEZ Cód. 6100114
MANUEL RICARDO VILLA ARCHILA Cód. 6100115**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTA D.C
2012**

**ANÁLISIS DEL ESFUERZO RESIDUAL EN CONCRETO PARA PAVIMENTO
RIGIDO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS Y SINTÉTICAS**



**JUAN IVAN MENDOZA VARGAS Cód. 6100110
ALBERTO VÁSQUEZ Cód. 6100114
MANUEL RICARDO VILLA ARCHILA Cód. 6100115**

Trabajo de Grado

**Asesor:
Ing. RODRIGO SALAMANCA**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PAVIMENTOS
BOGOTA D.C
2012**

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. RESUMEN EJECUTIVO | 9 |
| 2. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 3. OBJETIVOS..... | 11 |
| 4. JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| 5. ALCANCE DEL TRABAJO | 13 |
| 6. MARCO TEÓRICO | 14 |
| 6.1. INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS..... | 14 |
| 6.2. TIPOS DE FIBRAS..... | 14 |
| 6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS POR MATERIAL | 15 |
| 6.3.1. FIBRAS SINTÉTICAS..... | 15 |
| 6.3.2. FIBRAS DE VIDRIO..... | 18 |
| 6.3.3. FIBRAS NATURALES | 19 |
| 6.3.4. FIBRAS DE POLIPROPILENO, VIDRIO Y NYLON..... | 19 |
| 6.3.5. FIBRAS DE ACERO | 19 |
| 6.4. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS..... | 23 |
| 6.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS..... | 23 |
| 6.4.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS BAJO CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS..... | 24 |
| 6.4.3. NORMATIVIDAD APLICABLE EN LA EVALUACIÓN DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS..... | 27 |
| 6.5. PRINCIPALES PROPIEDADES QUE MEJORA LA FIBRA EN EL CONCRETO | 27 |
| 6.5.1. TENACIDAD..... | 27 |
| 6.5.2. ESFUERZO RESIDUAL | 29 |
| 7. DESARROLLO DEL TRABAJO | 30 |
| 7.1. DISEÑO DE MEZCLA..... | 30 |
| 7.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADO..... | 30 |
| 7.1.2. DISEÑO PARA UN METRO CÚBICO DE CONCRETO..... | 33 |
| 7.2. CURVA DE FULLER | 34 |
| 7.3. CÁLCULO DE DOSIFICACIONES | 35 |
| 7.4. DISEÑO PARA CONCRETO SIMPLE SIN DOSIFICACION DE FIBRAS PARA 9 VIGUETAS..... | 35 |

| | | |
|--------|---|----|
| 7.5. | DISEÑO DE MEZCLAS CON FIBRAS SINTÉTICAS PARA 9 VIGUETAS | 37 |
| 7.6. | DISEÑO DE MEZCLAS CON FIBRAS METÁLICAS PARA 9 VIGUETAS..... | 37 |
| 7.7. | ENSAYOS | 39 |
| 7.7.1. | APLICACIÓN DE LA NORMA ASTM C 1399 | 39 |
| 7.7.2. | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN..... | 43 |
| 7.8. | METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS DE LABORATORIO | 46 |
| 8. | RESULTADOS OBTENIDOS..... | 48 |
| 8.1. | CONCRETO SIMPLE..... | 49 |
| 8.2. | CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS SINTÉTICAS | 54 |
| 8.3. | CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS | 59 |
| 8.4. | ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES | 64 |
| | CONCLUSIONES | 66 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 68 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Propiedades de la fibra Wirand FF3 de Maccaferri | 22 |
| Tabla 2. Propiedades cualitativas de las fibras metálicas | 23 |
| Tabla 3. Dosificaciones mínimas y espesores mínimos en | 23 |
| Tabla 4. Peso específico y absorción agregado fino NTC 237 | 30 |
| Tabla 5. Peso específico y absorción agregado grueso NTC 176 | 31 |
| Tabla 6. Tamizaje de la grava y arena | 31 |
| Tabla 7. Densidades grava y arena..... | 32 |
| Tabla 8. Diseño de mezcla para un metro cúbico de concreto..... | 33 |
| Tabla 9. Curva de Fuller | 34 |
| Tabla 10. Diseño para 9 viguetas | 35 |
| Tabla 11. Diseño de mezcla - primera carga (Arena, gravilla y cemento)..... | 36 |
| Tabla 12. Diseño de mezcla - segunda carga (Arena, gravilla y cemento)..... | 37 |
| Tabla 13. Diseño de mezcla - tercera carga (Arena, gravilla y cemento)..... | 38 |
| Tabla 14. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 sin fibras | 49 |
| Tabla 15. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 sin fibras | 50 |
| Tabla 16. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 sin fibras | 51 |
| Tabla 17. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 sin fibras | 52 |
| Tabla 18. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 sin fibras | 53 |
| Tabla 19. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 con fibras sintéticas..... | 54 |
| Tabla 20. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 con fibras sintéticas..... | 55 |
| Tabla 21. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 con fibras sintéticas..... | 56 |
| Tabla 22. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 con fibras sintéticas..... | 57 |
| Tabla 23. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 con fibras sintéticas..... | 58 |
| Tabla 24. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 con fibras metálicas..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 con fibras metálicas..... | 60 |
| Tabla 26. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 con fibras metálicas..... | 61 |
| Tabla 27. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 con fibras metálicas..... | 62 |
| Tabla 28. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 con fibras metálicas..... | 63 |
| Tabla 29. Promedio de valores de Esfuerzo residual promedio (ERP) | 64 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Tensión de flexión (Mpa) vs deflexión (mm) en fibras sintéticas..... | 17 |
| Figura 2. Relación de aspecto Fibra metálica | 20 |
| Figura 3. Diferentes formas de fibras | 21 |
| Figura 4. Diferentes formas de fibras | 22 |
| Figura 5. Comportamiento del concreto reforzado..... | 24 |
| Figura 6. Esquema de espécimen ensayado a tracción pura..... | 25 |
| Figura 7. Curva de Carga (P) – desplazamiento (δ) para concreto reforzado | 25 |
| Figura 8. Esquema de probeta para ensayo a | 26 |
| Figura 9. Instrumentación del ensayo a tracción indirecta..... | 26 |
| Figura 10. Ejemplo físico de probeta configurada para | 26 |
| Figura 11. Curva de Fuller | 34 |
| Figura 12. Ensayo ASTM C 1399..... | 39 |
| Figura 13. Curva de carga y recarga según la norma ASTM C 1399 | 41 |
| Figura 14. Montaje para determinar la resistencia a flexión según norma NTC 2871 | 44 |
| Figura 15. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 sin fibras | 49 |
| Figura 16. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 sin fibras | 50 |
| Figura 17. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 sin fibras | 51 |
| Figura 18. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 sin fibras | 52 |
| Figura 19. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 sin fibras | 53 |
| Figura 20. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 con fibras sintéticas | 54 |
| Figura 21. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 con fibras sintéticas | 55 |
| Figura 22. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 con fibras sintéticas | 56 |
| Figura 23. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 con fibras sintéticas | 57 |
| Figura 24. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 con fibras sintéticas | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 25. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 con fibras metálicas..... | 59 |
| Figura 26. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 con fibras metálicas..... | 60 |
| Figura 27. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 con fibras metálicas..... | 61 |
| Figura 28. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 con fibras metálicas..... | 62 |
| Figura 29. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 con fibras metálicas..... | 63 |
| Figura 30. Representación gráfica del incremento del esfuerzo residual..... | 65 |

LISTADO DE FOTOGRAFIAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Vaciado de concreto en los especímenes diseñados para las viguetas..... | 33 |
| Figura 2. Pesaje de las fibras metálicas para su debida dosificación | 33 |
| Figura 3. Aplicación de fibras sintéticas en el concreto | 36 |
| Figura 4. Prueba de asentamiento (slump) | 38 |
| Figura 5. Montaje del ensayo ASTM C 1399 | 40 |
| Figura 6. Equipo necesario para realizar la prueba ASTM C 1399 | 42 |
| Figura 7. Viguetas falladas con las diferentes mezclas (simples, reforzadas con fibras sintéticas y reforzadas con fibras metálicas)..... | 42 |
| Figura 8. Viguetas en el punto de fractura | 42 |
| Figura 9. Distribución uniforme de las cargas según la prueba según ASTM C 1399..... | 43 |
| Figura 10. Viguetas falladas después del ensayo ASTM C 1399..... | 48 |

1. RESUMEN EJECUTIVO

A través del presente trabajo, luego de efectuar una exploración general respecto a los conceptos asociados con los diferentes tipos de fibras empleadas y su aplicación en diversas clases de concreto, se efectúa la explicación detallada acerca de los ensayos realizados, a fin de generar un análisis y valoración del esfuerzo residual en concreto para pavimento rígido reforzado con fibras metálicas y sintéticas. Como resultado de los ensayos realizados, se podrá obtener un punto de vista objetivo, que comparado bajo términos de funcionalidad, eficiencia y rentabilidad, permitirá el desarrollo y generación de una nueva forma de mezcla que facilite el desarrollo de estructuras en pavimentos.

2. INTRODUCCIÓN

Día a día, el crecimiento económico y el ulterior desarrollo del país mantienen ofreciendo desafíos a la Ingeniería Colombiana. En el campo de la infraestructura vial, esto se hace cada vez más patente, debido a las necesidades del país, respecto al diseño y desarrollo de estructuras durables y eficientes desde el punto de vista económico y funcional, con un nivel de servicio y un comportamiento que sea capaz de soportar el incremento constante en el parque automotor, el transporte masivo de personas y el transporte de carga.

Para lograr estas metas, y sobre todo, que se vean reflejadas en resultados cada vez más eficientes y funcionales, se hace necesario recurrir a la esencia misma de las estructuras, lo que en otras palabras, significa lograr mayores niveles de mejora en la composición de los materiales que se emplean para tal fin, por lo cual en el caso del concreto hidráulico se ha venido utilizando el reforzamiento con fibras de acero y sintéticas.

La utilización de concretos reforzados con fibras, es una tecnología reciente en el país, la cual no ha sido plenamente aprovechada, dado que su actual uso se ha limitado en concretos lanzados y pisos industriales; no obstante esta utilidad, es aún incipiente el estudio acerca de la profundidad y alcance de sus beneficios en los pavimentos rígidos.

Entonces, dado el carácter reciente de esta clase de tecnología en el país, se vuelve pertinente un estudio en mayor detalle, acerca de los parámetros de medida de las propiedades, dosificaciones y criterios de uso de acuerdo al desempeño de esta clase de concreto.

Con base en las razones expuestas, el presente trabajo se propone, entre otros objetivos, analizar mediante la aplicación del ensayo establecido en la norma ASTM 1399 “Método de ensayo estándar para obtener el promedio de la resistencia residual del concreto reforzado con fibras”, el esfuerzo residual de una mezcla de concreto tanto con fibras sintéticas como con fibras de acero, y su comportamiento post-fisuramiento.

Los beneficios con el uso de estas fibras en los pavimentos rígidos se podrían ver reflejados, en el desarrollo de estructuras más durables, funcionales y más rentables.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Valorar a través de una serie de ensayos, el esfuerzo residual de una mezcla de concreto para pavimento rígido elaborada con materiales de nuestro medio y reforzada con fibras sintéticas, y reforzada con fibras metálicas, lo cual permita evaluar el desempeño del material con cada tipo de refuerzo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Valorar el esfuerzo residual de una mezcla de concreto para pavimento rígido reforzado con fibras sintéticas.
2. Valorar el esfuerzo residual de una mezcla de concreto para pavimento rígido reforzado con fibras metálicas.
3. Comparar el comportamiento de la mezcla reforzada con fibras sintéticas con la mezcla reforzada con fibras metálicas.
4. Comparar los resultados con otros de estudios similares en nuestro medio o la región

4. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de la construcción durante el siglo XX ha generado nuevas técnicas y nuevos materiales que han ido reemplazando los tradicionales. Es indudable que la industria ha evolucionado y es por eso que materiales como la piedra y la madera han dejado de ser materiales de primer orden dándole paso a materiales como el concreto y el acero.

Es por eso que la importancia del uso de concreto ha exigido al desarrollo tecnológico de alternativas que puedan junto con el concreto dar mayores logros y beneficios para el campo de la construcción.

La utilización de fibras dentro del concreto no es una novedad, al contrario se viene utilizando desde el antiguo Egipto cuando estos introducían paja al macizo arcilloso para darle mayor resistencia a los ladrillos que realizaban. También se observaba que se realizaban revoques reforzados con crin de caballo o paja, paneles de yeso reforzados con trenzado de bambú, como otros casos en particular.

En las décadas de los 50's y 60's se vieron los mayores adelantos en los estudios de las fibras, y hoy en día son de gran aplicabilidad para diferentes tipos de proyectos que se adelantan tanto en el país como en el mundo.

El desarrollo de la infraestructura vial afronta grandes retos en nuestro tiempo como el incremento cada vez mayor del parque automotor y de su capacidad de carga. El desarrollo económico tiene previsto el crecimiento en el comercio exterior y el auge minero, lo cual requiere el desarrollo de vías con alta capacidad de servicio y durabilidad.

También encontramos que las fuentes de materiales se están agotando, lo cual está íntimamente ligado al concepto de desarrollo sostenible y responsabilidad ambiental, por lo que las obras que se construyan deben ser durables y de mínimo mantenimiento. Todo lo anterior sumado a los escasos recursos públicos del estado hace necesario el mejoramiento de los materiales, de manera que cumplan con todos estos desafíos.

En los pavimentos rígidos se ha venido utilizando el mejoramiento de las mezclas de concreto con fibras, pero al ser una tecnología nueva en el país se han creado interrogantes sobre su correcta dosificación, criterios de uso de acuerdo al desempeño y medición de sus propiedades. Existen diferentes tipos de fibra por lo cual es conveniente establecer cuál es la más apropiada para los pavimentos rígidos.

5. ALCANCE DEL TRABAJO

Por medio de este trabajo se busca realizar una comparación entre el concreto simple y las modificadas con fibras, teniendo en cuenta una misma dosificación y un mismo diseño de mezcla, obteniendo el esfuerzo residual y por medio de este establecer parámetros de comparación.

Se busca medir mediante el ensayo ASTM 1399 el esfuerzo residual de una mezcla de concreto tanto con fibras sintéticas como con fibras de acero, y su comportamiento post-fisuramiento. El uso de estas fibras en los pavimentos rígidos se puede ver reflejado en estructuras más durables y con la necesidad de menos mantenimiento.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS

Las fibras actuando como refuerzo secundario mejoran las características del concreto como es la resistencia a tracción, aportan mayor resistencia a cargas dinámicas y aumentan la resistencia al cortante.

De igual forma con su inclusión se controla el proceso de fisuración, aumentando la resistencia a flexo tracción y tenacidad entendiéndose ésta como la capacidad del concreto en absorber energía.

Las fibras son un elemento presente en la construcción civil desde la antigüedad entre los casos más representativos tenemos¹:

- Pirámide Sakkara Egipto (2500 AC)
- Muros en la Mesopotamia (1400 AC)
- Muralla china (214 AC)
- Carreteras incas (214 DC)

Entre los materiales que han tenido usos estructurales similares al del concreto tales como el adobe, la tapia pisada, los morteros de cal entre otros; la fibra siempre ha estado presente. Las fibras vegetales son de uso obligado en la tapia pisada y el adobe debido a que les ayudan a asumir esfuerzos de tensión y le confieren así un mayor monolitismo (no fisuración a los elementos)².

Probablemente el uso más extendido de las fibras como un componente más en materiales aglomerantes haya sido su uso en elementos como tejas o prefabricados de asbesto-cemento.

En este caso las fibras de asbesto le conferían al material el monolitismo y la resistencia a la tensión buscada, sin embargo por consideraciones de salud estas fibras de asbesto han sido sustituidas por otras de diferentes materiales que no tienen ningún efecto sobre la salud humana.

6.2. TIPOS DE FIBRAS

➤ **Micro fibras.** Son fibras de plástico, polipropileno, polietileno o nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la

¹ MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

² SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá, D.C.: Bhandar Editores Ltda., 2001. 394 P.

formación de fisuras durante las primeras horas de la colocación del concreto o mientras la mezcla permanece en estado plástico. Los mejores resultados se obtienen con fibras multifilamento, cuyas longitudes normalmente son menores a los 50mm y se dosifican en el concreto entre 0.6 kg/m³ y 1.2 kg/m³.

- **Macro fibras.** Son elaboradas de materiales variados, tales como acero, vidrio, sintéticos o naturales; fique y otros, los cuales se usan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como la malla electro soldada y las varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento.

Otro beneficio del concreto reforzado con fibras (CRF) es el incremento de resistencia al impacto. Adicionalmente, controlan la fisuración durante la vida útil del elemento y brindan mayor resistencia a la fatiga. Su diámetro oscila entre 0.25 mm y 1.5 mm, con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.

La más importante propiedad del CRF es la tenacidad, descrita como la capacidad de absorción de energía de un material, que se refleja en el concreto una vez se han presentado fisuras, momento en que las fibras trabajan como refuerzo.

6.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS POR MATERIAL

6.3.1. FIBRAS SINTÉTICAS

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por acrílico, aramid, carbón, polipropileno, poliestileno, nylon, poliéster etc.

Investigaciones realizadas en Estados Unidos, Canadá y Australia han comprobado que las fibras sintéticas (polietilenos y polipropilenos densos, entre otras) debidamente diseñadas, pueden usarse exitosamente como alternativa a la tradicional malla electro soldada.

En este caso, las fibras sintéticas se clasifican dentro del grupo de las macro fibras, cuyo efecto principal dentro del concreto es asegurar una tenacidad acorde con las necesidades del diseño estructural.

Al igual que las fibras metálicas, las macro fibras están diseñadas para mejorar las características mecánicas del concreto y se suministran en longitudes y diámetros distintos. La proporción de la mezcla depende de la longitud y el diámetro, pero las dosificaciones usualmente empleadas están comprendidas entre 1 y 2% en

volumen (9 a 18 kg/m³), si bien existen aplicaciones con contenidos mínimos del 0,1%, o máximos del 8%, en volumen³.

Para establecer con claridad cuáles son los elementos que se trabajarán, es importante configurar las características del concreto y de las fibras.

Macrofibras sintéticas utilizadas en el ensayo

Las fibras sintéticas empleadas en el proyecto están clasificadas dentro del rango de MACROFIBRAS.

Para la realización del ensayo ASTM-1399 se utilizó la TUF-STRAND SF que es una macro-fibra sintética estructural diseñada para su uso en elementos estructurales de gran superficie como losas, prefabricados y aplicaciones que usan concreto lanzado como el revestimiento de túneles, es un excelente sustituto de mallas electro soldadas que generalmente son utilizadas como refuerzo secundario.

El material que compone la macro-fibra es una mezcla de polipropileno / polietileno self-fibrillating la cual proporcionará al concreto mayor resistencia a flexión, resistencia al impacto y fatiga y control de encogimiento plástico superior⁴.

Características y ventajas de la macro fibra

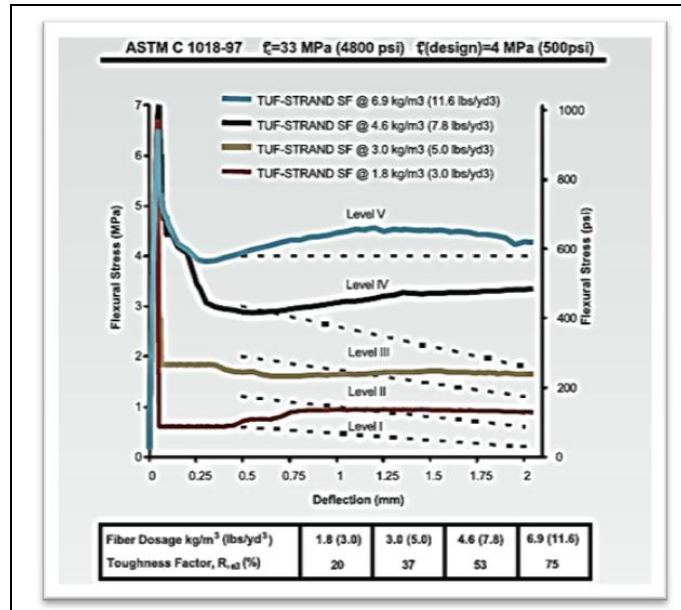
- Controla la contracción plástica de mejor forma que la malla electro soldada
- Reduce segregación
- Minimiza la exudación
- Proporciona control de retracción plástica
- Excelente dispersión en el concreto
- Reducción de la permeabilidad
- Aumenta la resistencia a la flexión
- Resistencia a la corrosión

Estas características de la macro fibra, en particular, la flexión, se ilustran en el siguiente Figura:

³ SIKA. Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras (online). (Bogotá, D.C.), Diciembre de 2010, (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

⁴ Euclid Chemical. Synthetic macro fiber. (Cleveland, Ohio). Diciembre de 2010. (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en http://www.euclidchemical.com/product_detail.asp?id=185&pselect=145

Figura 1. Tensión de flexión (Mpa) vs deflexión (mm) en fibras sintéticas



Fuente: Toxement, 2010

Aplicaciones de la macro fibra

Existen varias aplicaciones de este tipo de fibra en el mercado, las siguientes son las más representativas.

- Pavimentos.
- Pisos industriales.
- Elementos prefabricados.
- White-toppings.
- Concretos lanzados

Actualmente en el diseño de juntas no se ha evidenciado que el uso de fibras reduzca o incremente el espaciamiento entre ellas, sin embargo algunos fabricantes han experimentado con y sin éxito la construcción de losas con y sin juntas.

Se debe tener en cuenta que el uso de fibras aumenta la resistencia a la tracción, lo cual en teoría permitiría aumentar la separación entre juntas, aun así se recomienda seguir utilizando la normatividad vigente para la modulación de las mismas.

En cuanto lo que tiene que ver con el diseño del pavimento, su espesor podría reducirse si se tiene en cuenta parámetros como las sollicitaciones, el tipo de suelo, la calidad del concreto y la contribución de las fibras; Teniendo en cuenta la teoría de línea de fluencia donde se tiene en cuenta las propiedades del concreto podría haber reducción en el espesor, pero acompañado también del incremento en la dosis de fibra. En este caso habría que realizar una evaluación económica para establecer si hay algún tipo de ventaja en este caso.

Las fibras sintéticas TUF-STRAND SF mejoran la respuesta de la fluencia y fatiga del concreto, siendo muy similares a las metálicas debido a su capacidad de unión. En cuanto a lo que tiene que ver con la resistencia al corte las fibras aportan muy poco, sin embargo con una buena dosis de fibras se puede trabajar "en bloque" lo que proporciona transferencia de forma limitada.

Las fibras pueden trabajar en climas calientes o fríos, ya que sus mayores aplicaciones están en climas fríos (puentes, paneles prefabricados, etc.) y en climas calientes se encuentran las aplicaciones de minería, con respecto a la resistencia al fuego ayudará a reducir el explosivo potencial de desprendimiento de concreto, pero hay productos especiales en el mercado diseñados para este tipo de aplicaciones.

En cuanto tiene que ver con la resistencia a la compresión las fibras no afectan negativamente el contenido de aire o resistencia a la compresión del hormigón. A veces se puede percibir que la fuerza o el aire se altera, pero esto generalmente es causado por el exceso de mezcla. Además, de agua, temperaturas más altas y /o incorrecta medición de la humedad en las reservas globales.

Las fluctuaciones de aire también pueden atribuirse a cambios en la caída real de concreto. Mezclas de hormigón que tienen bajos contenidos de cemento requieren de dosis más altas de fibra y la mezcla dará como resultado, generalmente en forma de "bolas de fibra" o mezclas "pétreo"⁵.

6.3.2. FIBRAS DE VIDRIO

Secciones discretas de vidrio resistentes al álcali. Las mallas de fibra de vidrio poseen un amplio campo de aplicaciones. En el armado de revoques evitan las fisuras y micro fisuras, ya que no se oxidan ni se degradan con el tiempo. Tienen gran estabilidad química, solidez y resistencia al fuego. Las mallas se tejen

⁵ Euclid Chemical. Synthetic macro fiber. (Cleveland, Ohio). Diciembre de 2010. (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en http://www.euclidchemical.com/product_detail.asp?id=185&pselect=145

como las fibras textiles y son preparadas con un tratamiento antialcalino para hacerlas más resistentes⁶.

6.3.3. FIBRAS NATURALES

Secciones discretas de origen como coco, sisal, madera, caña de azúcar, yute⁷, bambú, etc. Cuyos diámetros varían entre 0.5 y 0.2 mm con valores de absorción superiores al 12%.

6.3.4. FIBRAS DE POLIPROPILENO, VIDRIO Y NYLON

Estos materiales se usan como micro fibras destinadas a prevenir la fisuración del concreto en estado fresco o durante edades tempranas debido a la retracción plástica.

Están diseñados para ser compatibles con el ambiente altamente alcalino de la matriz del concreto; sin embargo, en su caso particular, las fibras de vidrio deben ser resistentes a los álcalis. Algunas fibras existentes en el mercado pueden contener aditivos destinados a combatir bacterias o aumentar el asentamiento.

Normalmente se usan bajas dosificaciones en masa, de alrededor de 1 kg/m³.

6.3.5. FIBRAS DE ACERO

Dependiendo del sistema de fabricación, hay fibras de diferentes tamaños, secciones, rugosidad superficial y formas. Pueden ser trefiladas en frío, cortadas o maquinadas. Su forma puede ser variable, recta, ondulada o con aplastamientos. Normalmente tienen deformaciones a lo largo de la fibra o en sus extremos.

Esta última modalidad es más eficaz para aumentar la adherencia en el concreto. Para comparar una fibra con otra se utilizan tres conceptos: relación de esbeltez, anclaje y resistencia a la tracción del alambre. Una forma fácil de comparar el desempeño de dos fibras, es revisando la relación de esbeltez (longitud/diámetro).

Las dosificaciones de fibras de acero oscilan normalmente entre 15 y 25 kg/m³ para pisos convencionales. En pisos sin juntas, normalmente se emplean

⁶ SIKA. Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras (online). (Bogotá, D.C.), Diciembre de 2010, (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

⁷ SIKA. Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras (online). (Bogotá, D.C.), Diciembre de 2010, (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

dosificaciones mayores de 30 kg /m³ y para aplicaciones en concretos lanzados como los utilizados en túneles la dosificación es de 40 kg/m³.

Clasificación según sus características geométricas.

La fibra de acero es un producto que se caracteriza por sus formas geométricas dentro de las cuales predomina la longitud sobre las demás, puede ser de superficie pareja o trabajada, de forma rectilínea o doblada y es agregada de manera homogénea en la mezcla de concreto como refuerzo secundario.

Básicamente las fibras se caracterizan por la longitud (L), por la forma y por el diámetro

De la relación entre longitud (L) y el diámetro (D) se obtiene la relación de aspecto, (I=L/D).

- **Longitud (L):** Distancia entre los dos extremos de la fibra.
- **Diámetro (D):** Es el diámetro transversal de la fibra
- **Numero de fibras por kilogramo:** Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{n}{kg}\right) = \frac{400000}{LD^2\pi\gamma}$$

Donde:

L = Longitud de la fibra (mm)

D = Diámetro de la fibra (mm)

Y = Peso específico (Kg/m³)

Figura 2. Relación de aspecto Fibra metálica

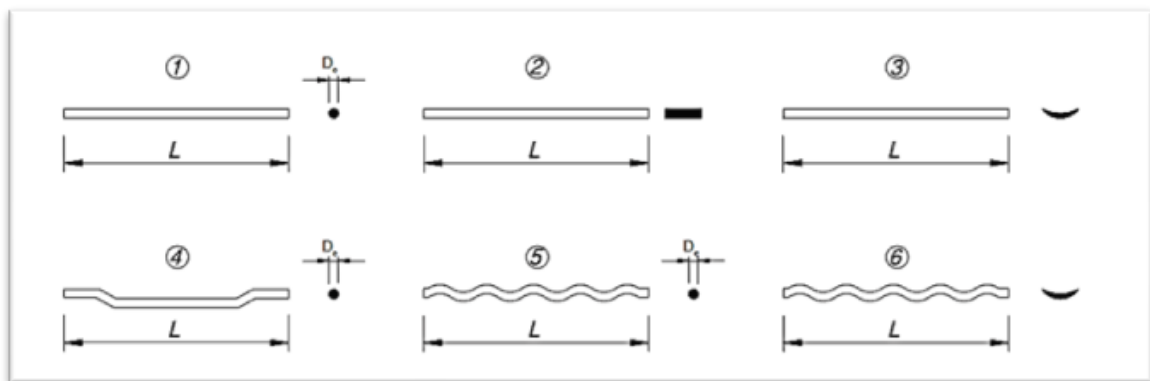


Fuente: Maccaferri

- **Relación de aspecto:** Establece la esbeltez de la fibra ($\lambda=L/D$), en igualdad de longitud, cuanto más éste es alto, y cuanto más reducido sea el diámetro equivalente, la fibra es esbelta. Aún en igualdad de longitud, cuanto más alto es l , tanto más ligera es la fibra, por lo tanto hay mucho más fibra por unidad de masa.
- **Resistencia a la tracción:** Se calcula dividiendo el esfuerzo necesario a la rotura por el área de la sección de la fibra.

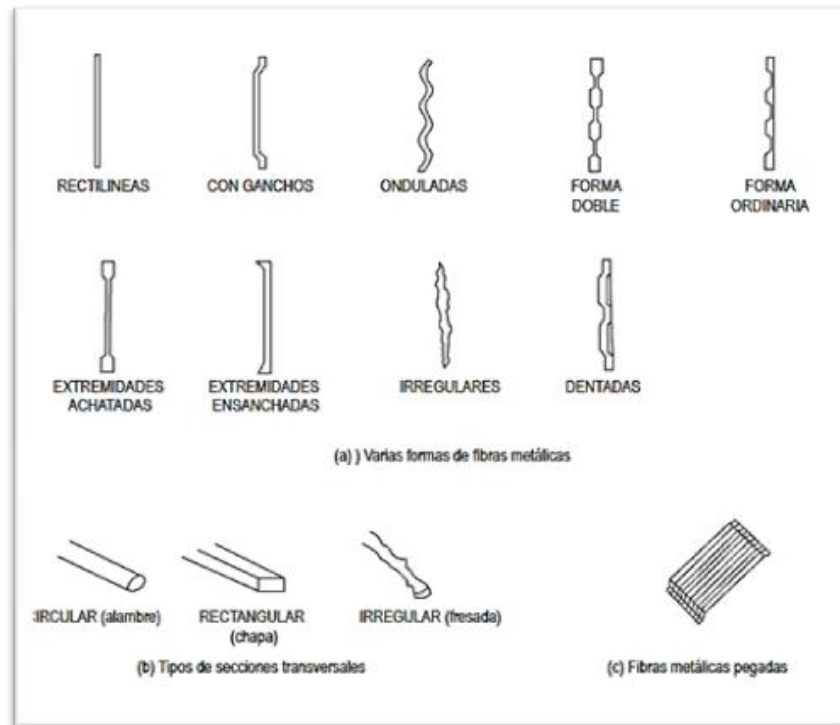
Axialmente, las fibras pueden tener sección circular, rectangular o variada. En el Figura 3 y 4, se presenta un ejemplo de varias formas de fibras.

Figura 3. Diferentes formas de fibras



Fuente: Maccaferri

Figura 4. Diferentes formas de fibras



Fuente: Maccaferri

Cabe anotar que la forma de la fibra Wirand FF3, fibra escogida para el estudio es rectangular con ganchos.

Para este estudio se tuvo en cuenta la fibra WIRAND FF3 de MACCFERRI, teniendo en cuenta las siguientes propiedades:

Tabla 1. Propiedades de la fibra Wirand FF3 de Maccaferri

| FIBRA | Clasificación de la fibra según proceso productivo | Material de producción | Resistencia a la tracción (Mpa) | Dimensiones | | | |
|------------|--|--|---------------------------------|---------------|---------------|---------------------------|--|
| | | | | Longitud (mm) | Diámetro (mm) | Relación de aspecto (L/D) | Número de elementos por kg de material (n°/Kg) |
| Wirand FF3 | Inorgánica | Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío. | 1200 | 50 | 0,75 | 67 | 5710 |

Fuente: Maccaferri

Tabla 2. Propiedades cualitativas de las fibras metálicas

| Propiedad cualitativa – Fibra Wirand FF3 | Desempeño |
|--|-----------|
| Ductilidad y tenacidad | |
| Resistencia a la fatiga | .. |
| Resistencia al impacto | ... |
| Permeabilidad | .. |
| Control de microfisuración | • |
| Resistencia a la abrasión | • |
| Retracción a largo plazo | |
| Resistencia al fuego | |

Fuente: Maccaferri

- Máximo desempeño
- Mínimo desempeño

Dosificación

Para la dosificación se tuvo en cuenta las recomendaciones del fabricante, las cuales se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 3. Dosificaciones mínimas y espesores mínimos en Fibras metálicas

| Dosificaciones mínimas (kg/m ³) y espesores mínimos (mm) | Wirand FF3 | |
|--|-----------------------------------|--------------|
| Diámetro máx. agregados (mm) | 25 | |
| Pavimentación | Dosificación (Kg/m ³) | Espesor (mm) |
| | 30 | 300 |

Fuente: Maccaferri

6.4. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

6.4.1. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Al adicionar fibras al concreto, bien sean macro fibras o micro fibras, se obtiene un material con características mecánicas diferentes al concreto convencional.

Los factores que influyen en las propiedades de un concreto reforzado con fibras son las siguientes:

- Fibras: geometría, relación de aspecto, contenido, orientación y distribución;
- Matriz: resistencia y dimensión máxima de los agregados;
- Interfaz fibra-matriz;
- Probetas: dimensiones, geometría y metodología de ensayo.

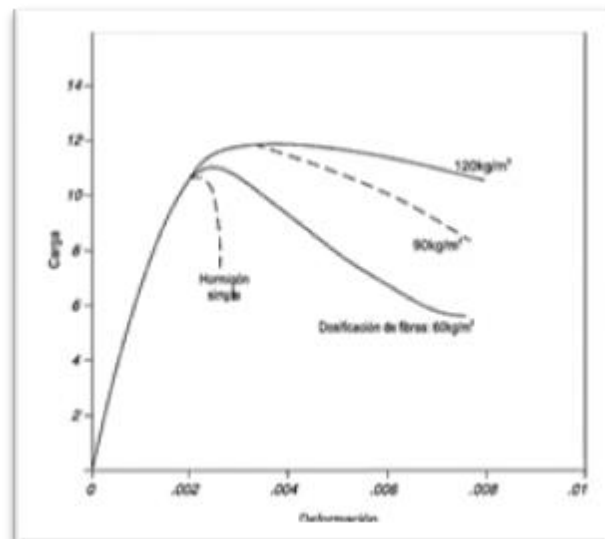
6.4.2. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS BAJO CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS

El concreto reforzado con fibras presenta las siguientes propiedades:

➤ **Compresión:**

Esta propiedad no presenta mayor variabilidad con respecto a la adición de fibras, una vez alcanza el pico (esfuerzo máximo) en la curva carga vs deformación presenta mayor ductilidad debido a la presencia de fibras.

Figura 5. Comportamiento del concreto reforzado Con fibras metálicas a compresión

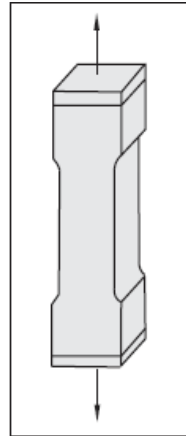


Fuente: Maccaferri

➤ Tracción directa uniaxial

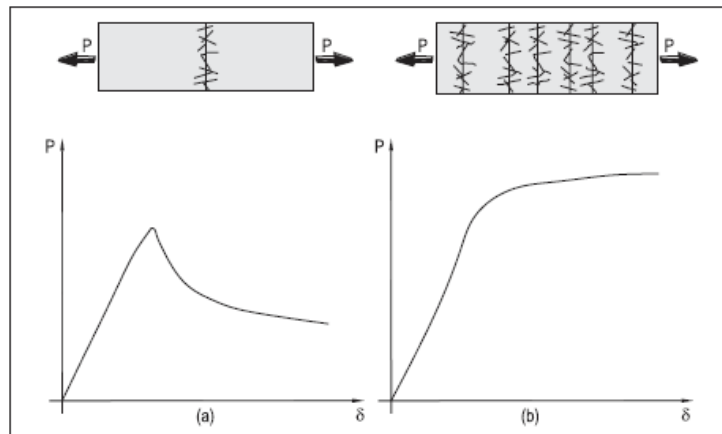
La tracción directa uniaxial del concreto reforzado con fibras es importante en la fase del primer post fisuramiento en especial, las microfibras obteniendo incremento en el valor pico. Esto se ilustra en los siguientes Figuras:

Figura 6. Esquema de espécimen ensayado a tracción pura



Fuente: Maccaferri

Figura 7. Curva de Carga (P) – desplazamiento (δ) para concreto reforzado
(a) Bajo contenido de fibras, (b) Alto contenido de fibras

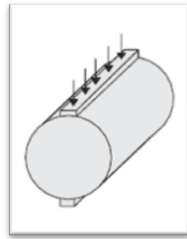


Fuente: Maccaferri

➤ **Tracción indirecta – ensayo brasileño**

El ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño conocido también como ensayo a tracción indirecta por splitting, consiste en someter a una probeta cilíndrica a una fuerza de compresión en una zona a lo largo de su longitud. Esto se ilustra en la siguiente gráfica:

Figura 8. Esquema de probeta para ensayo a tracción indirecta



Fuente: Maccaferri

Figura 9. Instrumentación del ensayo a tracción indirecta



Fuente: Maccaferri

Figura 10. Ejemplo físico de probeta configurada para ensayo a tracción indirecta, método brasileño



Fuente: Maccaferri

Cuando se alcanza la carga máxima se consigue la resistencia a tracción indirecta del concreto reforzado con fibras.

6.4.3. NORMATIVIDAD APLICABLE EN LA EVALUACIÓN DE CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Las siguientes son las principales normas aplicables en la evaluación del concreto reforzado con fibras, teniendo en cuenta sus propiedades particulares:

- **Asentamiento:** NTC 3696.
- **Flexión:** ASTM 1018
- **Tenacidad:** EFNARC-DE235 - ASTM 1550
- **Resistencia residual:** ASTM 1399
- **Flexión:** ASTM 1609
- **Cantidad de fibras:** JSCE N3
- **Resistencia al impacto:** ACI-5442R-89

6.5. PRINCIPALES PROPIEDADES QUE MEJORA LA FIBRA EN EL CONCRETO

6.5.1. TENACIDAD

La tenacidad se define como la capacidad de absorción de energía, cuando la tenacidad del material es alta ayuda a que la estructura incluso después del agrietamiento pueda seguir siendo cargada. La tenacidad es una propiedad que describe la capacidad de un material de soportar cargas antes de colapsar.

Un ejemplo que puede ilustrar mejor este concepto lo constituye un alambre y un caucho de la misma geometría (por ejemplo 10cm de longitud). Si se toman los extremos del caucho con dos dedos de cada mano y se separan las manos el caucho se tensiona, si se aplica más carga separando más las puntas, el caucho se tensiona un poco más, pero al mismo tiempo su deformación crece increíblemente.

Si se continua y separan aún más los extremos (equivalente a una carga externa) el caucho se deforma aún más y el nivel de tensión en el también crecerá (al mismo tiempo crecen tensión y deformación). Así el nivel de esfuerzo que alcanza el caucho al momento de la falla es bajo porque la resistencia a la tensión del material es baja, pero la deformación del material ha sido gigantesca abriendo completamente los brazos.

Al repetir el mismo ejercicio con el alambre, se aplicara la misma acción o carga externa, es decir una fuerza que trata de abrir los brazos, mientras se sujeta el alambre en ambos extremos, el alambre se tensionara pero en vez de permitir una gran deformación se resiste y convierte dicha acción en un esfuerzo interno hasta que falla sin haberse deformado más de 0.5mm. En este caso el esfuerzo interno del material es muy alto pero la deformación muy baja.

¿Cuál material resiste más? Si hablamos solo en términos de esfuerzo, el material más resistente es el acero, puesto que el caucho incremento su nivel de esfuerzo lentamente ya que todo era deformación, y falló a un nivel muy bajo de tensión.

Para el nivel de tensión que el caucho falló el alambre apenas es exigido, sin embargo para llegar a ese nivel de esfuerzo el caucho tuvo que deformarse mucho, había tenido una enorme acción sobre el material (prácticamente los brazos estaban totalmente extendidos), eso hace que el caucho sea capaz de resistir cargas muy grandes sin fallar puesto que las transforma en deformación.

Es decir el caucho tiene una gran capacidad de ABSORBER cargas externas sin fallar convirtiéndolas en deformación. El acero también tiene una gran capacidad de absorber cargas externas sin fallar pero no las transforma principalmente en deformación sino en esfuerzo interno que es capaz de soportar.

Para describir la capacidad de un material de absorber cargas externas es necesario tener en cuenta y de manera simultánea la capacidad del mismo tanto para deformarse como para resistir el esfuerzo frente a la acción de dicha carga.

La propiedad que cuantifica la doble acción de deformación y la capacidad de resistir un esfuerzo es la tenacidad, que es exactamente el producto de la resistencia y la deformación, que en la grafica de esfuerzo vs deformación se traduce en el área bajo la curva.

Esto nos lleva a la definición donde una fuerza aplicada (carga) por distancia (deformación) en un tiempo dado es la energía ($E=F*d/t$). La tenacidad es la capacidad de absorción de energía de un material.

El concreto fibroreforzado (con macro fibras), tiene una tenacidad muy superior al mismo concreto sin fibras. Sin embargo, si ambas matrices tienen la misma resistencia para ser más tenaz al concreto no le queda otra alternativa que deformarse más antes de la falla (tener un poco más el comportamiento del caucho).

6.5.2. ESFUERZO RESIDUAL⁸

Como se explicó anteriormente, la tenacidad describe la capacidad de absorción de energía de un material, en este caso concreto que no ha sido sometido a cargas, y describe su comportamiento desde el momento que se empieza a someter a cargas externas hasta que llega a un límite donde no soporta más y colapsa.

La tenacidad se cuantifica mediante el área de la curva del gráfico esfuerzo vs deformación.

A diferencia de la tenacidad el esfuerzo residual describe la capacidad del material de seguir siendo cargado después de ocurrida la fisura antes de colapsar.

Una vez la matriz del concreto se ha fisurado, el concreto sin fibra simplemente colapsa y la estructura también, es decir que no hay continuidad en la estructura y puede caer en pedazos.

En un concreto fibroreforzado la falla y colapso de la estructura tienen lugar mucho después de la aparición de la fisura principal.

El concreto fibroreforzado le permite a la estructura seguir absorbiendo cargas externas (que pueden ser las llantas de un tracto mula, las fuerzas producidas por un sismo, o el empuje de un terreno) sin colapsar, le permite a la estructura seguir funcionando.

Las ventajas que ofrecen las fibras son altamente apreciadas en estructuras como pisos, pavimentos, recubrimientos de concretos lanzados en taludes y túneles, elementos expuestos a cargas altas en tiempos cortos como explosiones.

Los concretos reforzados con fibras son capaces de absorber enormes cantidades de energía y para cuantías de dosificación muy altas, se usan como disipadores sísmicos (columnas con más de 100kg/m³ de fibra metálica o más de 10kg/m³ fibra sintéticas) que pueden actuar como amortiguadores en bases de edificaciones. Estas aplicaciones sin embargo no son las más frecuentes pero prometen aplicaciones nuevas y diversas para los próximos años para lo cual se requiere investigación.

⁸ SIKA. Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras (online). (Bogotá, D.C.), Diciembre de 2010, (Acceso 18 Octubre, 2012). Acceso en <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

7. DESARROLLO DEL TRABAJO

Para la realización del trabajo se consideraron varias variables que se ejecutaron en su estricto orden, en primera instancia se realizó la consecución de materiales y laboratorios para la caracterización de los materiales granulares, seguido a ello se realizó el diseño de mezcla teniendo en cuenta las características de los materiales a emplear y los resultados que se buscan.

Posteriormente se realizó el proceso de elaboración de las viguetas realizando los procesos debidos para garantizar que los resultados den como se espera y finalmente se realizaron los ensayos correspondientes para determinar el esfuerzo residual que es el parámetro que se pretende analizar en este trabajo.

7.1. DISEÑO DE MEZCLA

7.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE AGREGADO

Para el presente estudio se realizó el diseño de mezcla teniendo en cuenta los parámetros establecidos para tal fin, por ello en este capítulo se describirá el procedimiento que se realizó para determinar las dosificaciones necesarias para cumplir con el objetivo del ensayo.

En las siguientes tablas, se muestra el peso específico y absorción de los agregados finos y gruesos, según lo establecido en las NTC 237 y 176 y en INVIAS I.N.V.E. – 222 y 223.

Tabla 4. Peso específico y absorción agregado fino NTC 237

| Característica | Valor |
|---|--------|
| Peso específico aparente (g/cm^3) | 2,60 |
| Peso específico aparente -S.S.S.- (g/cm^3) | 2,61 |
| Peso específico nominal (g/cm^3) | 2,64 |
| Absorción (%) | 0.53 |
| A = Peso de la muestra seca.(g) | 497.37 |
| B = Peso Picnómetro +agua (g) | 657.00 |
| C = Peso Picn +agua +muestra (g) | 960,25 |
| S = Peso muestra S.S.S. (g) | 500,00 |

Fuente: Elaboración propia, Junio 2012

Donde:

A / B+S-C
S / B+S-C

$$\frac{A}{B+A-C}$$

$$\frac{(S-A)}{A} * 100$$

Tabla 5. Peso específico y absorción agregado grueso NTC 176

| Característica | Valor |
|--|---------|
| Peso específico aparente (g/cm ³) | 2,47 |
| Peso específico aparente -S.S.S.- (g/cm ³) | 2,53 |
| Peso específico nominal (g/cm ³) | 2,63 |
| Absorción (%) | 2.53 |
| A = Peso de la muestra seca.(g) | 3390.10 |
| B = Peso Picnómetro +agua (g) | 3581.7 |
| C = Peso sumergido en agua de la muestra S.S.S | 2049.5 |
| S = Peso muestra S.S.S. (g) | 500,00 |

Fuente: Elaboración propia, Junio 2012

Donde:

$$\frac{A}{B - C}$$

$$\frac{B}{B - C}$$

$$\frac{A}{A - C}$$

$$\frac{(B - A)}{A} * 100$$

La masa unitaria de los materiales finos y gruesos se encuentra entre 1.3 Y 1.9

Para nuestro material y los ensayos realizados en laboratorio se obtuvo un peso unitario del material fino de 1.483 kg/m³.

Para el material grueso (grava) se obtuvo un peso unitario de 1.393 kg/m³.

Tabla 6. Tamizaje de la grava y arena

| GRANULAR TAMIZ | GRAVA %PASA | ARENA %PASA |
|-------------------|----------------|----------------|
| 19 | 100 | |
| 12.5 | 91.8 | |
| 9.5 | 62.4 | 100 |
| 4.8 | 3.5 | 88 |
| 2.4 | 2.5 | 63.5 |
| 1.2 | | 52.8 |
| 0.6 | | 44.2 |
| 0.3 | | 32.8 |
| 0.15 | | 13.8 |
| 0.075 | 1.6 | 7.8 |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Tabla 7. Densidades grava y arena

| Propiedad | Grava | Arena |
|---|--------------|--------------|
| Densidad aparente(kg/m ³) | 2.470 | 2.600 |
| Densidad nominal | 2.630 | 2.640 |
| Absorción | 2.5 | 0.5 |
| M.U.S (kg/m ³) | 1.393 | 1.483 |
| M.U. apisonada (kg/m ³) | 1.990 | 1.680 |
| Densidad del cemento (g/cm ³) | 2.96 | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

A partir de lo cual se obtienen los siguientes datos:

Recipiente = 3.010 cm³.

$$\text{M.U.S.} = \frac{4.450}{3.010} = 1.470$$

$$\text{M.U.APISONADA} = \frac{5.083}{3.010} = 1.680$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow fcr = 280 + 85 = 365 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Phi = 15 \text{ cm}$$

$$\text{Asentamiento} = 8 \text{ cm}$$

$$\text{TMN} = 19 \text{ mm}$$

$$\text{Relación agua/cemento: } \frac{A}{C} = 0.47$$

$$1 = \text{vol cem} + \text{vol agua} + \text{vol arena} + \text{vol agregado} + \text{vol aire}$$

$$1.0 = 0.14 + 0.195 + (\text{vol agregado}) + 0.020$$

$$V_{ag} = 1 - (0.14 + 0.195 + 0.020)$$

$$V_{ag} = 0.645$$

$$V_{arena} = 0.645 * 60\% = 0.387.$$

$$V_{gravilla} = 0.645 * 40\% = 0.258.$$

7.1.2. DISEÑO PARA UN METRO CÚBICO DE CONCRETO

En la siguiente tabla y Figuras, se señalan los volúmenes de materiales y acciones realizadas, requeridos para el diseño de un metro cúbico de concreto.

Tabla 8. Diseño de mezcla para un metro cúbico de concreto

| Material | Densidad (kg/m ³) | Volumen (m ³) | Masa (kg/m ³) |
|----------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Cemento | 2960 | 0.14 | 415 |
| Agua | 1 | 0.195 | 195 |
| Arena | 2600 | 0.387 | 1006.2 |
| Gravilla | 2470 | 0.258 | 637.26 |
| | | $\Sigma=1000$ | $\Sigma=2253.5$ |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 1. Vaciado de concreto en los especímenes diseñados para las viguetas



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

Figura 2. Pesaje de las fibras metálicas

su debida dosificación

para



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

7.2. CURVA DE FULLER

Hallamos la proporción de agregados con la Curva de Fuller:

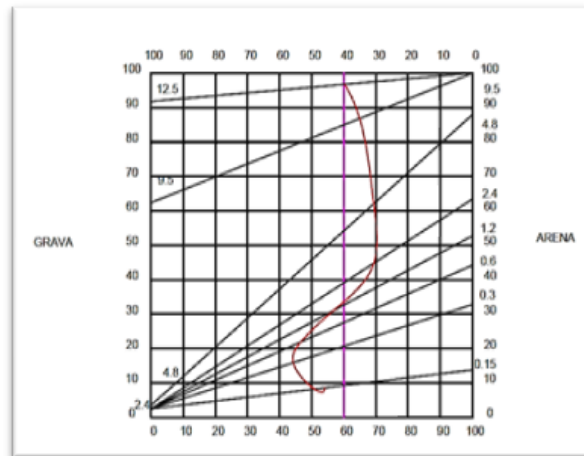
$$Y = \sqrt{\frac{d}{D}} \times 100$$

Donde:

Y = Porcentaje correspondiente a cada tamiz
 d = Tamiz (diámetro)
 D = Tamiz máximo

$$P=100 \sqrt{\frac{d}{D}} \quad \text{TMN} = D = 12.5 \text{ mm}$$

Figura 11. Curva de Fuller



Elaboración propia. Junio 2012

Tabla 9. Curva de Fuller

| CURVA DE FULLER | |
|-----------------|-------|
| TAMIZ | %PASA |
| 12.5 | 100 |
| 9.5 | 87.2 |
| 4.8 | 61.9 |
| 2.4 | 43.8 |
| 1.2 | 31.0 |
| 0.6 | 21.9 |
| 0.3 | 15.5 |
| 0.015 | 8.9 |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012
 Tabla 10. Diseño para 9 viguetas

| CANTIDAD PARA 9 VIGUETAS= 0,0035M3*9=0,0315m3 →0,035 m3 | | | | |
|--|------------------------|---------|----------------|--------|
| Material | Masa para 1 m3 (kg/m3) | Volumen | Masa (0,035m3) | Unidad |
| Cemento | 415 | 0,035 | 14,53 | kg/m3 |
| Arena | 1006 | 0,035 | 35,21 | kg/m3 |
| Gravilla | 637 | 0,035 | 22,3 | kg/m3 |
| Agua | 195 | 0,035 | 6,83 | kg/m3 |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Para el diseño realizado se cálculo la cantidad a utilizar de fibras sintéticas y fibras metálicas.

Para un (1) metro cúbico (m3) de concreto con la información recopilada y estudios realizados se utiliza 2.7 kg/m3 en fibras sintéticas.

Para un (1) metro cúbico (m3) de concreto con fibras metálicas se utiliza 30kg/m3.

7.3. CÁLCULO DE DOSIFICACIONES

Cálculo de dosificación de fibras sintéticas:

$$V = 0.0035 \text{ m}^3 * 3 * 2.7 \text{ kg/m}^3 = 0.028 \text{ kg} \rightarrow 28 \text{ gr}$$

Cálculo dosificación de fibras metálicas:

$$V = 0.0035 \text{ m}^3 * 3 * 30 \text{ kg/m}^3 = 0.0315 \text{ kg} \rightarrow 315 \text{ gr.}$$

7.4. DISEÑO PARA CONCRETO SIMPLE SIN DOSIFICACION DE FIBRAS PARA 9 VIGUETAS

En la siguiente tabla, se muestran los datos obtenidos en el diseño para concreto simple sin dosificación, para lo cual se toma la primera carga de los materiales arena, gravilla y cemento. Se maneja una constante que corresponde al peso del dispositivo contenedor que es de 91,69 kilogramos, siendo así, que el respectivo peso neto del material en cada carga es la resta entre el peso del material menos el peso del contenedor.

Tabla 11. Diseño de mezcla - primera carga (Arena, gravilla y cemento)

| Carga | Primera carga (peso arena en gramos) | | Primera carga (peso gravilla en gramos) | | Primera carga (peso cemento en gramos) | | Asentamiento = 11 cm. | |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------|---|------------------------|--|------------------------|-----------------------|--|
| | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | | |
| 1 | 2942,52 | 2850,83 | 1986,8 | 1895,11 | 1876,4 | 1784,71 | | |
| 2 | 2813,2 | 2721,51 | 2976,73 | 2885,04 | 2444,54 | 2352,85 | | |
| 3 | 2537 | 2445,31 | 3249,04 | 3157,35 | 2418,28 | 2326,59 | | |
| 4 | 2245 | 2153,31 | 3257,45 | 3165,76 | 2336,72 | 2245,03 | | |
| 5 | 2132,4 | 2040,71 | 3023,2 | 2931,51 | 2457,56 | 2365,87 | | |
| 6 | 2814,65 | 2722,96 | 2858,12 | 2766,43 | 2369,02 | 2277,33 | | |
| 7 | 3182,4 | 3090,71 | 2844,12 | 2752,43 | 1270,63 | 1178,94 | | |
| 8 | 3037,7 | 2946,01 | 2739,58 | 2647,89 | | | | |
| 9 | 3272 | 3180,31 | 191 | 99,31 | | | | |
| 10 | 3571,4 | 3479,71 | | | | | | |
| 11 | 3454,2 | 3362,51 | | | | | | |
| 12 | 2808,2 | 2716,51 | | | | | | |
| 13 | 1586,8 | 1495,11 | | | | | | |
| SUMA (Gr.) | | 35205,5 | | 22300,83 | | 14531,32 | | |

Fuente Elaboración propia. Junio 2012

Figura 3. Aplicación de fibras sintéticas en el concreto



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

7.5. DISEÑO DE MEZCLAS CON FIBRAS SINTÉTICAS PARA 9 VIGUETAS

En la siguiente tabla, se muestran los datos obtenidos en el diseño de mezclas con fibras sintéticas, para lo cual se toma la segunda carga de los materiales arena, gravilla y cemento. Se maneja una constante que corresponde al peso del dispositivo contenedor que es de 91,69 gramos, siendo así, que el respectivo peso neto del material en cada carga es la resta entre el peso del material menos el peso del contenedor.

Tabla 12. Diseño de mezcla - segunda carga (Arena, gravilla y cemento)

| Carga | Segunda carga (peso arena en gramos) | | Segunda carga (peso gravilla en gramos) | | Segunda carga (peso cemento en gramos) | | Asentamiento = 7 cm. | |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------|---|------------------------|--|------------------------|----------------------|--|
| | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | | |
| 1 | 2942,52 | 2850,83 | 1986,8 | 1895,11 | 1876,4 | 1784,71 | | |
| 2 | 2813,2 | 2721,51 | 2976,73 | 2885,04 | 2444,54 | 2352,85 | | |
| 3 | 2537 | 2445,31 | 3249,04 | 3157,35 | 2418,28 | 2326,59 | | |
| 4 | 2245 | 2153,31 | 3257,45 | 3165,76 | 2336,72 | 2245,03 | | |
| 5 | 2132,4 | 2040,71 | 3023,2 | 2931,51 | 2457,56 | 2365,87 | | |
| 6 | 2814,65 | 2722,96 | 2858,12 | 2766,43 | 2369,02 | 2277,33 | | |
| 7 | 3182,4 | 3090,71 | 2844,12 | 2752,43 | 1270,63 | 1178,94 | | |
| 8 | 3037,7 | 2946,01 | 2739,58 | 2647,89 | | | | |
| 9 | 3272 | 3180,31 | 191 | 99,31 | | | | |
| 10 | 3571,4 | 3479,71 | | | | | | |
| 11 | 3454,2 | 3362,51 | | | | | | |
| 12 | 2808,2 | 2716,51 | | | | | | |
| 13 | 1586,8 | 1495,11 | | | | | | |
| SUMA (Gr.) | | 35205,5 | | 22300,83 | | 14531,32 | | |

Fuente Elaboración propia. Junio 2012

7.6. DISEÑO DE MEZCLAS CON FIBRAS METÁLICAS PARA 9 VIGUETAS

En la siguiente tabla, se muestran los datos obtenidos en el diseño de mezclas con fibras metálicas, para lo cual se toma la tercera carga de los materiales arena, gravilla y cemento. Se maneja una constante que corresponde al peso del dispositivo contenedor que es de 91,69 gramos, siendo así, que el respectivo peso neto del material en cada carga es la resta entre el peso del material menos el peso del contenedor.

Tabla 13. Diseño de mezcla - tercera carga (Arena, gravilla y cemento)

| Carga | Tercera carga (peso arena en gramos) | | Tercera carga (peso gravilla en gramos) | | Tercera carga (peso cemento en gramos) | | Asentamiento = 9,5 cm. | |
|-----------------------|--|------------------------------|---|------------------------------|--|------------------------------|---------------------------|--|
| | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | Peso del material | Peso neto del material | | |
| 1 | 2942,52 | 2850,83 | 1986,8 | 1895,11 | 1876,4 | 1784,71 | | |
| 2 | 2813,2 | 2721,51 | 2976,73 | 2885,04 | 2444,54 | 2352,85 | | |
| 3 | 2537 | 2445,31 | 3249,04 | 3157,35 | 2418,28 | 2326,59 | | |
| 4 | 2245 | 2153,31 | 3257,45 | 3165,76 | 2336,72 | 2245,03 | | |
| 5 | 2132,4 | 2040,71 | 3023,2 | 2931,51 | 2457,56 | 2365,87 | | |
| 6 | 2814,65 | 2722,96 | 2858,12 | 2766,43 | 2369,02 | 2277,33 | | |
| 7 | 3182,4 | 3090,71 | 2844,12 | 2752,43 | 1270,63 | 1178,94 | | |
| 8 | 3037,7 | 2946,01 | 2739,58 | 2647,89 | | | | |
| 9 | 3272 | 3180,31 | 191 | 99,31 | | | | |
| 10 | 3571,4 | 3479,71 | | | | | | |
| 11 | 3454,2 | 3362,51 | | | | | | |
| 12 | 2808,2 | 2716,51 | | | | | | |
| 13 | 1586,8 | 1495,11 | | | | | | |
| SUMA (Gr.) | | 35205,5 | | 22300,83 | | 14531,32 | | |

Fuente Elaboración propia. Junio 2012

Figura 4. Prueba de asentamiento (slump)



Fuente Elaboración propia. Febrero 2012

7.7. ENSAYOS

Se utilizará la Norma ASTM C 1399 donde se medirá el esfuerzo residual de una mezcla de concreto simple, la misma mezcla reforzada con fibras sintéticas y reforzada también con fibras de acero.

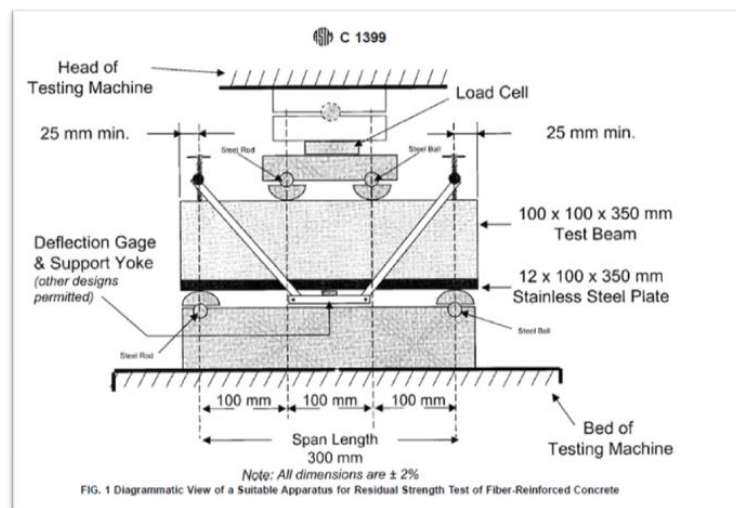
7.7.1. APLICACIÓN DE LA NORMA ASTM C 1399

Para la realización del ensayo de vigas prismáticas requiere una prensa estándar, equipada con cabezales para rotura a tres luces tal como indica la norma ASTM C 1399, y un sistema de registro simultáneo (Linear Voltage Differential Transducer) de fuerza aplicada y deflexión central.

Este método de ensayo proporciona una medida cuantitativa útil en la evaluación del desempeño de hormigón reforzado con fibras. Los resultados se pueden utilizar para optimizar las proporciones de reforzado con fibra de mezclas de concreto, para determinar el cumplimiento con las especificaciones de construcción, para evaluar el concreto reforzado con fibras, que ha estado en servicio, y como una herramienta para la investigación y el desarrollo de hormigón reforzado con fibras. El ensayo de cada viga se realizará de la siguiente manera:

- Previo a la colocación del testigo en el dispositivo se instalará sobre los soportes pivotantes, la plancha metálica rígida. Sobre esta plancha se colocará el testigo haciendo coincidir las marcas de la viga con las existentes en el dispositivo de ensayo de forma que el conjunto quede centrado, según el esquema presentado en el siguiente Figura.

Figura 12. Ensayo ASTM C 1399



Fuente: ASTM

- La viga se ubicará sobre la plancha, colocando la cara corta paralela a la misma.
- La plancha rígida debe tener en el centro un orificio por donde atraviesa el dispositivo de medición de desplazamiento LVDT, el cual se encuentra en contacto con la superficie del testigo.
- La ejecución del ensayo se llevará a cabo en dos etapas. En la primera etapa, se aplicará una carga sobre la viga a una velocidad constante hasta alcanzar los 0.5 mm de deflexión central. Si la fisura no se produce luego de alcanzar esta deflexión, el resultado es inválido.
- Luego de alcanzados los 0.5 mm de deflexión, se detendrá el ensayo, se almacenarán los datos y se retirará la plancha rígida.
- La segunda etapa del ensayo consiste en aplicar nuevamente carga sobre la viga ya fisurada, partiendo de cero (se reiniciará el dispositivo de medición de desplazamiento) hasta llegar a los 1.25 mm de deflexión, culminando de esta forma con el ensayo de la viga.
- El objetivo del ensayo es obtener para cada testigo los datos de fuerza (N) vs. Deformación (mm) durante ambas etapas del ensayo de forma que se puedan construir las curvas de carga y recarga del espécimen.
- De estas curvas se obtendrá la fuerza residual promedio, en Mpa, aportada por las fibras metálicas al interior de la masa de concreto.
- Con este valor de fuerza residual promedio de cada testigo, se establecerán los rangos de evaluación para cada dosificación y tipo de fibra.

Figura 5. Montaje del ensayo ASTM C 1399

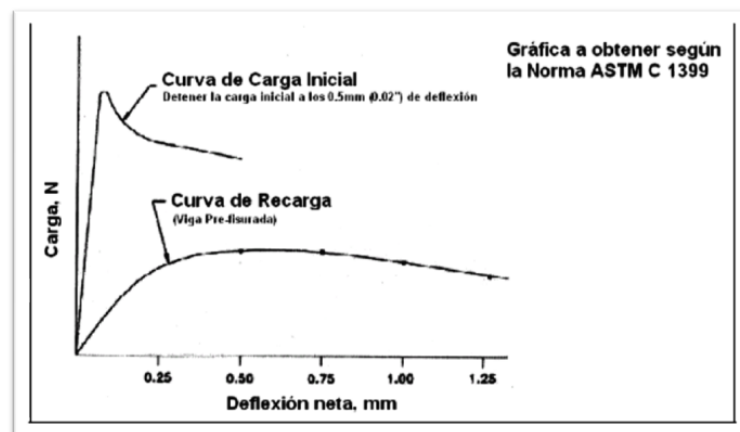


Fuente Elaboración propia. Febrero 2012

Ensayos de Vigas Prismáticas ASTM C 1399:

- La celda de carga a emplear tendrá una capacidad mínima de 44.5 KN.
- La deflexión debe ser medida con un instrumento capaz de registrar deformaciones con una resolución mínima de 0.025 mm.
- El equipo de registro de datos debe recopilar simultáneamente la deflexión del espécimen y la carga aplicada.
- El dispositivo de carga deberá contar con una placa de acero de 100 mm de ancho, 350 mm de largo y 12 mm de espesor.
- Los testigos prismáticos (vigas) tendrán las siguientes dimensiones: 100 mm de ancho, 350 mm de largo y 100 mm de espesor.

Figura 13. Curva de carga y recarga según la norma ASTM C 1399



Fuente ASTM

Se realizaron cinco (5) muestras de concreto sin fibra, cinco (5) muestras reforzadas con fibras sintéticas y cinco (5) muestras reforzadas con fibras metálicas.

Figura 6. Equipo necesario para realizar la prueba ASTM C 1399



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

Figura 7. Viguetas falladas con las diferentes mezclas reforzadas con fibras sintéticas y reforzadas con fibras metálicas) (simples,



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

Figura 8. Viguetas en el punto de fractura



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

Figura 9. Distribución uniforme de las cargas según la prueba según ASTM C 1399



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

7.7.2. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Para obtener la información aquí descrita se realizó el ensayo a flexión que considera la NTC 2871, el cual se utiliza para determinar la resistencia del concreto a la flexión mediante el uso de una viga simple con carga en los tercios medios, teniendo en cuenta que los valores indicados en SI se deben considerar como los normalizados.

El equivalente en unidades del sistema inglés (libra-pulgada) se incluye con carácter informativo.

NTC 2871 MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA FLEXIÓN (UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS MEDIOS)

Las siguientes son las normas que hacen referencia a esta clase de ensayo:

- **ASTM C 31**, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- **ASTM C 42**, Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.
- **ASTM C 192**, Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory.
- **ASTM C 167**, Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.
- **ASTM C 1077**, Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation.
- **ASTM E 4**, Practices for Force Verification of Testing Machines

IMPORTANCIA Y USO

Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados de acuerdo con las normas ASTM C 42, ó ASTM C 31 ó ASTM C 192. Los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura.

La resistencia que se determina variará si existen diferencias en el tamaño del espécimen, su preparación, condiciones de humedad, curado, o si la viga ha sido fundida o cortada al tamaño requerido

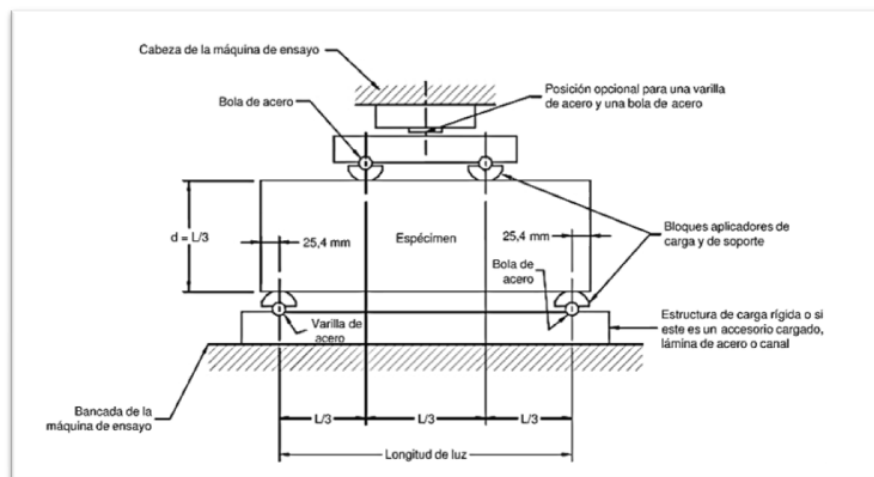
Los resultados de este método de ensayo se pueden usar para determinar el cumplimiento con las especificaciones o como base para operaciones de dosificación, mezcla y colocación de concreto. Se utiliza en ensayos de concreto para la construcción de losas y pavimentos.

ENSAYO

El espécimen de ensayo debe cumplir todos los requisitos de la norma ASTM C 42 ó las normas ASTM C 31 ó ASTM C 192 aplicables a especímenes de vigas y prismas, y debe tener una distancia entre apoyos equivalente a tres veces su altura, con una tolerancia del 2 %.

Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior. Todas las superficies deben ser lisas y deben estar libres de asperezas, indentaciones, huecos o marcas de identificación grabadas.

Figura 14. Montaje para determinar la resistencia a flexión según norma NTC 2871



Fuente: ICONTEC

PROCEDIMIENTO

- El ensayo de resistencia a la flexión de especímenes curados en ambiente húmedo se debe efectuar inmediatamente después de retirar los elementos del recinto húmedo. El secado superficial del espécimen produce una reducción de la resistencia a la flexión medida.
- Cuando se utilice un espécimen fundido, se debe colocar lateralmente con respecto a la posición en que se fundió, y centrada sobre los bloques de soporte.
- Cuando se utilicen especímenes cortados, éstos se deben colocar de manera que la cara sometida a tensión corresponda a la parte superior o inferior del espécimen, como se cortó del material base.
- Se centra el sistema de aplicación de carga en relación con la fuerza aplicada. Se colocan los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los tercios medios, y se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada.
- Usando una galga palpadora de espesores de 0,10 mm (0,004 pulgadas) y 0,38 mm (0,015 pulgadas), se determina si algún espacio existente entre el espécimen y los bloques de aplicación de carga o los de soporte, es mayor o menor que cada una de las galgas en una longitud de 25 mm (1 pulgada) o más.
- La superficie de contacto del espécimen se pule o refrenta, o se utilizan cuñas de cuero para eliminar cualquier espacio mayor de 0,10 mm (0,004 pulgadas). Las cuñas de cuero deben ser uniformes, con 6,4 mm (1/4 de pulgada) de espesor, 25 mm a 50 mm (1 pulgada a 2 pulgadas) de ancho y deben cubrir todo el ancho del espécimen.
- Los espacios superiores a 0,38 mm (0,015 pulgadas) se deben eliminar únicamente mediante refrentado o esmerilado. Se debe evitar esmerilar las superficies laterales, ya que se pueden cambiar las características físicas del espécimen. El refrentado se debe hacer de acuerdo con las secciones aplicables de la norma ASTM C 617.
- Se carga el espécimen continuamente y sin impactos. La carga se debe aplicar a una tasa constante hasta el punto de rotura. La carga se aplica a una tasa que incremente en forma constante el esfuerzo extremo de la fibra entre 0,86 Mpa / min y 1,21 Mpa / min (125 psi/min y 175 psi/min) hasta que ocurra rotura. La tasa de carga se calcula usando la siguiente ecuación:

$$r = Sbd^2/L$$

r = tasa de aplicación de carga, MN/min, (libra/min)

S = tasa de incremento en el esfuerzo extremo de la fibra, Mpa /min (psi/min)

b = ancho promedio del espécimen, mm (pulgadas)

d = Altura promedio del espécimen, mm (pulgadas)

L = Distancia entre apoyos, mm (pulgadas)

MEDICIÓN DE LAS PROBETAS DESPUES DEL ENSAYO

Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la probeta para uso en el cálculo del módulo de rotura, después del ensayo se toman medidas a través de una de las caras fracturadas. Para cada dimensión, se hace una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal.

Las tres mediciones se hacen para cada dirección, para determinar el ancho y la altura promedio. Todas las mediciones se hacen con aproximación a 1 mm (0,05 pulgadas). Si la fractura ocurre en una sección refrentada, se incluye en la medición el espesor del refrentado.

Si la fractura se inicia en la superficie sometida a tensión dentro del tercio medio de la distancia entre apoyos se calcula el módulo de rotura, como sigue:

$$R = PL/bd^2$$

Donde:

R = Modulo de Rotura, Mpa (psi)

P = Carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos, N (lbf)

L = Distancia entre apoyos, mm (pulgadas)

b = Ancho promedio de la probeta en la fractura, mm (pulgadas)

d = Altura promedio del espécimen en el lugar de la fractura, mm (pulgadas)

Los cuales rangos de módulo de rotura de los ensayos realizados, estuvieron entre 3,60 Mpa y 4,28 Mpa.

7.8. METODOLOGÍA PARA LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

Para los ensayos de laboratorio se utilizó una mezcla de modulo de rotura de 4,0 Mpa, la cual es una mezcla característica para vías de tráfico medio, de uso amplio en la ciudad de Bogotá, solo se utilizará un tipo de mezcla porque lo que se busca es valorar el aporte del refuerzo de las fibras sintéticas.

El ensayo utilizado fue el ASTM C – 1399 utilizando vigas prismáticas de 100 mm x 100 mm de sección y 350 mm de longitud, el objetivo del procedimiento es medir el esfuerzo residual en concreto reforzado con fibras.

Se realizó una (1) jornada de mezclado, con el fin de garantizar que el diseño de mezcla genere un concreto con el modulo de rotura para el cual fue diseñado.

En la jornada de mezclado se fundieron 5 viguetas de concreto simple, 5 viguetas de concreto con la dosificación de fibras sintéticas, 5 viguetas con la dosificación de fibras metálicas, en total 15 viguetas.

Se utilizarán 5 viguetas por cada tipo de muestra para tener el promedio y en caso de discrepancia se tiene una muestra testigo, todo esto buscando que los resultados obtenidos sean representativos.

Todas las muestras se ensayaran a los 28 días, tiempo en el cual se considera que el concreto ya ha adquirido el Modulo de Rotura de diseño.

Una vez realizados los ensayos se pasó a la fase de procesamiento de la información y análisis de los resultados, concluyendo si se cumplieron o no los objetivos de los ensayos.

Paralelo a los ensayos de laboratorio se realizó una investigación bibliográfica, buscando profundizar en los conceptos de tenacidad y esfuerzo residual, y analizando su aplicación a los pavimentos de concreto rígido, así mismo se consultó investigaciones que se realizaron sobre el tema, para tener parámetros de comparación.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

Para las diferentes muestras se realizó los cálculos correspondientes aplicando el siguiente procedimiento:

1. Se realiza la suma algebraica de las cargas registradas en las desviaciones especificadas: $PA+PB+PC+PD$
2. Se obtiene el valor k proveniente de la sección de las vigas prismáticas sometidas al ensayo: $k=L/bd^2$, donde :

L = Longitud de la luz libre (mm)

b = Ancho promedio de la viga (mm)

d = Altura promedio de la viga (mm)

3. Se obtiene el esfuerzo residual promedio mediante la fórmula:

$$ERP = ((PA+PB+PC+PD)/4)*k$$

Figura 10. Viguetas falladas después del ensayo ASTM C 1399



Fuente: Elaboración propia. Febrero 2012

8.1. CONCRETO SIMPLE

En las siguientes tablas y Figuras se ilustran los resultados obtenidos con cinco (5) muestras, para concreto simple.

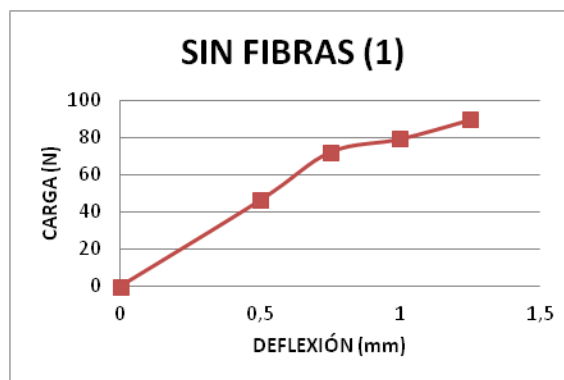
Para la muestra no. 1:

Tabla 14. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 sin fibras

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 46,42 | L | 300 | 71,88 | 0,000297 | 0,02 |
| 0,75 | 72,21 | b | 101 | | | |
| 1 | 79,34 | d | 100 | | | |
| 1,25 | 89,55 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 15. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 sin fibras



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

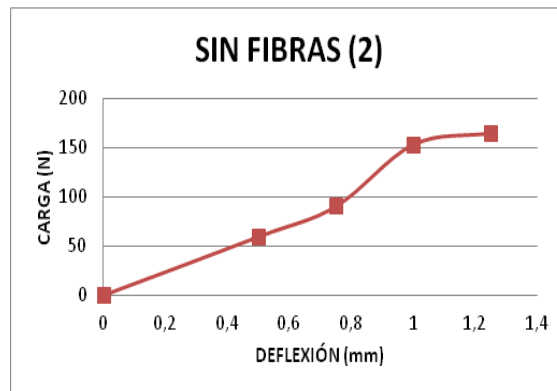
Para la muestra no. 2:

Tabla 15. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 sin fibras

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 59,49 | L | 300 | 116,97 | 0,000303 | 0,04 |
| 0,75 | 90,38 | b | 101 | | | |
| 1 | 153,16 | d | 99 | | | |
| 1,25 | 164,83 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 16. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 sin fibras



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

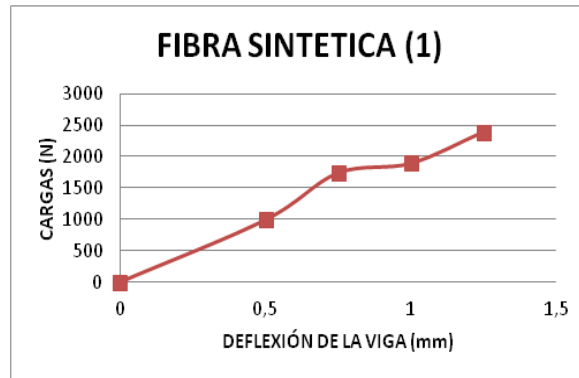
Para la muestra no. 3:

Tabla 16. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 sin fibras

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 990,49 | L | 300 | 1741,48 | 0,000288 | 0,51 |
| 0,75 | 1737,60 | b | 101 | | | |
| 1 | 1889,02 | d | 99 | | | |
| 1,25 | 2388,82 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 17. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 sin fibras



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

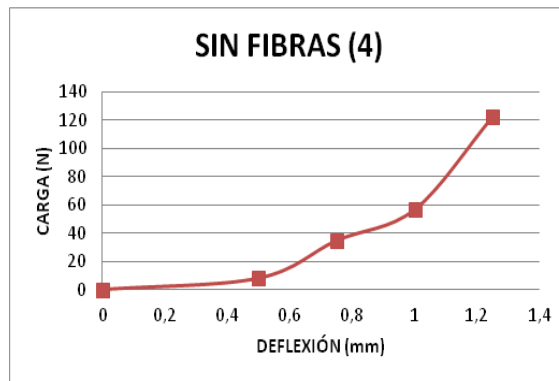
Para la muestra no. 4:

Tabla 17. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 sin fibras

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 8,04 | L | 300 | 55,36 | 0,000297 | 0,02 |
| 0,75 | 34,59 | b | 101 | | | |
| 1 | 56,49 | d | 101 | | | |
| 1,25 | 122,31 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 18. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 sin fibras



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

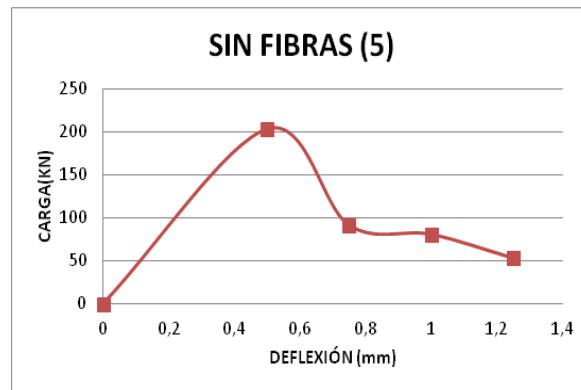
Para la muestra no. 5:

Tabla 18. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 sin fibras

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 203,02 | L | 300 | 107,17 | 0,00297 | 0,03 |
| 0,75 | 91,53 | b | 99 | | | |
| 1 | 80,81 | d | 101 | | | |
| 1,25 | 53,33 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 19. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 sin fibras



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

8.2. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS SINTÉTICAS

En las siguientes tablas y Figuras se ilustran los resultados obtenidos con cinco (5) muestras, para concreto reforzado con fibras sintéticas.

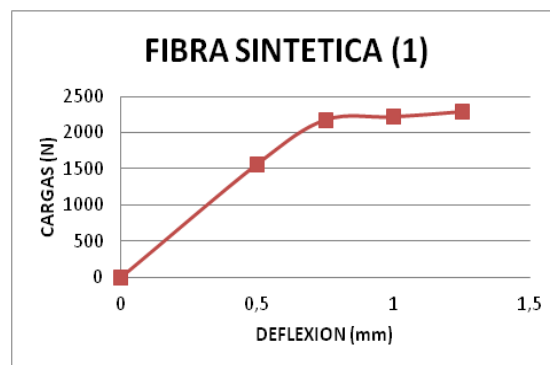
Para la muestra no. 1:

Tabla 19. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 con fibras sintéticas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 1567,84 | L | 300 | 2065,92 | 0,000288 | 0,60 |
| 0,75 | 2180,00 | b | 100 | | | |
| 1 | 2222,40 | d | 102 | | | |
| 1,25 | 2293,43 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 20. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 con fibras sintéticas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

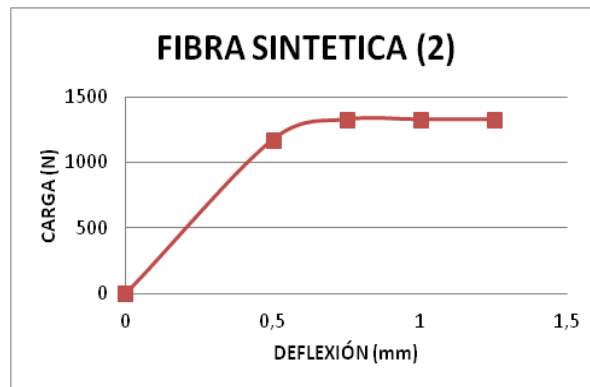
Para la muestra no. 2:

Tabla 20. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 con fibras sintéticas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 1173,48 | L | 300 | 1287,63 | 0,000297 | 0,38 |
| 0,75 | 1325,82 | b | 99 | | | |
| 1 | 1325,66 | d | 101 | | | |
| 1,25 | 1325,55 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 21. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 con fibras sintéticas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

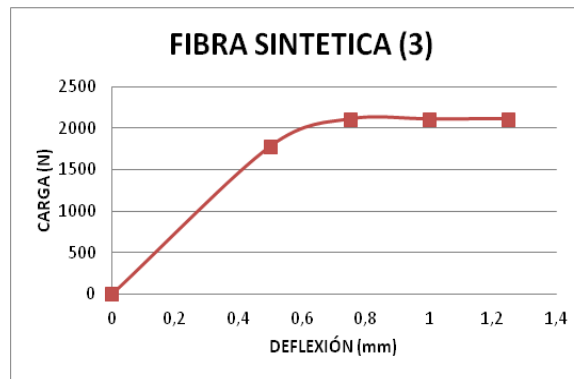
Para la muestra no. 3:

Tabla 21. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 con fibras sintéticas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 1782,88 | L | 300 | 2028,09 | 0,000303 | 0,61 |
| 0,75 | 2109,67 | b | 101 | | | |
| 1 | 2109,04 | d | 99 | | | |
| 1,25 | 2110,76 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 22. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 con fibras sintéticas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

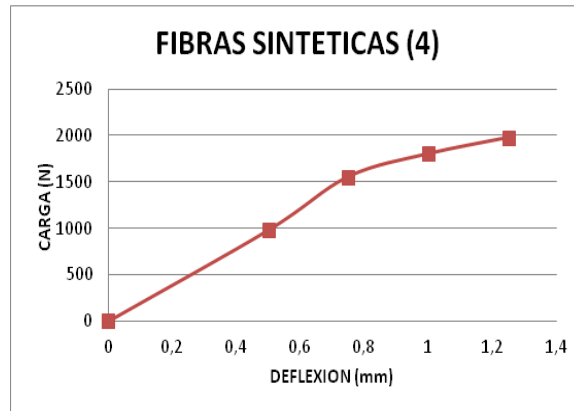
Para la muestra no. 4:

Tabla 22. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 con fibras sintéticas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 978,74 | L | 300 | 1576,56 | 0,000297 | 0,47 |
| 0,75 | 1553,48 | b | 101 | | | |
| 1 | 1800,24 | d | 100 | | | |
| 1,25 | 1973,78 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 23. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 con fibras sintéticas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

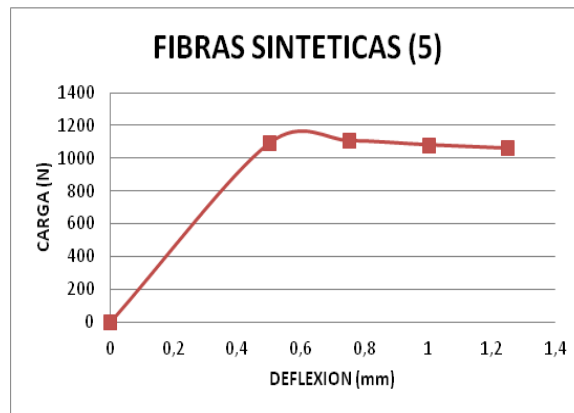
Para la muestra no. 5:

Tabla 23. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 con fibras sintéticas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 1094,57 | L | 300 | 1088,20 | 0,0003 | 0,33 |
| 0,75 | 1110,17 | b | 100 | | | |
| 1 | 1084,55 | d | 100 | | | |
| 1,25 | 1063,51 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 24. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 con fibras sintéticas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

8.3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS METÁLICAS

En las siguientes tablas y Figuras se ilustran los resultados obtenidos con cinco (5) muestras, para concreto reforzado con fibras metálicas.

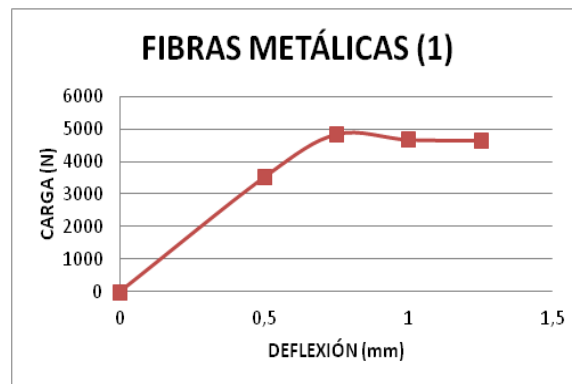
Para la muestra no. 1:

Tabla 24. Cálculo esfuerzo residual muestra 1 con fibras metálicas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 3525,34 | L | 300 | 4426,88 | 0,000303 | 1,34 |
| 0,75 | 4846,43 | b | 101 | | | |
| 1 | 4679,27 | d | 99 | | | |
| 1,25 | 4656,48 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 25. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 1 con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

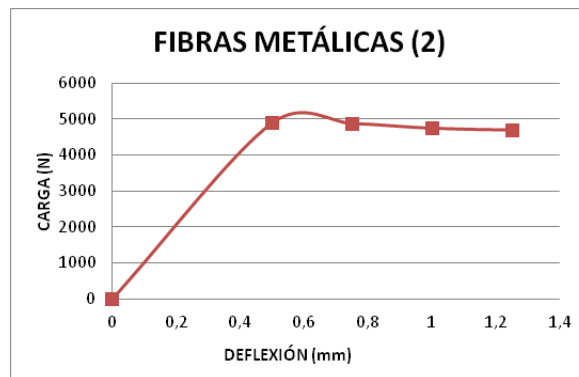
Para la muestra no. 2:

Tabla 25. Cálculo esfuerzo residual muestra 2 con fibras metálicas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 4895,89 | L | 300 | 4811,01 | 0,00029 | 1,41 |
| 0,75 | 4887,44 | b | 99 | | | |
| 1 | 4755,36 | d | 102 | | | |
| 1,25 | 4705,36 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 26. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 2 con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

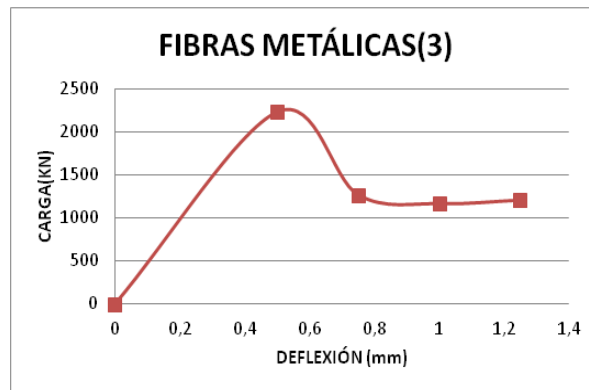
Para la muestra no. 3:

Tabla 26. Cálculo esfuerzo residual muestra 3 con fibras metálicas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 2227,54 | L | 300 | 1465,37 | 0,000297 | 0,43 |
| 0,75 | 1266,13 | b | 101 | | | |
| 1 | 1162,75 | d | 100 | | | |
| 1,25 | 1205,05 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 27. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 3 con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

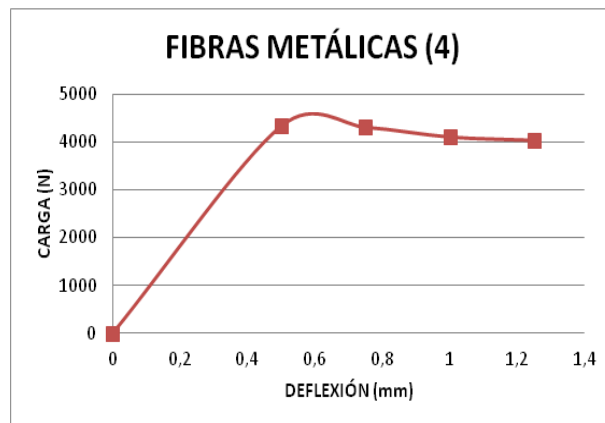
Para la muestra no. 4:

Tabla 27. Cálculo esfuerzo residual muestra 4 con fibras metálicas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 4327,14 | L | 300 | 4188,94 | 0,000294 | 1,24 |
| 0,75 | 4301,31 | b | 100 | | | |
| 1 | 4098,95 | d | 101 | | | |
| 1,25 | 4028,37 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 28. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 4 con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

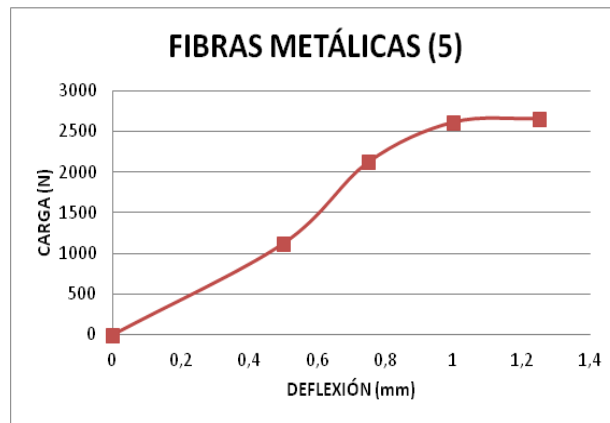
Para la muestra no. 5:

Tabla 28. Cálculo esfuerzo residual muestra 5 con fibras metálicas

| (1) DEFLEXION DE LA VIGA (mm) | (2) CARGAS DE LA CURVA DE RECARGA (N) | DIMENSIONES DE LA VIGUETA(mm) | | (5) CARGA RESIDUAL PROMEDIO (N) | (6) $K=L/(bd^2)$ (mm ⁻²) | (7) ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (Mpa) (5)*(6) |
|--|---|----------------------------------|-------------------------|---|--|---|
| | | (3) ARISTA | (4) LONGITUD (mm) | | | |
| 0,5 | 1120,00 | L | 300 | 2127,10 | 0,000294 | 0,63 |
| 0,75 | 2121,38 | b | 100 | | | |
| 1 | 2610,56 | d | 101 | | | |
| 1,25 | 2656,48 | | | | | |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 29. Curva Carga (N) vs deflexión (mm) muestra 5 con fibras metálicas



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

8.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

Teniendo en cuenta que los ensayos realizados tuvieron en cuenta el dato del esfuerzo residual para cada una de las mezclas requeridas, es decir, concreto simple, concreto reforzado con fibras sintéticas y concreto reforzado con fibras metálicas se busca visualizar el incremento que las fibras ejercen en la absorción de energía generando mayor ductilidad en los elementos ensayados.

Para tal fin se promediaron los datos obtenidos de Esfuerzo Residual Promedio en cada una de las mezclas, cabe mencionar que las dosificaciones realizadas en las viguetas fueron por sugerencia técnica de los fabricantes.

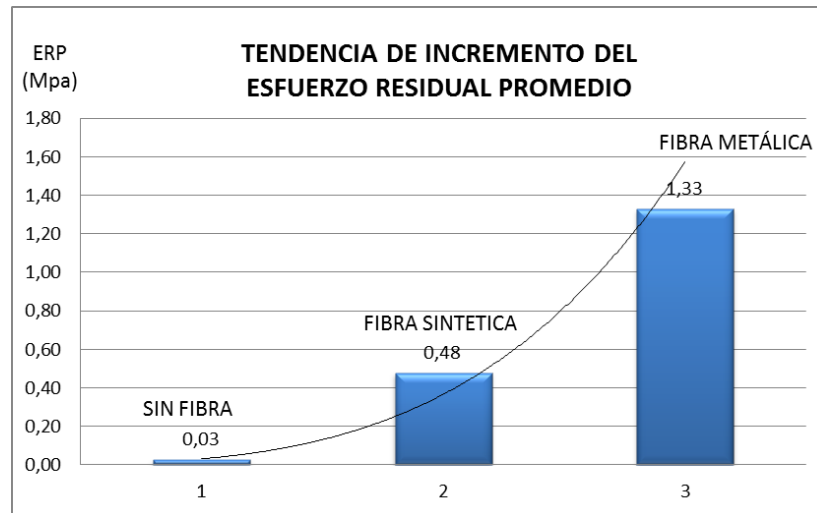
Para el cálculo del promedio no se tuvo en cuenta el resultado de las muestra 3 de concreto simple, ni de las muestras 3 y 5 de concreto reforzado con fibras metálicas, ya que los valores están muy alejados de los promedios (valores dispersos), por lo cual se toma la determinación de retirarlos para efecto del análisis.

Tabla 29. Promedio de valores de Esfuerzo residual promedio (ERP)

| MUESTRA | ESFUERZO RESIDUAL PROMEDIO (MPa) | | |
|---------|-------------------------------------|------------------|----------------|
| | SIN FIBRA | FIBRA SINTENTICA | FIBRA METALICA |
| 1 | 0,02 | 0,60 | 1,34 |
| 2 | 0,04 | 0,38 | 1,41 |
| 3 | 0,51 | 0,61 | 0,43 |
| 4 | 0,02 | 0,47 | 1,24 |
| 5 | 0,03 | 0,33 | 0,63 |
| | 0,03 | 0,48 | 1,33 |

Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Figura 30. Representación gráfica del incremento del esfuerzo residual



Fuente: Elaboración propia. Junio 2012

Como se puede observar en la gráfica, es considerable el incremento del valor en el esfuerzo residual en las fibras sintéticas con respecto al concreto simple y aun en mayor proporción con respecto a las fibras metálicas, se puede establecer que el adicionar fibras al concreto mejora sustancialmente el comportamiento post fisuramiento mejorando de esta forma su ductilidad.

Dado que el objeto de este estudio es establecer la diferencia entre tres tipos de mezclas, no se consideró variabilidad en las dosificaciones, únicamente se tomó la dosificación recomendada por el fabricante de cada una de las fibras (sintéticas y metálicas).

Se advierte que la absorción de energía que hace el concreto, considerando hasta la aparición de la primera fisura, es pequeña en comparación a la energía que absorbe la fibra en su interior.

De la Figura 30 se observa que la línea de tendencia es una línea de una ecuación polinómica, por lo cual se puede establecer que el incremento del valor del esfuerzo residual entre las viguetas de fibras sintéticas y las metálicas es considerable y esto nos lleva a decir que el comportamiento del concreto fibroreforzado controlará de buena forma las sollicitaciones después del fisuramiento, esto nos puede ayudar en el mantenimiento rutinario y periódico de los pavimentos de concreto.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de vigas prismáticas, se puede concluir que la variación en el valor del esfuerzo residual es creciente del orden potencial, ya que se encontró esta relación mediante el incremento de fibras en el concreto.
- Mediante el uso de fibras de polipropileno se reduce las pequeñas fisuras por contracción que se desarrollan en el concreto, durante las primeras 24 horas se originan por contracción plástica o por secado, la primera ocurre antes que el concreto alcance su endurecimiento inicial y la segunda ocurre después del endurecimiento del concreto.
- Con respecto a la resistencia del concreto, se evidencia que las fibras no aportan para aumentar esta propiedad, por este motivo el análisis realizado es de otra propiedad, en este caso el esfuerzo residual.
- Las fibras sintéticas son aplicables para usos no estructurales, las solicitaciones importantes deben ser asumidas por los refuerzos tradicionales, pero se debe tener en cuenta que las fibras sintéticas mejoran el comportamiento en casos de microfisuración ocasionada por efectos de temperatura, fraguado, endurecimiento o contracción y expansión térmica.
- Se evidencia que el incremento del valor del esfuerzo residual es del orden potencial, lo que nos lleva a concluir que los concretos fibro reforzados se comportaran de mejor forma que los concretos sin refuerzo, lo que nos ayudará en el tema de mantenimiento rutinario y periódico de los pavimentos de concreto.
- Las fibras sintéticas nos ayudan en mayor rango al control de fisuramiento donde las cargas no sean notables, las metálicas son usadas en mayor proporción para controlar los mismos fenómenos pero tiene mejor comportamiento en cargas mayores, por ello son utilizadas en pisos industriales donde las solicitaciones son grandes y constantes.
- La falla de las viguetas 1 y 4 es total, ya que presenta desportillamientos y la fisura es muy ancha.
- Si se presenta este tipo de falla en un pavimento no sería viable rehabilitarlo.
- Las fallas en las viguetas 2 y 5 reforzadas con fibras sintéticas, tienen una falla sutil de poca separación.

- Las fallas de las viguetas 3 y 6 reforzadas con fibras metálicas, tienen poca separación y no presentan desportillamientos.
- En un pavimento de concreto reforzado con fibras sintéticas y metálicas que presenten este tipo de fisura, continua trabajando por trabazón de agregados, lo cual equivale a más tiempo en servicio y disminución en costos de mantenimiento o reparación total.
- El tipo de fisura que se presento en las Viguetas reforzadas tanto con fibras sintéticas como metálicas requiere un tratamiento superficial de sellamiento, el cual es mucho más económico que una reparación parcial o total
- Los valores de densidad aparente y de densidad nominal están dentro del rango lo que quiere decir, que por lo menos en su formación, el agregado puede considerarse para llevar a cabo mezclas de hormigón⁹.
- La relación agua/cemento es el principal factor que se debe cuidar en el diseño de mezclas ya que afecta de manera directa a la contracción por secado, teniendo efectos negativos sobre el $f'c$ de diseño así como las condiciones futuras del concreto¹⁰.
- Es de vital importancia en el diseño de mezclas de concreto realizar ensayos abrasivos a los agregados donde determina si son o no aptos para la obra que se desea proyectar en función del trabajo de fricción a la que estará sometida.
- Este ensayo es importante porque con él puede conocerse la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples, pavimentos entre otras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas, en función de los agregados empleados.
- Es importante conocer la masa unitaria del agregado para seleccionar las proporciones adecuadas para el diseño de mezclas de concreto y para tener una idea del efecto que puede crear un determinado agregado en una mezcla para concreto.

BIBLIOGRAFÍA

DÍAZ MARTÍNEZ, Faustino. "Análisis experimental de la contracción por secado en mezclas de concreto hidráulico". Internet: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/

EUCLID CHEMICAL. Synthetic macro fiber. Internet: http://www.euclidchemical.com/product_detail.asp?id=185&pselect=145

MARSON FRANCO, Bruno Luis. Maccaferri. I Reunión del concreto 2010. Aplicación de microfibras en concretos y morteros.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá, D.C.: Bhandar Editores Ltda., 2001. 394 P.

SIKA. "Sika Informaciones técnicas – Concreto reforzado con fibras". Internet: <http://es.scribd.com/doc/63523105/SIKA-FIBRA>

BALLENA DEL RÍO, Pedro Manuel. Dosificación y diseño de mezclas del concreto. Lima: Universidad Señor de Sipan, 2011. 27 P.

AGRADECIMIENTOS

Al Director del presente trabajo, Ingeniero Rodrigo Salamanca, quien con sus conocimientos, experiencia y criterio nos guio con asertividad en el desarrollo y culminación de este proyecto.

Al Ingeniero Diego Correal, director de la especialización quien nos aportó todos los fundamentos para desarrollar con éxito la temática de la especialización y quien nos insistió con vehemencia la importancia que tiene crecer académicamente con principios y valores éticos.

A los Ingenieros Juan Carlos Acero, Gerente comercial de Toxement, Roberto Rodrigo, Ingeniero de soporte de MACCAFERRI, Omar Blanco Director de agregados de la planta de CEMEX Colombia, el Ingeniero Diego Jaramillo y Nelson Hernández Director del Laboratorio de ASOCRETO, nos aportaron todo el soporte técnico y materiales para lograr que este trabajo fuera una realidad.