

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO CON ADICIONES
DE FIBRA

ANDRES GUILLERMO PARRA LOPEZ
MARCO FIDEL PARRA MEJIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2007

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO CON ADICIONES
DE FIBRA

ANDRES GUILLERMO PARRA LOPEZ
MARCO FIDEL PARRA MEJIA

Tesis para optar al título de
Ingeniero Civil

Director
EDUARDO CASTAÑEDA PINZON
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2007

RESUMEN

TITULO: COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO CON ADICIONES DE FIBRA. *

**AUTOR: MARCO FIDEL PARRA MEJIA
ANDRES GUILLERMO PARRA. ****

PALABRAS CLAVES: Fuerzas de adhesión, fibra, concreto.

El objetivo de este proyecto es continuar los estudios en materiales de construcción que sean económicos y durables. Las fibras de acero y de vidrio, son alternativas viables pero costosas. Las fibras naturales pueden ser una posibilidad real para los países en desarrollo, ya que están disponibles en grandes cantidades y representan una fuente renovable continua.

El estudio comienza con una caracterización de la fibra de fique, determinando sus propiedades mecánicas tales como la resistencia a la tensión y el modulo de elasticidad, posteriormente se determina la fuerza de adhesión que existe entre la fibra de fique y el mortero, por ultimo se realizan unos modelos de probetas a compresión con mortero normal, tensión con mortero normal y mortero reforzado, flexión con mortero normal y mortero reforzado. Teniendo como resultado una idea mas clara de la interacción entre estos dos materiales y aportando un granito de arena para las próximas investigaciones en este campo, para obtener un artículo completo de este nuevo material, ya que puede ser una posibilidad de desarrollo para poblaciones vulnerables.

Al final de la investigación se hace un análisis detallado del comportamiento del mortero, sin embargo el mayor aporte que puede hacer esta investigación es la determinación de las fuerzas de adhesión entre el mortero y la fibra, para poder mejorar el modelamiento y la confianza de los constructores y diseñadores en este tipo de compuestos.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil
Director: Ing. Civil Castañeda, Eduardo.

ABSTRACT

TITLE: CONCRETE WITH ADDITIONS OF FIBER

**AUTHORS: MARCO FIDEL PARRA MEJIA
ANDRES GUILLERMO PARRA. ****

KEYWORDS: Adhesion strength, concrete, fiber.

The objective of this project is to continue the studies in building supplies that are economic and durable. The steel fibers and of glass are alternative viable but expensive. The natural fibers can be a real possibility for the developing countries, since they are available in big quantities and they represent a continuous renewable source.

The study begins with a characterization of the fique fiber, determining its such as mechanical estates the tension resistance and the elasticity module, later on we determine the strength of adhesion that exists between the fique fiber and the mortar, finally some models of test tubes are carried to compression with normal mortar, tension with normal mortar and reinforced mortar, flexion with normal mortar and reinforced mortar. Having an idea as a result with the interaction among these two materials and contributing a grain of sand for the next investigations in this field, to obtain a complete material study of this new one, since it can be a development possibility for vulnerable populations.

In the final of this investigation has got a annalist detailed the comport a mortar, nevertheless the major contribute that this investigation can be done is the determination of the strength of adhesion between the mortar and the fiber, to be able to improve the models and the confidence of the builders and designers in this type of composed.

* Undergraduate Thesis

** Faculty of physic – Mechanical Engineering. School of Civil Engineering.
Director: Civil Eng. Castañeda, Eduardo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto queremos agradecer a todos aquellos que creyeron en nuestras capacidades y que a pesar de nuestras decaídas, nos dieron apoyo, principalmente a nuestros padres, quienes con sus consejos nos guiaron en el camino correcto, sin embargo sin la ayuda y guía de nuestro director Eduardo Castañeda no hubiese sido posible esta investigación.

También queremos agradecer a los directivos y técnicos de las empresas, TESICOL y EXTRUCOL, puesto que con su ayuda y colaboración pudimos obtener resultados satisfactorios en sus laboratorios.

Finalmente agradecemos la colaboración de los laboratoristas de la Universidad Industrial de Santander, en especial a Jairo Hernández ya que su colaboración fue muy importante.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. MARCO TEORICO	14
1.1 MATERIALES COMPUESTOS	14
1.1.1 Materiales compuestos reforzados con fibras	15
1.2 FASE MATRIZ	17
1.3 FASE FIBROSA.	18
1.4 EL FIQUE	19
1.5 LA FIBRA DE FIQUE	20
1.6 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES	21
2. CARACTERIZACIÓN MECANICA DE LA FIBRA DE FIQUE	24
2.1 RESISTENCIA ÚLTIMA DE LA FIBRA DE FIQUE.	24
2.2 MODULO DE ELASTICIDAD DE LA FIBRA DE FIQUE	31
3. FUERZA DE ADHESION ENTRE EL MORTERO Y LA FIBRA DE FIQUE	35
4. ENSAYOS EN CONCRETOS Y MORTEROS REFORZADOS CON FIBRAS	42
4.1 ENSAYO DE COMPRESION. Norma ICONTEC 220.	42
4.2 ENSAYO DE TENSION. Norma ICONTEC 119.	44
4.3 ENSAYO DE FLEXION. Norma ICONTEC 120	49
5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS	53
5.1 CLASIFICACIÓN MECANICA DE LA FIBRA DE FIQUE	53
5.1.1 Resistencia última a tensión de la fibra de fique	53
5.1.2 Esfuerzo último a tensión de la fibra de fique	54
5.1.3 Modulo de elasticidad de la fibra de fique	54
5.2 FUERZA DE ADHESION ENTRE EL MORTERO Y LA FIBRA DE FIQUE	55
5.3 PROPIEDADES MECANICAS DEL MORTERO NORMAL Y REFORZADO	56
5.3.1 Resistencia a la compresión del mortero normal	56
5.3.2 Resistencia a la tensión del mortero normal y mortero reforzado	56

5.3.3 Resistencia a la flexión del mortero normal y mortero reforzado	57
6. ANALISIS DE LA FALLA A TENSION Y FLEXION DE LAS PROBETAS DE MORTERO NORMAL Y MORTERO REFORZADO	59
6.1 FALLA A TENSION	59
6.2 FALLA A FLEXION	60
7. MODELOS PARA CALCULAR EL ESFUERZO A TENSION Y EL ESFUERZO A FLEXION EN EL MORTERO REFORZADO	61
7.1 MODELO A TENSION DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE	61
7.2 MODELO A FLEXION DEL MORTERO REFORZADO CON LA FIBRA DE FIQUE	66
8. CONCLUSIONES	70
9. RECOMENDACIONES	73
BIBLIOGRAFIA	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. Resistencia ultima a tensión de la fibra de fique.	25
TABLA 2. Esfuerzos últimos a tensión de la fibra de fique	28
TABLA 3. Variación de la elongación con la carga a tensión.	32
TABLA 4. Fuerzas de adhesión entre la fibra de fique y el mortero (edad de las probetas 7 días).	36 36
TABLA 5. Variación de la fuerza de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra	40
TABLA 6. Variación del esfuerzo de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra.	41
TABLA 7. Resistencia a la compresión del mortero normal a los 7 días	43
TABLA 8. Resistencia a tensión de mortero normal. Edad 7 días	46
TABLA 9. Resistencia a tensión de mortero reforzado. Edad 7 días	46
TABLA 10. Resistencia a flexión del mortero normal a los 7 días	50
TABLA 11. Resistencia a flexión del mortero reforzado a los 7 días.	50
TABLA 12. Resistencia teórica de las probetas reforzadas a tensión	65
TABLA 13. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico.	65
TABLA 14. Resistencia teórica de las probetas reforzadas a Flexión.	68
TABLA 15. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Clasificación de los materiales compuestos (Callister, 1996).	15
FIGURA 2. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción	16
FIGURA 3. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar.	17
FIGURA 4. Algunas ilustraciones del proceso del fique.	20
FIGURA 5. Detalles sobre la variación del diámetro en la fibra de fique.	21
FIGURA 6. Instrumentos utilizados para determinar la resistencia a la tensión de la fibra de fique	24
FIGURA 7. Instrumentos utilizados para medir el diámetro de la fibra de fique	25
FIGURA 8. Variación de la carga ultima a tensión de la fibra de fique con el diámetro.	27
FIGURA 9. Variación de la elongación última de la fibra de fique con el diámetro.	27
FIGURA 10. Variación del esfuerzo ultimo a tensión de la fibra de fique con el diámetro	30
FIGURA 11. Algunos detalles del ensayo para determinar el modulo de elasticidad de la fibra de fique.	31
FIGURA 12. Variación del esfuerzo a tensión con la deformación unitaria (Diámetro promedio de 0.22, 0.19, 0.18 mm).	34
FIGURA 13. Detallas del montaje del ensayo para las fuerzas de adhesión	35
FIGURA 14. Variación de la fuerza de adhesión entre la fibra de fique y el mortero con el diámetro de la fibra (para profundidades de anclaje de (1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5) cm.).	38

FIGURA 15. Variación del esfuerzo de adhesión con el diámetro de la fibra (Para profundidades de anclaje de (1.0, 1.5, 2.0, 2.5) cm.).	39
FIGURA 16. Variación de la fuerza de adhesión con la profundidad de anclaje de la fibra	40
FIGURA 17. Variación del esfuerzo de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra.	41
FIGURA 18. Detalles del ensayo a compresión del mortero	43
FIGURA 19. Probeta para el ensayo a compresión del mortero	43
FIGURA 20. Detalles del ensayo a tensión.	44
FIGURA 21. Detalle geométrico de la probeta reforzada a tensión	45
FIGURA 22. Comparación de los esfuerzos últimos a tensión del mortero normal y el mortero reforzado a los 7 días.	48
FIGURA 23. Detalles del ensayo a flexión.	49
FIGURA 24. Detalle geométrico de la probeta reforzada con fibra de fique (la fibra tiene una longitud de 140 mm.).	49
FIGURA 25. Comparación de los esfuerzos últimos a flexión del mortero normal y el mortero reforzado a los 7 días.	52
FIGURA 26. Falla típica a tensión.	60
FIGURA 27. Falla típica a flexión	60
FIGURA 28. Resistencia total a tensión de un material reforzado con fibra	62
FIGURA 29. Variación de la Fuerza de adhesión Vs Diámetro promedio a una profundidad de 2.0 cm.	63
FIGURA 30. Variación de la carga ultima Vs diámetro promedio	64
FIGURA 31. Resistencia total a Flexión de un material reforzado con fibra.	66
FIGURA 32. Relación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico.	68
FIGURA 33. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico	69

INTRODUCCION

El desarrollo de nuevos materiales es una tarea de los profesionales del campo de la construcción, esto requiere de investigación y dedicación, con este proyecto se espera aportar un granito de arena a esta tarea, este objetivo se logra a través del tiempo, para el caso del concreto reforzado con fique, el cual es la temática del proyecto, se requiere de un estudio detallado y secuencial que podrían retomar nuevos investigadores tomando como base este proyecto donde se consignan los primeros pasos de lo que muy seguramente será un aporte completo a la ciencia de los nuevos materiales en un futuro no muy lejano.

La actividad ficquera se encuentra bajo los parámetros típicos de una economía campesina; alto índice de subempleo, desempleo y bajos ingresos económicos de la familia productora. En Santander hay cerca de 3.865 familias cultivadoras de fibra de fique, en municipios como: Mogotes, Onzaga, San Joaquín, Aratocha, Curítí, Cepitá, San Gil, entre otros, los cuales utilizan el fique para productos artesanales, lo que quiere decir que el fique como producto para la construcción aumentaría la demanda y beneficiaría a miles de familias no solo en Santander sino en algunas regiones de Colombia.

Las adiciones de fibra de fique aumentan la tenacidad del compuesto, además proporcionan al concreto ductilidad y capacidad de absorber energía (Mehta y Monteiro, 1998). El propósito de este estudio consiste en determinar las fuerzas existentes entre la fibra de fique y el mortero, y así determinar las propiedades mecánicas del mortero normal mediante ensayos de compresión, tensión y flexión, con el análisis de los resultados se puede asegurar que el mortero reforzado con fibra de fique aumenta la resistencia a la tensión y flexión.

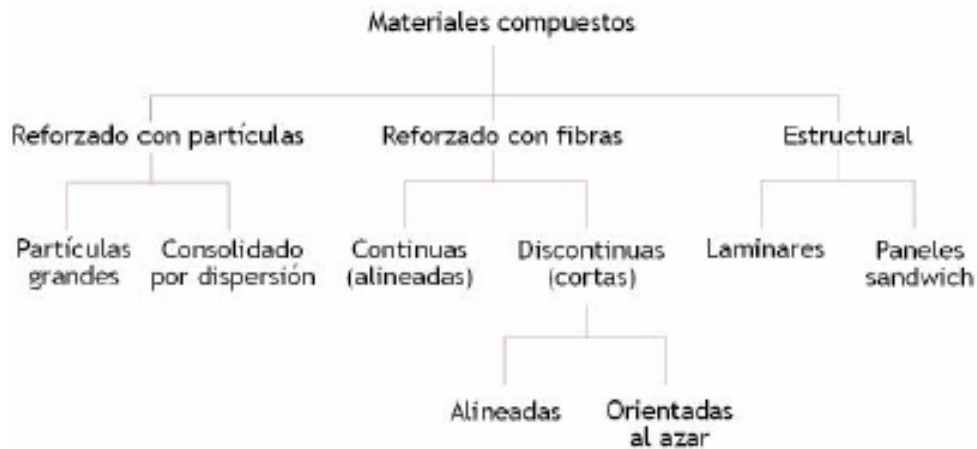
1. MARCO TEORICO

1.1 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales aglomerantes, en la forma de hormigones o morteros, son atractivos para su uso como materiales de construcción, dado su bajo costo, su durabilidad y su resistencia a la compresión para uso estructural. Adicionalmente, en el estado fresco ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas. Su defecto radica en sus características de baja resistencia a la tracción, a los impactos, y a su susceptibilidad a los cambios de humedad. La adición de fibras como refuerzo de hormigones, morteros y pasta de cemento pueden incrementar muchas de las propiedades de éstos, destacando entre ellas, la resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, permeabilidad y resistencia a la abrasión.

Las combinaciones de propiedades de los materiales y la gama de sus valores se han ampliado, y se siguen ampliando, mediante el desarrollo de materiales compuestos (composites). En términos generales, se considera que un material compuesto es un material multifase que conserva una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes de manera que presente la mejor combinación posible. De acuerdo con este principio de acción combinada, las mejores propiedades se obtienen por la combinación razonada de dos o más materiales diferentes. El siguiente esquema clasifica los materiales compuestos según la adición.

FIGURA 1. Clasificación de los materiales compuestos (Callister, 1996).

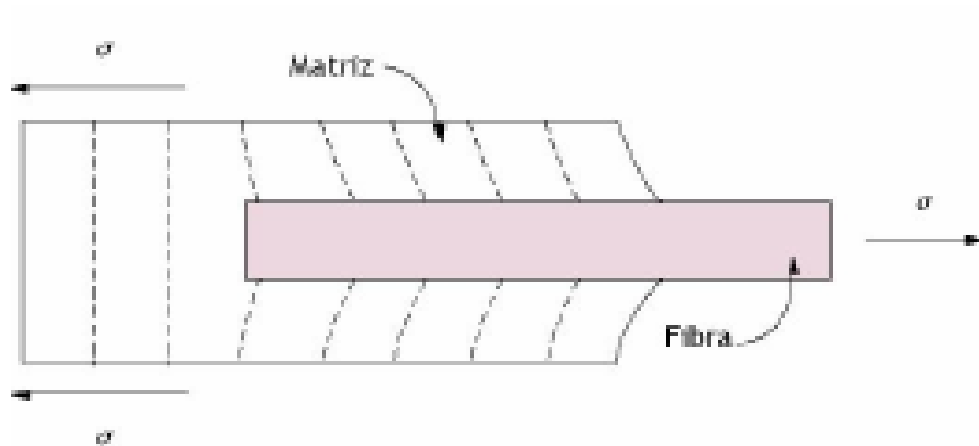


1.1.1 Materiales compuestos reforzados con fibras. Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros de resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados.

- **Influencia de la longitud de la fibra.** Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras no sólo dependen de las propiedades de la fibra, también dependen de la forma en que una carga se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante que la fuerzas de adhesión entre la interfaz fase matriz y fibra sea suficiente para soportar los esfuerzos de tracción. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se

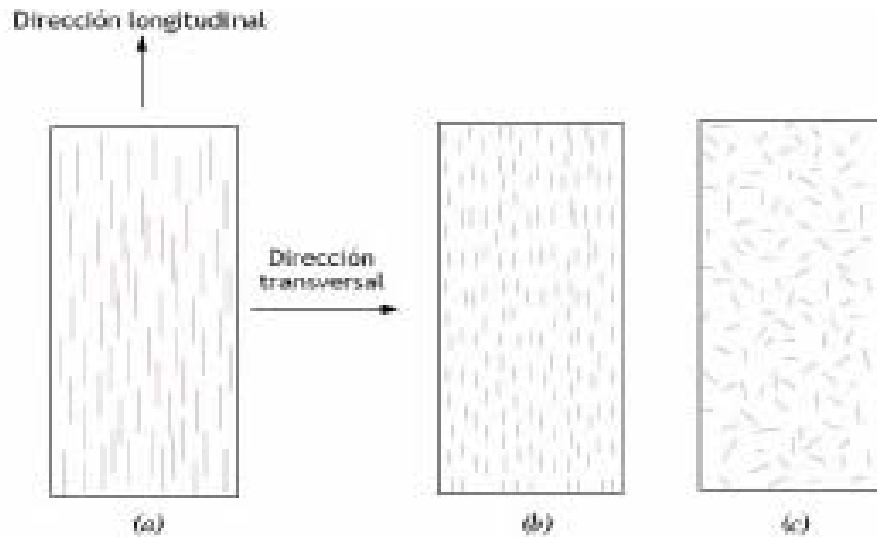
forma un patrón de deformación, en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga.

FIGURA 2. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción



- **Influencia de la orientación y de la concentración de la fibra.** La disposición u orientación relativa de las fibras, su concentración y distribución influyen radicalmente en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas: (1) alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras y (2) alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean, mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear, orientar al azar o alinearse parcialmente.

FIGURA 3. Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar.



Las consideraciones sobre la orientación y la longitud de las fibras de un compuesto particular dependen del nivel, de la naturaleza del esfuerzo aplicado y del costo de fabricación. Las velocidades de producción de compuestos con fibras cortas (alineadas y orientadas al azar) son rápidas y se pueden conformar piezas de formas intrincadas que no son posibles con refuerzos de fibras continuas. Además, los costos de fabricación son muchos más bajos que en el caso de compuestos reforzados con fibras continuas y alineadas.

1.2 FASE MATRIZ

La fase matriz de un material compuesto con fibras ejerce varias funciones. En primer lugar, une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. Además, la matriz debe ser dúctil y, por otra

parte, el módulo elástico de la fibra debe ser mucho mayor que el de la matriz. En segundo lugar, la matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. Estas interacciones introducen defectos superficiales capaces de originar grietas, que podrían producir fallos con esfuerzos de tracción relativamente bajos. Finalmente, la matriz separa las fibras y, en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de una fibra a otra, que originaría fallos catastróficos; en otras palabras, la matriz actúa como una barrera que evita la propagación de grietas. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes.

Es esencial que la adherencia de la unión entre fibra y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. En efecto, la resistencia de la unión tiene gran importancia en el momento de seleccionar la combinación matriz-fibra. La resistencia a la tracción final del compuesto depende, en gran parte, de la magnitud de esta unión; una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la matriz a las fibras.

1.3 FASE FIBROSA.

Una importante característica de muchos materiales, especialmente los frágiles, es que las fibras con diámetros pequeños son mucho más resistentes que el material macizo. Por lo tanto, la probabilidad de que se presente una imperfección superficial crítica que conduzca a la rotura disminuye cuando aumenta el volumen específico. Este fenómeno se utiliza con ventaja en los compuestos reforzados con fibras. El material utilizado como fibra de refuerzo debe tener alta resistencia a la tracción.

1.4 EL FIQUE

El fique es una planta originaria de América Tropical, se cultivo de manera particular en las zonas andinas de Colombia, Venezuela y Ecuador, en nuestro país su siembra se realiza en la parte alta de la sierra templada y fría. Su cultivo es óptimo en climas templados y secos, en temperaturas que oscilan entre los 19° y 32° centígrados con una humedad relativa entre 70y 90%, y una pluviosidad de 300 a 1600 mm. anuales, a una altitud entre 1300 y 2800 m.s.n.m. De acuerdo al reporte de las URPAS Y UMATAS, en el año 2002, la participación departamental de la producción nacional ubico a Cauca, como el primer productor de fique en el país, al señalar una participación de 39.9 % sobre el total producido, seguido de los departamentos de Santander, Nariño y Antioquia, como los más representativos.

En Colombia las especies cultivadas y aprovechadas como textiles son Furcracea Macrophylla, Furcracea Cabuya, Furcracea Castilla. Desde hace varios siglos se ha extraído la fibra de fique, con el fin de emplearla en la elaboración de productos artesanales. Sin embargo la rentabilidad de estos cultivos sigue siendo poca atractiva para el agricultor; por esta razón se hace necesario adelantar proyectos de investigación que estén orientados a mejorar los frentes de producción y aprovechamiento del fique.

FIGURA 4. Algunas ilustraciones del proceso del fique.



1.5 LA FIBRA DE FIQUE

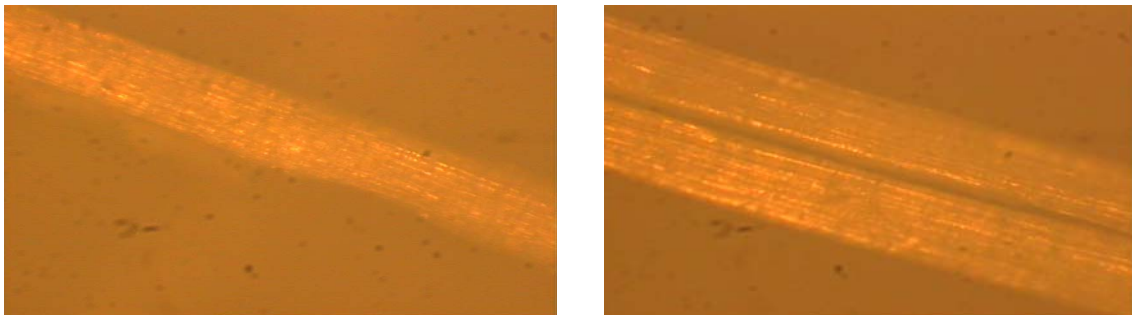
Las fibras vegetales están constituidas por ligamentos fibrosos, que a su vez se componen de microfibrillas dispuestas en capas de diferentes espesores y ángulos de orientación, las cuales son ricas en celulosa. Las diversas células que componen una fibra se encuentran aglomeradas por la mela intercelular, compuesta por hemicelulosa, peptina y principalmente lignina. La región central de la fibra también puede presentar una cavidad denominada lacuna. Las lacunas y los lúmenes son responsables de la gran incidencia de poros permeables en las fibras, ya que absorben una elevada cantidad de agua (Agopyan y Savastano).

Las fibras de fique son duras, pues provienen de los haces vasculares, principalmente del xilema. Los haces mecánicos del fique están constituidos de fibras elementales o fibrillas, soldadas entre sí como una cera o goma. Las extremidades de estas fibrillas se superponen para formar unos largos filamentos multicelulares a lo largo de la hoja; dichos filamentos pluricelulares son las “fibras”.

Las fibras de fique son llamadas fibras “estructurales” por que su principal función es sostener y dar rigidez a las hojas. Cuando se extraen, se presentan en forma de ejes más o menos largos (0.50 a 3.0 m) y de espesor variable (1/10 a 1/3 mm de diámetro), la sección transversal de la fibra en un mismo hilo es variable y por lo tanto siempre que se trate de señalar un diámetro, debe hablarse de diámetro promedio. A continuación se muestran imágenes logradas con un microscopio dispuesto por la escuela de física de la Universidad Industrial de Santander.

1.6 CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES

FIGURA 5. Detalles sobre la variación del diámetro en la fibra de fique.



Desde que las fibras de asbesto fueron relacionadas con potenciales peligros para la salud (Coutts, 1998), se inició la búsqueda de posibles sustitutos que le proporcionan al concreto las propiedades tan favorables que el asbesto le daba, y que además fuesen competitivos en calidad y precio. Las fibras de acero, de vidrio y mas recientemente las de polipropileno, con alternativas viables para reforzar el concreto.

Existe otro grupo conocido como las Fibras Naturales o vegetales que han sido motivo de diversos estudios para su posible aplicación en este propósito. Materiales reforzados con fibras naturales se pueden obtener a un bajo costo

usando la mano de obra disponible en la localidad y las técnicas adecuadas para su obtención.

A finales de los años 60, se llevo a cabo en varios países una evaluación sistemática de las propiedades ingenieriles de las fibras naturales y de los compuestos formados por estas fibras con el cemento. Los resultados de las investigaciones indicaron que algunas fibras naturales pueden ser usadas con éxito para fabricar materiales de construcción.

La capacidad de refuerzo de una fibra depende del grado en que los esfuerzos pueden transferirse desde la matriz, grado que a su vez está regido por las características intrínsecas de la fibra, como: resistencia a la tensión mayor que la resistencia de la matriz; capacidad de resistir deformaciones muy superiores a la deformación en que la matriz se agrieta; módulo de elasticidad alto para aumentar el esfuerzo que soporten en un elemento bajo carga, siempre y cuando las fibras y la matriz se conserven totalmente adheridas; adherencia adecuada con la pasta de cemento; relación longitud / diámetro adecuada para que conserve su capacidad de absorción de esfuerzos.

Los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que una grieta que se mueva a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar con el proceso de fractura. Además, una mala unión ocasiona que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, e incrementan, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al iniciarse la grieta en la matriz, fibras aun no rotas pueden formar un puente sobre la grieta, lo cual proporciona un esfuerzo compresivo que evita que la grieta se abra.

De acuerdo con Delvasto, los materiales cementicios reforzados con fibras vegetales pueden presentar los siguientes problemas: alta alcalinidad de la pasta (pH 12 – 13), que deteriora con el tiempo las fibras naturales celulósicas por lixiviación de los componentes ligantes de las celdas de su microestructura; mineralización en el interior de las fibras por precipitación de los productos de hidratación del cemento; deterioro de la fibra por aumento de la densificación de la interfase, y degradación de las propias cadenas de celulosa con el tiempo por ataque alcalino.

2. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA FIBRA DE FIQUE

Esta caracterización mecánica de la fibra de fique contiene la resistencia última a tensión, esfuerzos últimos a tensión y el modulo de elasticidad de la fibra de fique, estos son los parámetros mecánicos mas importantes que se determinaran a continuación, mediante la recopilación de datos obtenidos experimentalmente.

2.1 RESISTENCIA ÚLTIMA DE LA FIBRA DE FIQUE.

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la fábrica de tejidos de Colombia, TESICOL S.A. con autorización del ingeniero Cristóbal Reyes, gerente de calidad y la colaboración del laboratorista Cristian Jaimes. Para la realización de este ensayo se utilizo un Dinamómetro manual con una precisión de 0.1 Kg., el cual se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 6. Instrumentos utilizados para determinar la resistencia a la tensión de la fibra de fique.



Se tomaron 50 muestras de fibra de fique con una longitud de 90 cm. para considerar una propiedad de las fibras realizada en la industria de los tejidos el cual se denomina DENIER, este termino se refiere al peso de la fibra en gramos multiplicado por 10000, también se considero un diámetro promedio, producto de tres mediciones realizadas a la fibra instalada en el montaje de la prueba. El instrumento utilizado para medir el diámetro de la fibra de fique es el Calibrador digital KANON, facilitado por la escuela de ingeniería civil, el cual tiene una precisión de 0.01 mm, mostrado a continuación.

FIGURA 7. Instrumentos utilizados para medir el diámetro de la fibra de fique



TABLA 1. Resistencia ultima a tensión de la fibra de fique.

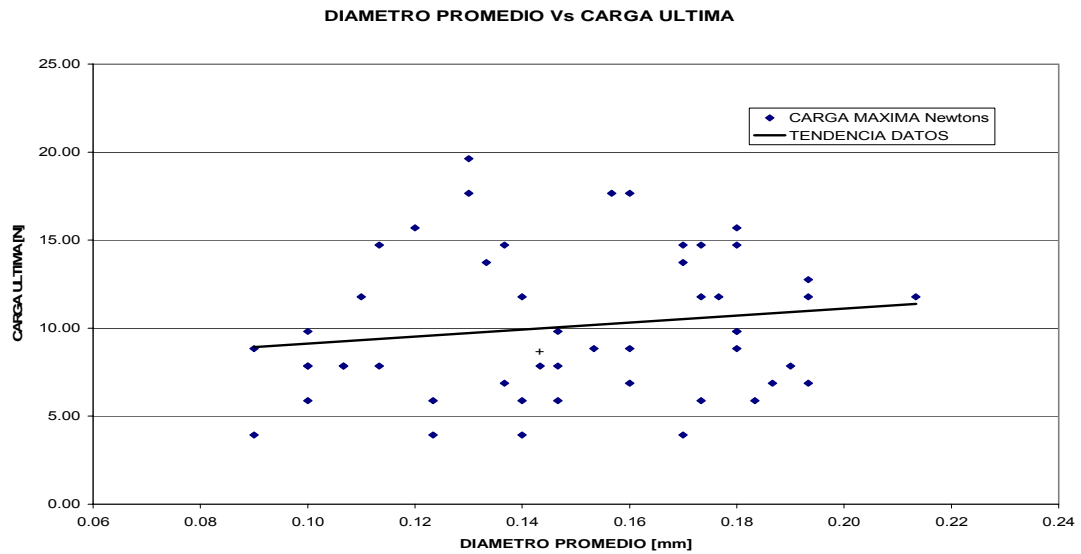
MUESTRA	DENIER*	PESO (gr)	DIAMETRO (mm)			Φ promedio (mm)	CARGA MAXIMA (Newton)	ELONGACION (%)
			Φ 1	Φ 2	Φ 3			
1	264	0.0264	0.15	0.29	0.20	0.21	11.77	6.00
2	309	0.0309	0.17	0.16	0.21	0.18	15.70	6.80
3	366	0.0366	0.15	0.17	0.15	0.16	17.66	6.00
4	299	0.0299	0.17	0.18	0.16	0.17	14.72	6.20
5	266	0.0266	0.20	0.15	0.16	0.17	3.92	6.00
6	270	0.027	0.24	0.16	0.18	0.19	6.87	5.80
7	190	0.019	0.16	0.17	0.19	0.17	5.89	7.40

8	165	0.0165	0.18	0.16	0.10	0.15	5.89	7.00
9	257	0.0257	0.15	0.19	0.17	0.17	13.73	6.40
10	250	0.025	0.24	0.15	0.19	0.19	11.77	6.00
11	256	0.0256	0.15	0.11	0.16	0.14	3.92	4.00
12	285	0.0285	0.15	0.21	0.18	0.18	9.81	5.20
13	243	0.0243	0.22	0.19	0.14	0.18	5.89	5.80
14	199	0.0199	0.18	0.17	0.19	0.18	8.83	7.00
15	274	0.0274	0.18	0.22	0.16	0.19	6.87	6.00
16	208	0.0208	0.16	0.17	0.21	0.18	9.81	6.00
17	186	0.0186	0.10	0.11	0.09	0.10	5.89	5.00
18	151	0.0151	0.09	0.11	0.07	0.09	3.92	3.80
19	173	0.0173	0.08	0.18	0.11	0.12	3.92	4.00
20	257	0.0257	0.19	0.11	0.13	0.14	7.85	5.40
21	290	0.029	0.24	0.12	0.10	0.15	8.83	5.40
22	191	0.0191	0.16	0.22	0.15	0.18	11.77	7.80
23	261	0.0261	0.17	0.19	0.16	0.17	11.77	6.00
24	243	0.0243	0.25	0.08	0.09	0.14	5.89	4.40
25	246	0.0246	0.09	0.10	0.08	0.09	8.83	6.00
26	200	0.02	0.17	0.15	0.10	0.14	11.77	7.20
27	316	0.0316	0.14	0.21	0.22	0.19	7.85	5.80
28	275	0.0275	0.12	0.13	0.09	0.11	7.85	5.00
29	284	0.0284	0.23	0.25	0.10	0.19	12.75	7.00
30	278	0.0278	0.16	0.11	0.10	0.12	5.89	3.60
31	248	0.0248	0.10	0.11	0.09	0.10	7.85	5.20
32	210	0.021	0.10	0.11	0.09	0.10	7.85	5.40
33	258	0.0258	0.11	0.13	0.09	0.11	11.77	6.80
34	429	0.0429	0.17	0.14	0.10	0.14	14.72	4.40
35	289	0.0289	0.21	0.15	0.08	0.15	9.81	4.60
36	282	0.0282	0.13	0.11	0.10	0.11	14.72	6.00
37	263	0.0263	0.19	0.12	0.09	0.13	13.73	7.20
38	287	0.0287	0.20	0.19	0.13	0.17	14.72	6.60
39	268	0.0268	0.12	0.23	0.13	0.16	8.83	5.00
40	181	0.0181	0.13	0.17	0.11	0.14	6.87	8.00
41	289	0.0289	0.23	0.20	0.11	0.18	14.72	7.20
42	239	0.0239	0.10	0.12	0.10	0.11	7.85	4.20
43	385	0.0385	0.14	0.21	0.13	0.16	17.66	5.60
44	260	0.026	0.10	0.10	0.09	0.10	9.81	5.20
45	278	0.0278	0.08	0.18	0.22	0.16	6.87	6.00
46	386	0.0386	0.12	0.13	0.13	0.13	19.62	6.00
47	357	0.0357	0.14	0.13	0.09	0.12	15.70	5.20
48	197	0.0197	0.16	0.17	0.11	0.15	7.85	5.40
49	368	0.0368	0.13	0.12	0.13	0.13	17.66	5.60
50	214	0.0214	0.13	0.07	0.12	0.11	7.85	4.00

***DENIER: peso de la fibra en gramos multiplicado por 10000**

A continuación se presenta la gráfica donde se ilustra la variación de la resistencia última a tensión con el diámetro promedio de la fibra de fique.

FIGURA 8. Variación de la carga ultima a tensión de la fibra de fique con el diámetro.



La elongación también varía con el diámetro promedio de la fibra, como se muestra en la siguiente grafica.

FIGURA 9. Variación de la elongación última de la fibra de fique con el diámetro.

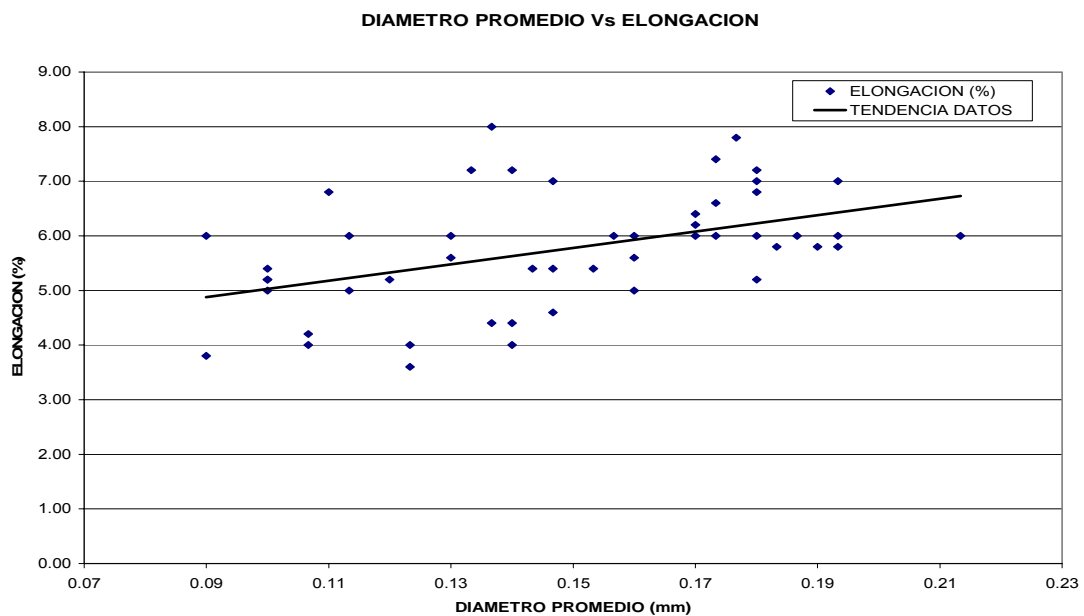


TABLA 2. Esfuerzos últimos a tensión de la fibra de fique

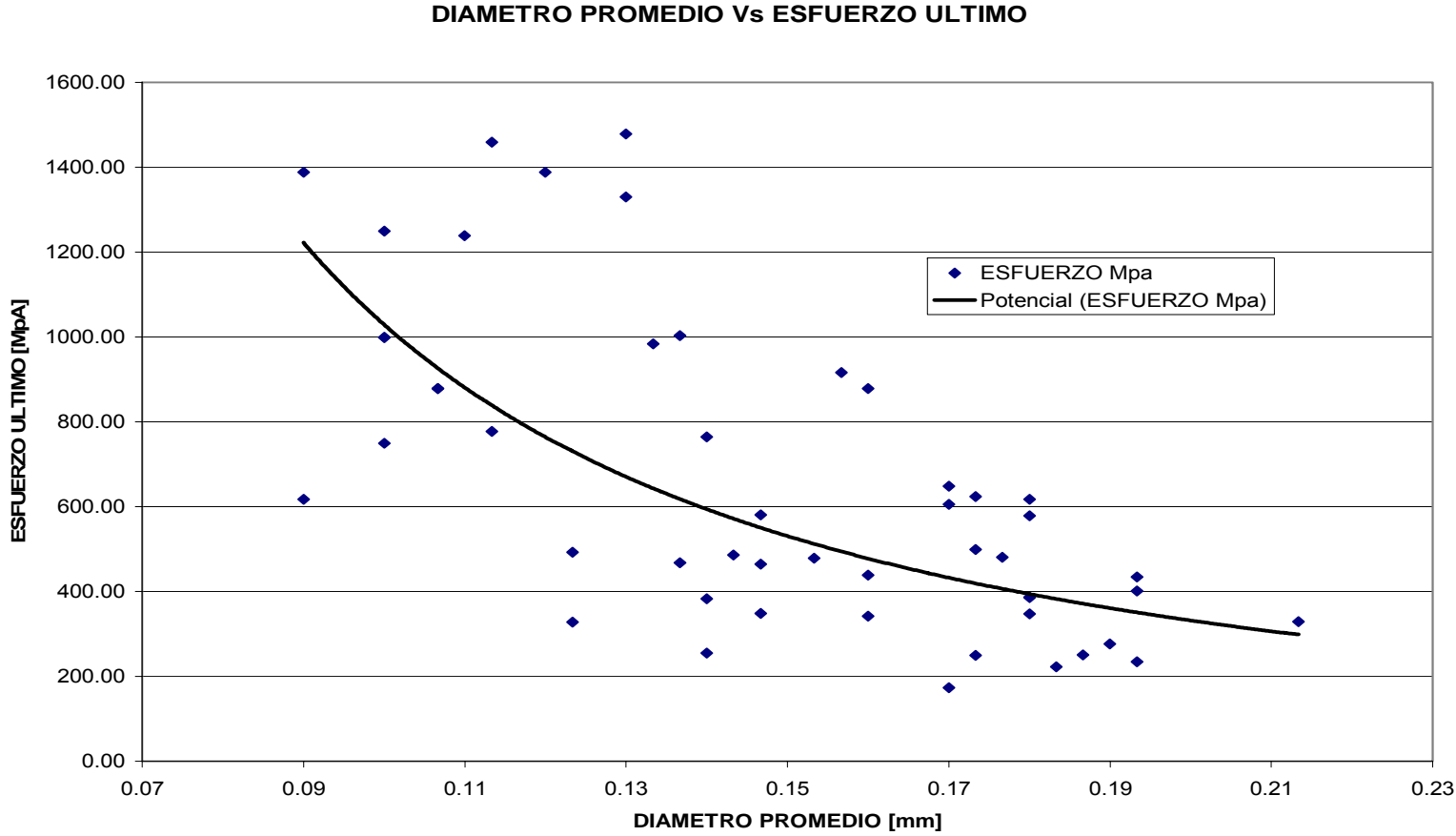
MUESTRA	Φ promedio	CARGA MAXIMA	CARGA MAXIMA	AREA	ESFUERZO
#	(mm)	(Kg)	Newtons	mm ²	Mpa
1	0.21	1.20	11.77	0.036	329.34
2	0.18	1.60	15.70	0.025	616.81
3	0.16	1.80	17.66	0.019	916.00
4	0.17	1.50	14.72	0.023	648.29
5	0.17	0.40	3.92	0.023	172.88
6	0.19	0.70	6.87	0.029	233.92
7	0.17	0.60	5.89	0.024	249.44
8	0.15	0.60	5.89	0.017	348.39
9	0.17	1.40	13.73	0.023	605.07
10	0.19	1.20	11.77	0.029	401.00
11	0.14	0.40	3.92	0.015	254.91
12	0.18	1.00	9.81	0.025	385.51
13	0.18	0.60	5.89	0.026	222.97
14	0.18	0.90	8.83	0.025	346.96
15	0.19	0.70	6.87	0.027	250.92
16	0.18	1.00	9.81	0.025	385.51
17	0.10	0.60	5.89	0.008	749.43
18	0.09	0.40	3.92	0.006	616.81
19	0.12	0.40	3.92	0.012	328.46
20	0.14	0.80	7.85	0.016	486.38
21	0.15	0.90	8.83	0.018	478.13
22	0.18	1.20	11.77	0.025	480.23
23	0.17	1.20	11.77	0.024	498.88
24	0.14	0.60	5.89	0.015	382.36
25	0.09	0.90	8.83	0.006	1387.83
26	0.14	1.20	11.77	0.015	764.72
27	0.19	0.80	7.85	0.028	276.80
28	0.11	0.80	7.85	0.010	777.95
29	0.19	1.30	12.75	0.029	434.42
30	0.12	0.60	5.89	0.012	492.68
31	0.10	0.80	7.85	0.008	999.24
32	0.10	0.80	7.85	0.008	999.24
33	0.11	1.20	11.77	0.010	1238.72
34	0.14	1.50	14.72	0.015	1003.10
35	0.15	1.00	9.81	0.017	580.65
36	0.11	1.50	14.72	0.010	1458.66
37	0.13	1.40	13.73	0.014	983.62
38	0.17	1.50	14.72	0.024	623.60
39	0.16	0.90	8.83	0.020	439.12
40	0.14	0.70	6.87	0.015	468.11
41	0.18	1.50	14.72	0.025	578.26
42	0.11	0.80	7.85	0.009	878.23
43	0.16	1.80	17.66	0.020	878.23
44	0.10	1.00	9.81	0.008	1249.05
45	0.16	0.70	6.87	0.020	341.54

46	0.13	2.00	19.62	0.013	1478.16
47	0.12	1.60	15.70	0.011	1387.83
48	0.15	0.80	7.85	0.017	464.52
49	0.13	1.80	17.66	0.013	1330.34
50	0.11	0.80	7.85	0.009	878.23

.

En la siguiente grafica se muestra la variación del esfuerzo último a tensión con el diámetro de la fibra.

FIGURA 10. Variación del esfuerzo ultimo a tensión de la fibra de fique con el diámetro



2.2 MODULO DE ELASTICIDAD DE LA FIBRA DE FIQUE

Para determinar el modulo de elasticidad de la fibra de fique se realizaron algunas pruebas tomando lecturas (carga, elongación) entre el inicio de la aplicación de la carga y la carga última, este proceso fue un poco dispendioso ya que la falla de la fibra de fique ocurre en un tiempo muy corto. Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la empresa EXTRUCOL S.A., donde se cuenta con una maquina universal de pruebas TINIUS OLSEN Serie 10000, esta maquina permite realizar algunas medidas (carga, elongación) antes de que ocurra la falla, pues registra las mediciones digitalmente. Para este ensayo la longitud de la fibra utilizada en el montaje fue de 10 cm. A continuación se muestra el montaje.

FIGURA 11. Algunos detalles del ensayo para determinar el modulo de elasticidad de la fibra de fique.



El número de fibras ensayadas es reducido ya que esta importante empresa tiene poca disponibilidad de tiempo para este tipo de pruebas, para las cuales se contó con la autorización del personal administrativo y la supervisión de ingenieros y técnicos especialistas en este tipo de pruebas. Las mediciones

tomadas en el laboratorio fueron: diámetro promedio [mm], carga [Kgf], Elongación [%] los cuales se muestran a continuación:

TABLA 3. Variación de la elongación con la carga a tensión.

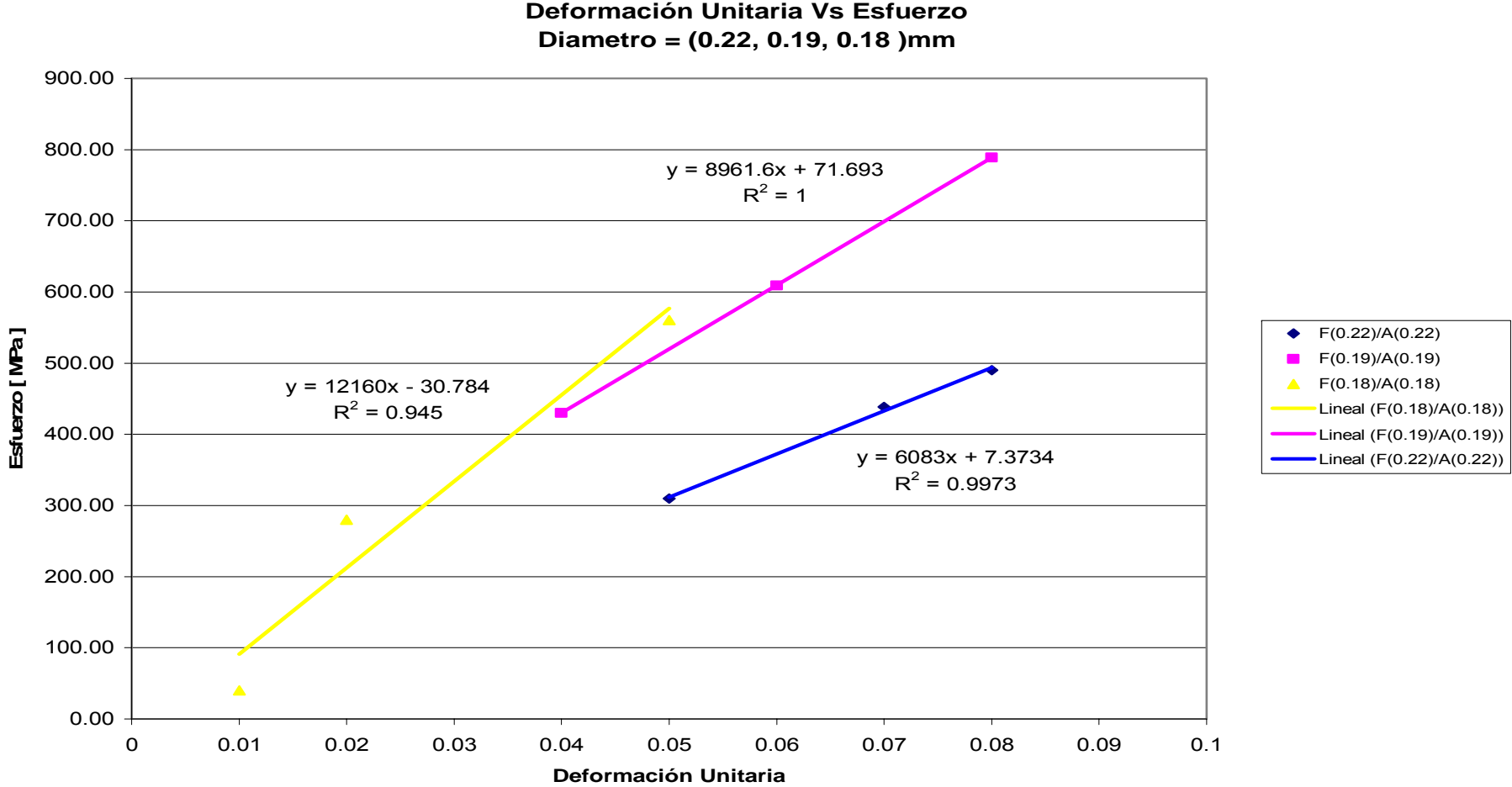
MUESTRA # 1					
DIAMETROS			Dpromedio	Carga	Elongación
$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$			
mm	mm	mm	mm	Kgf	%
0.24	0.21	0.21	0.22	1.2	5
				1.7	7
				1.9	8

MUESTRA # 2					
DIAMETROS			Dpromedio	Carga	Elongación
$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$			
mm	mm	mm	mm	Kgf	%
0.18	0.2	0.18	0.19	1.2	4
				1.7	6
				2.2	8

MUESTRA # 3					
DIAMETROS			Dpromedio	Carga	Elongación
$\Phi 1$	$\Phi 2$	$\Phi 3$			
mm	mm	mm	mm	Kgf	%
0.19	0.21	0.13	0.18	0.1	1
				0.7	2
				1.4	5

Para determinar el modulo de elasticidad se realizaron graficas Esfuerzos Vs Deformación para tres fibras de diámetro promedio diferente, en donde la pendiente de cada grafica representa el modulo de elasticidad para cada fibra. A continuación se muestran la grafica con sus tres rectas.

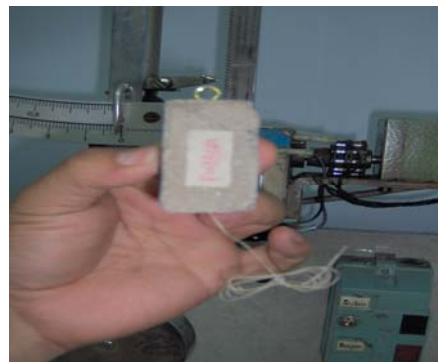
FIGURA 12. Variación del esfuerzo a tensión con la deformación unitaria (Diámetro promedio de 0.22, 0.19, 0.18 mm).



3. FUERZA DE ADHESION ENTRE EL MORTERO Y LA FIBRA DE FIQUE

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de control de calidad de la fábrica de tejidos de Colombia, TESICOL S.A. Para conocer la fuerza de adhesión entre el mortero y la fibra de fique se construyeron moldes de mortero con las siguientes dimensiones 25.4*25.4*50.8 mm, tomando como referencia la norma Icontec 220 “METODO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DE MORTERO DE CEMENTO HIDRAULICO USANDO CUBOS DE 50.8 mm. DE LADO”, con base en esta norma se creó un panel de madera, en los cuales se obtienen probetas de mortero para realizar el montaje en el dinamómetro manual. Estas fuerzas de adhesión se evaluaron a los 7 días de curado de las probetas.

FIGURA 13. Detalles del montaje del ensayo para las fuerzas de adhesión



Esta prueba no está estandarizada por una norma, por lo cual fue un poco dispendioso su montaje, ya que el dinamómetro no está acondicionado para este ensayo, sin embargo se elaboró una probeta que se ajustara al funcionamiento del dinamómetro, haciendo posible la medición de esta fuerza entre estos dos materiales. Para entender este fenómeno, se tomaron varias profundidades de anclaje de la fibra de fique que varían entre 1 cm. Y 3.5 cm., de acuerdo a las

limitaciones de construcción. El esfuerzo de adhesión se presenta hasta donde la fuerza de adhesión es menor que la resistencia a la tensión de la fibra, este esfuerzo se presenta a lo largo de la fibra insertada en el mortero.

$$esfuerzo = \frac{carga}{area} = \frac{Pu}{\pi * \phi * La}$$

La= longitud de anclaje.

TABLA 4. Fuerzas de adhesión entre la fibra de fique y el mortero (edad de las probetas 7 días).

PROFUNDIDAD cm	MUESTRA	DIAMETRO mm	FUERZA Kg	FUERZA N	ESFUERZO Mpa	OBSERVACION
1.0	1	0.19	0.3	2.94	0.49	Fza adhesión <Fza fique
	2	0.12	0.2	1.96	0.52	Fza adhesión <Fza fique
	3	0.21	0.4	3.92	0.59	Fza adhesión <Fza fique
	4	0.14	0.4	3.92	0.89	Fza adhesión <Fza fique
	5	0.11	0.2	1.96	0.57	Fza adhesión <Fza fique
	6	0.11	0.3	2.94	0.85	Fza adhesión <Fza fique
	7	0.15	0.2	1.96	0.42	Fza adhesión <Fza fique
1.5	1	0.12	0.5	4.91	0.87	Fza adhesión <Fza fique
	2	0.1	0.4	3.92	0.83	Fza adhesión <Fza fique
	3	0.16	0.4	3.92	0.52	Fza adhesión <Fza fique
	4	0.15	0.6	5.89	0.83	Fza adhesión <Fza fique
	5	0.12	0.4	3.92	0.69	Fza adhesión <Fza fique
	6	0.18	0.5	4.91	0.58	Fza adhesión <Fza fique
	7	0.16	0.6	5.89	0.78	Fza adhesión <Fza fique
2.0	1	0.1	0.6	5.89	0.94	Fza adhesión <Fza fique
	2	0.13	0.6	5.89	0.72	Fza adhesión <Fza fique
	3	0.11	0.5	4.91	0.71	Fza adhesión <Fza fique
	4	0.1	0.5	4.91	0.78	Fza adhesión <Fza fique
	5	0.11	0.6	5.89	0.85	Fza adhesión <Fza fique
	6	0.1	0.4	3.92	0.62	Fza adhesión <Fza fique
	7	0.12	0.6	5.89	0.78	Fza adhesión <Fza fique
2.5	1	0.19	0.7	6.87		Fza adhesión >Fza fique
	2	0.18	0.6	5.89		Fza adhesión >Fza fique
	3	0.11	0.6	5.89		Fza adhesión >Fza fique
	4	0.1	0.4	3.92		Fza adhesión >Fza fique
	5	0.17	0.5	4.91		Fza adhesión >Fza fique
	6	0.13	0.6	5.89		Fza adhesión >Fza fique
	7	0.12	0.5	4.91		Fza adhesión >Fza fique
3.0	1	0.12	0.7	6.87		Fza adhesión >Fza fique
	2	0.14	0.6	5.89		Fza adhesión >Fza fique
	3	0.12	0.6	5.89		Fza adhesión >Fza fique

	4	0.21	0.7	6.87	Fza adhesión >Fza fíque
	5	0.18	0.6	5.89	Fza adhesión >Fza fíque
	6	0.19	0.7	6.87	Fza adhesión >Fza fíque
	7	0.13	0.5	4.91	Fza adhesión >Fza fíque
3.5	1	0.22	0.8	7.85	Fza adhesión >Fza fíque
	2	0.19	0.7	6.87	Fza adhesión >Fza fíque
	3	0.21	0.8	7.85	Fza adhesión >Fza fíque
	4	0.16	0.6	5.89	Fza adhesión >Fza fíque
	5	0.12	0.8	7.85	Fza adhesión >Fza fíque
	6	0.12	0.7	6.87	Fza adhesión >Fza fíque
	7	0.17	0.8	7.85	Fza adhesión >Fza fíque

Las fuerzas de adhesión varían para una misma profundidad de anclaje, pues esta fuerza depende del diámetro promedio de la fibra anclada, lo mismo ocurre con el esfuerzo de adhesión, del análisis de los resultados se puede asegurar que a una profundidad de 2.0 cm, se encuentra el límite en donde la fuerza de adhesión supera la fuerza de tensión del fíque. Esto se representa en las siguientes Graficas.

FIGURA 14. Variación de la fuerza de adhesión entre la fibra de fique y el mortero con el diámetro de la fibra (para profundidades de anclaje de (1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5) cm.).

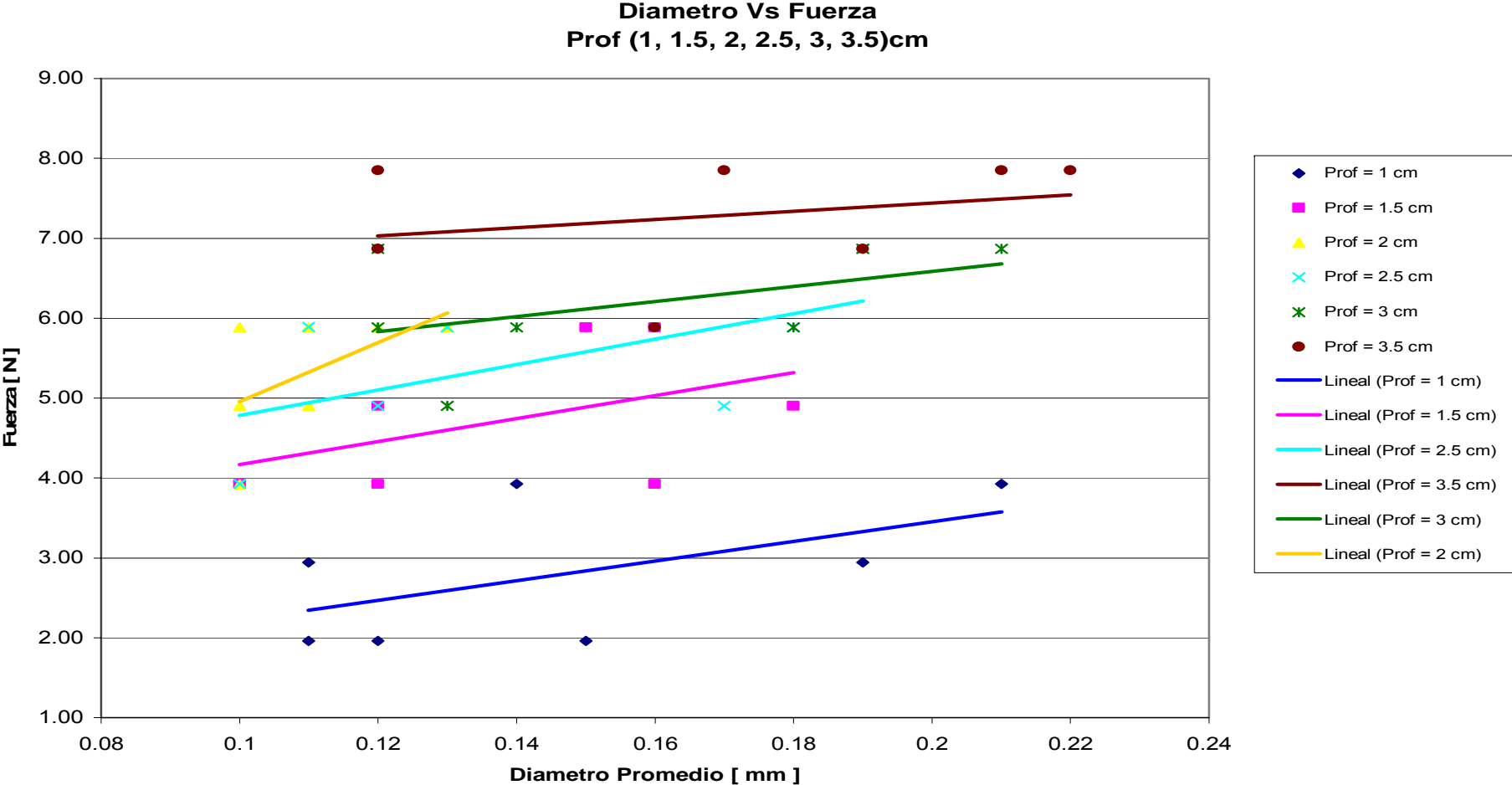
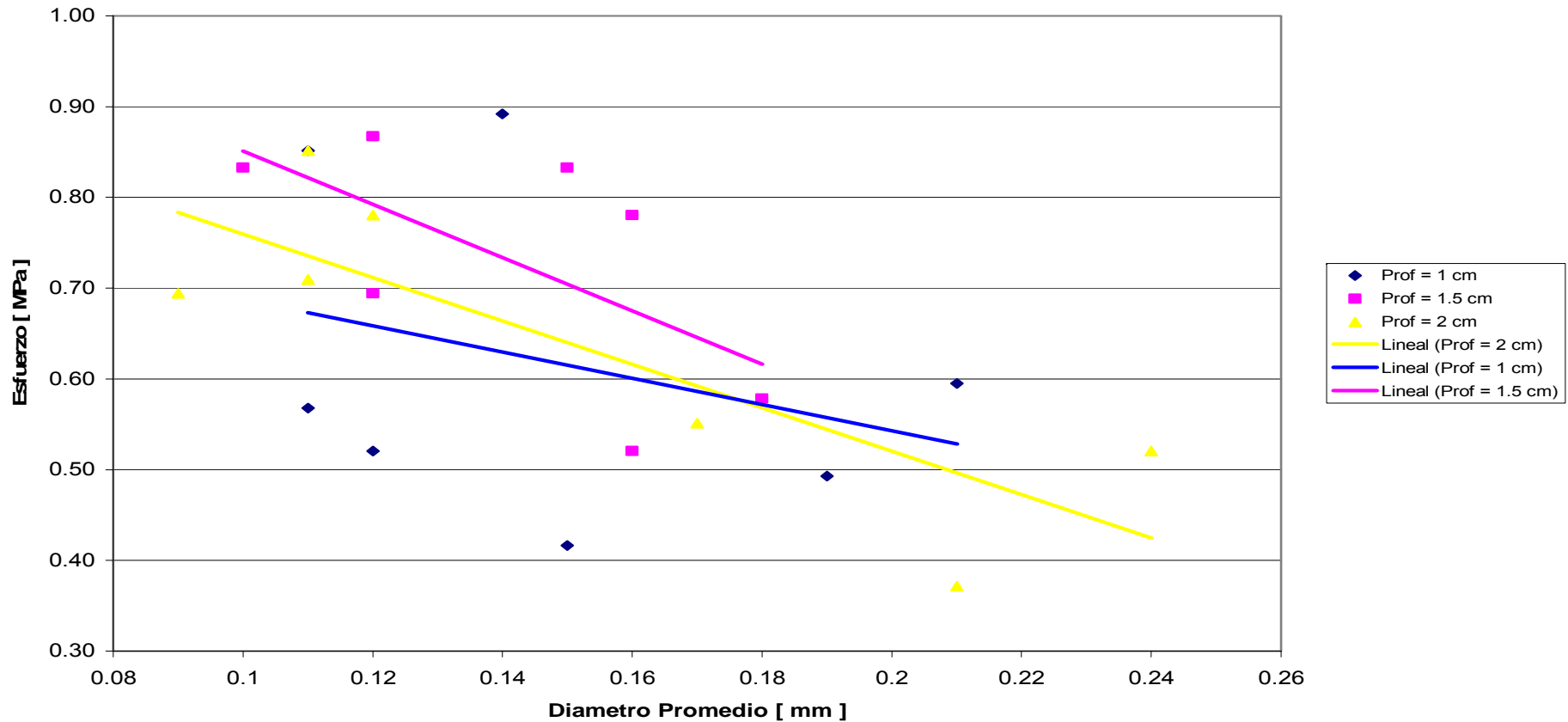


FIGURA 15. Variación del esfuerzo de adhesión con el diámetro de la fibra (Para profundidades de anclaje de (1.0, 1.5, 2.0, 2.5) cm.).

**Diametro Vs Esfuerzo
Prof (1, 1.5, 2)cm**

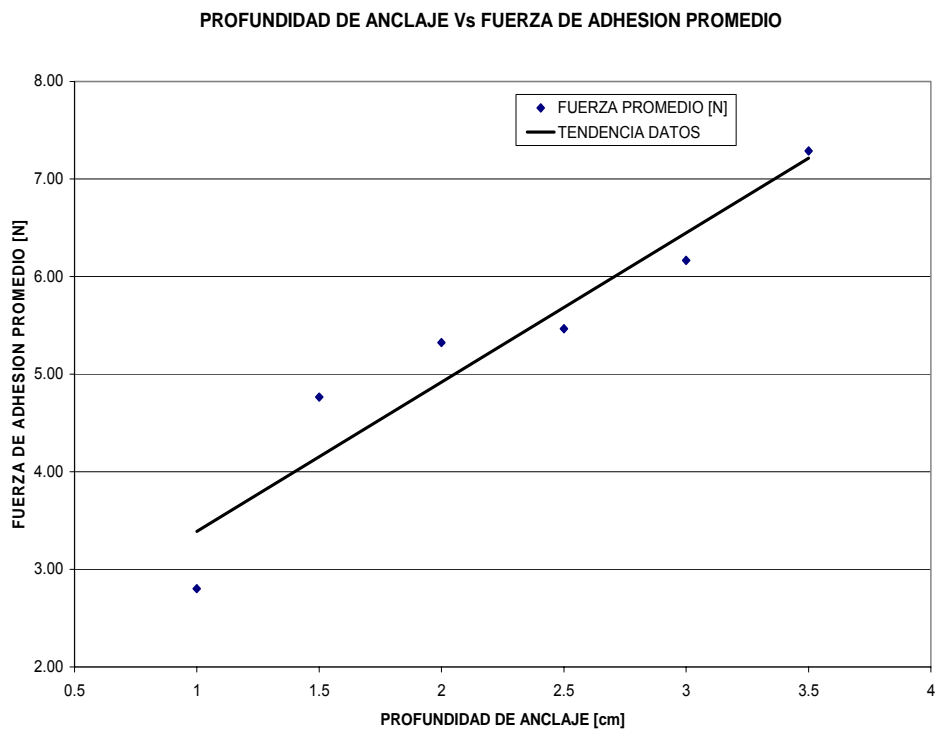


La fuerza de adhesión entre los dos materiales mortero-fibra varía con la profundidad de anclaje de la fibra, como se muestra en la siguiente tabla y figura que se presenta a continuación.

TABLA 5. Variación de la fuerza de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra.

PROFUNDIDAD ANCLAJE	FUERZA PROMEDIO
cm.	[N]
1	2.80
1.5	4.76
2	5.33
2.5	5.47
3	6.17
3.5	7.29

FIGURA 16. Variación de la fuerza de adhesión con la profundidad de anclaje de la fibra.

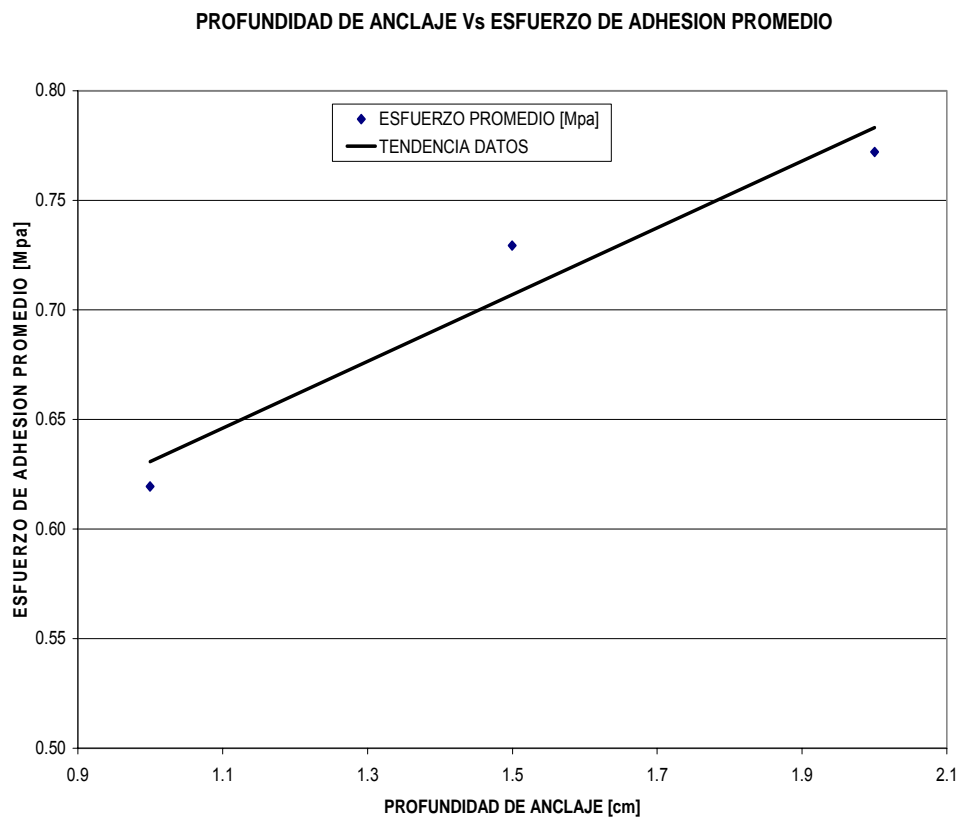


También el esfuerzo de adhesión depende de la profundidad de anclaje, como se puede apreciar en la siguiente tabla y figura.

TABLA 6. Variación del esfuerzo de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra.

PROFUNDIDAD ANCLAJE	ESFUERZO PROMEDIO
cm	Mpa
1	0.62
1.5	0.73
2	0.77

FIGURA 17. Variación del esfuerzo de adhesión promedio con la profundidad de anclaje de la fibra.



4. ENSAYOS EN CONCRETOS Y MORTEROS REFORZADOS CON FIBRAS

Los diferentes tipos de fibras que son utilizadas como refuerzo son las fibras de acero, vidrio, plásticas y naturales, proporcionándole al concreto ductilidad y capacidad de absorber energía. La más importante contribución de las fibras es la de incrementar la tenacidad del compuesto (Mehta y Monteiro, 1998). Las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras naturales, en este caso reforzadas con fibra de fique son afectadas por muchos factores, algunos de estos son la geometría, la forma y la superficie de la fibra, las propiedades de la matriz de cemento, la proporción de la mezcla, el método de mezclado y curado (Fördos, 1998).

Para estudiar el moreto reforzado se evaluaron algunas propiedades mecánicas, las cuales son: compresión, tensión y flexión. Se realizaron probetas de compresión según la norma ICONTEC 220, probetas para tensión (ICONTEC 119) y probetas para flexión (ICONTEC 120), las cuales se ensayaron a los 7 días.

4.1 ENSAYO DE COMPRESION. Norma ICONTEC 220.

Se elaboraron cubos de 50.8 mm. de lado, de acuerdo al procedimiento sugerido por la norma ICONTEC 220, los cuales son de mortero normal, las proporciones en peso para formar un mortero normal, debe ser 1 parte de cemento seco por 2.75 partes de arena gradada seca. La cantidad de agua de amasado, para los cementos portland sin adiciones, debe ser aquella que produzca una relación mínima de agua/cemento de 0.485 ($A/c=0.485$). A continuación se ilustran algunos detalles del ensayo.

FIGURA 18. Detalles del ensayo a compresión del mortero



FIGURA 19. Probeta para el ensayo a compresión del mortero



Este ensayo es el que produce los mayores esfuerzos, debido a las características a compresión que posee el mortero. El esfuerzo será:

$$f_c = \frac{P_u}{25.81} \text{ Kg/cm}^2$$

TABLA 7. Resistencia a la compresión del mortero normal a los 7 días

MUESTRA	CARGA	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
#	(Lb)	(Kg)	Kg/cm ²	Mpa
1	3200	1451.52	56.24	5.52
2	3400	1542.24	59.75	5.86

3	3300	1496.88	58.00	5.69
4	2700	1224.72	47.45	4.66
5	3800	1723.68	66.78	6.55
6	4100	1859.76	72.06	7.07
7	4000	1814.4	70.30	6.90
8	3300	1496.88	58.00	5.69
9	3300	1496.88	58.00	5.69

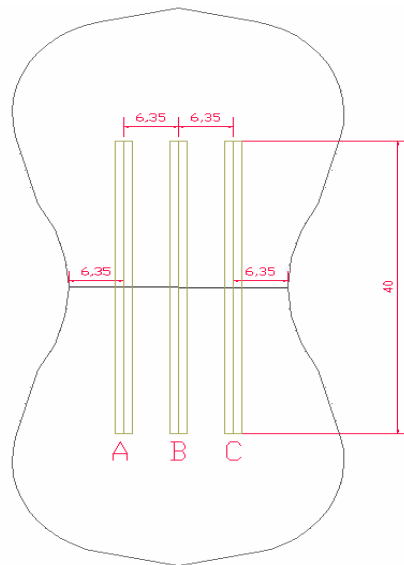
4.2 ENSAYO DE TENSION. Norma ICONTEC 119.

Para realizar este ensayo se elaboraron las muestras según el procedimiento sugerido por la norma ICONTEC 119, 9 probetas de mortero normal y 9 probetas de mortero reforzado. A continuación se muestran algunos detalles del ensayo. Estos ejemplares se ensayaron a los 7 días.

FIGURA 20. Detalles del ensayo a tensión.



FIGURA 21. Detalle geométrico de la probeta reforzada a tensión



La probeta de mortero reforzada con fibra de fique cuenta con tres filas de refuerzo en la zona inferior con una longitud de 4 cm. de refuerzo y un diámetro previamente obtenido con un calibrador digital.

Como resultado final se calcula el esfuerzo a tensión por medio de la siguiente expresión, esta ecuación es tomada de la norma ICONTEC 119:

$$f_c = \frac{P_u}{6.45} \text{ Kg/cm}^2$$

A continuación se presenta la tabla de resultados a tensión de mortero reforzado mortero normal, las cuales fueron ensayados a los 7 días de curado.

TABLA 8. Resistencia a tensión de mortero normal. Edad 7 días

MUESTRA	CARGA	CARGA	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
#	Lb	Kg	N	Kg/cm ²	Mpa
1	355	161.03	1579.68	24.97	2.45
2	320	145.15	1423.94	22.50	2.21
3	375	170.10	1668.68	26.37	2.59
4	370	167.83	1646.43	26.02	2.55
5	340	154.22	1512.94	23.91	2.35
6	310	140.62	1379.44	21.80	2.14
7	300	136.08	1334.94	21.10	2.07
8	305	138.35	1357.19	21.45	2.10
9	300	136.08	1334.94	21.10	2.07

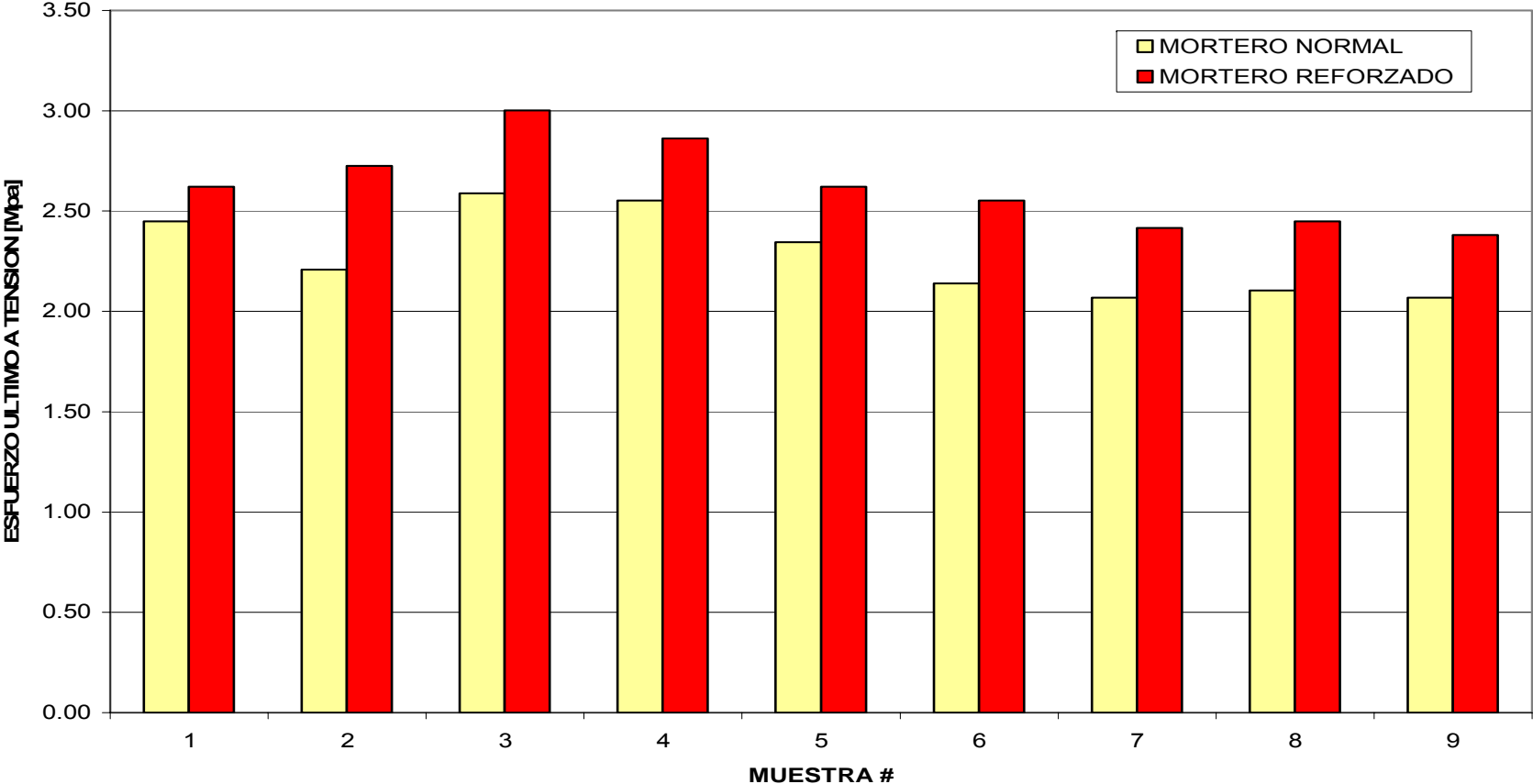
TABLA 9. Resistencia a tensión de mortero reforzado. Edad 7 días

MUESTRA	DIAMETRO DE REFUERZO (mm)			CARGA	CARGA	CARGA	ESFUERZO	ESFUERZO
	A	B	C	Lb	Kg	N	Kg/cm ²	Mpa
1	0.09	0.15	0.15	380	172.37	1690.93	26.72	2.62
2	0.18	0.1	0.14	395	179.17	1757.68	27.78	2.73
3	0.17	0.18	0.22	435	197.32	1935.67	30.59	3.00
4	0.14	0.18	0.17	415	188.24	1846.67	29.19	2.86
5	0.11	0.13	0.13	380	172.37	1690.93	26.72	2.62
6	0.15	0.1	0.08	370	167.83	1646.43	26.02	2.55
7	0.09	0.08	0.1	350	158.76	1557.44	24.61	2.41
8	0.12	0.1	0.09	355	161.03	1579.68	24.97	2.45
9	0.1	0.06	0.09	345	156.49	1535.19	24.26	2.38

La resistencia a la tensión de las probetas de mortero normal y mortero reforzado difieren en sus valores, esto se debe a que la fibra aporta cierta resistencia a tensión adicional al mortero, por lo cual la resistencia a la tensión del mortero

reforzado es mayor. Como se muestra en la siguiente grafica la cual es una comparación entre la resistencia del mortero normal y mortero reforzado.

FIGURA 22. Comparación de los esfuerzos últimos a tensión del mortero normal y el mortero reforzado a los 7 días.
COMPARACION RESISTENCIA A TENSION DEL MORTERO NORMAL Y MORTERO REFORZADO



4.3 ENSAYO DE FLEXION. Norma ICONTEC 120. Para realizar este ensayo se realizaron probetas de 40*40*160 mm. Los moldes se construyeron de acuerdo al procedimiento especificado en la norma ICONTEC 120. Se elaboraron probetas de mortero normal y mortero reforzado. A continuación se muestra algunas ilustraciones del ensayo.

FIGURA 23. Detalles del ensayo a flexión.

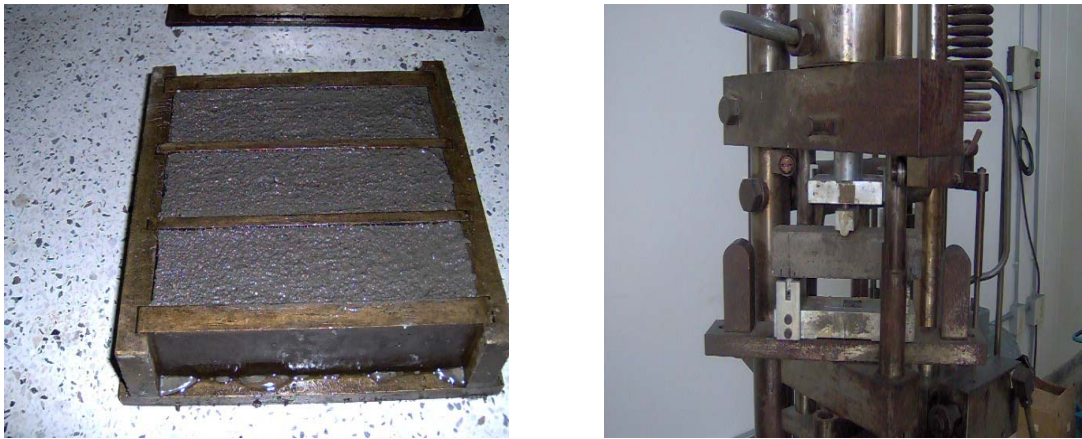
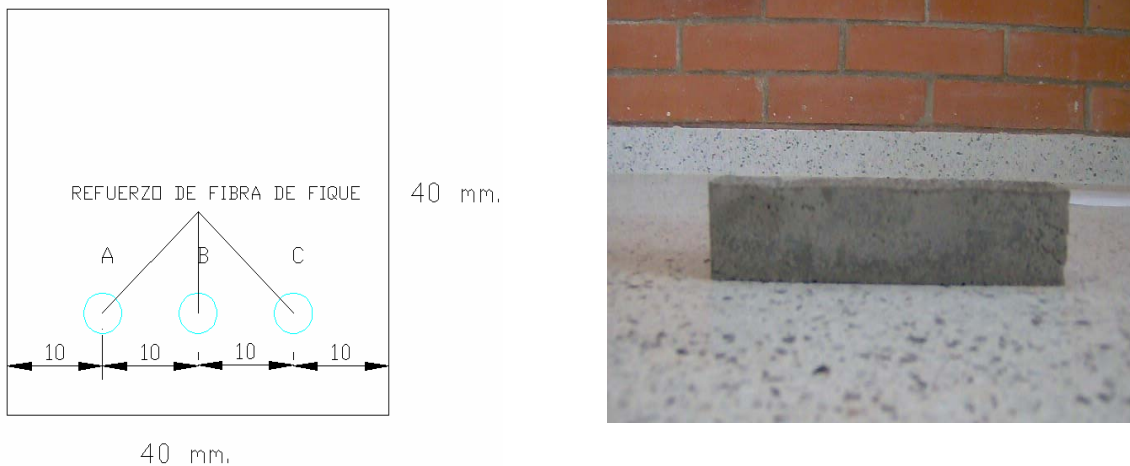


FIGURA 24. Detalle geométrico de la probeta reforzada con fibra de fique (la fibra tiene una longitud de 140 mm.).



Sección transversal probeta dimensiones 40*40*160.

Para calcular el esfuerzo a flexión se utiliza la siguiente expresión tomada de la norma ICONTEC 120:

$$f_c = 0.278 * (Pu) \frac{Kg}{cm^2}$$

A continuación se muestra la resistencia a flexión del mortero normal y mortero reforzado.

TABLA 10. Resistencia a flexión del mortero normal a los 7 días

MUESTRA	FUERZA	FUERZA	ESFUERZO	ESFUERZO
#	Kg	N	Kg/cm ²	Mpa
1	65	637.65	18.07	1.77
2	64	627.84	17.792	1.75
3	66	647.46	18.348	1.80
4	72	706.32	20.016	1.96

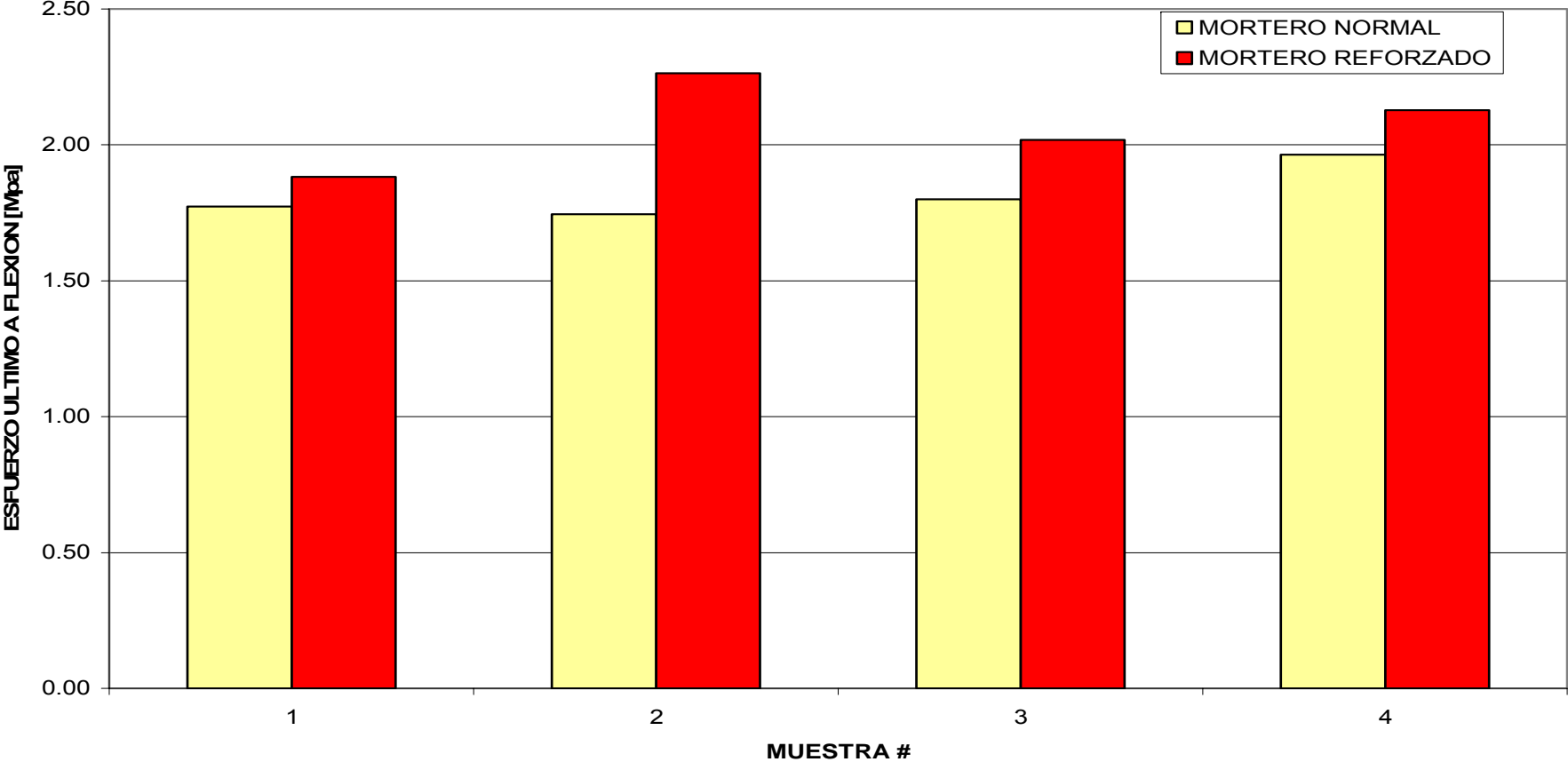
TABLA 11. Resistencia a flexión del mortero reforzado a los 7 días.

MUESTRA	DIAMETRO PROMEDIO DE REFUERZO [mm]			FUERZA	FUERZA	ESFUERZO	ESFUERZO
#	A	B	C	Kg	N	Kg/cm ²	Mpa
1	0.12	0.11	0.14	69	676.89	19.18	1.88
2	0.15	0.16	0.12	83	814.23	23.07	2.26
3	0.12	0.11	0.11	74	725.94	20.57	2.02
4	0.13	0.12	0.13	78	765.18	21.68	2.13

La resistencia a la flexión del mortero reforzado es mayor que la del mortero normal, esto se debe a la presencia del refuerzo que aporta un incremento a la resistencia a tensión del mortero normal. A continuación se presenta una grafica la cual es una comparación de la resistencia a la flexión.

FIGURA 25. Comparación de los esfuerzos últimos a flexión del mortero normal y el mortero reforzado a los 7 días.

COMPARACION RESISTENCIA A FLEXION DEL MORTERO NORMAL Y MORTERO REFORZADO



5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En esta sección se realiza un análisis a los datos encontrados en los diferentes ensayos realizados a lo largo de esta investigación.

5.1 CLASIFICACIÓN MECANICA DE LA FIBRA DE FIQUE

5.1.1 Resistencia última a tensión de la fibra de fique. Para determinar la resistencia a la tensión de la fibra de fique se ensayaron 50 muestras en un dinamómetro manual cuya precisión es de 0.1 Kgf (0.981 N), estos datos se encuentran consignados en la **TABLA 1**, donde se obtuvo como resultado unas resistencias entre 0.4 y 2.0 Kgf (3.92 y 19.62 N), con una resistencia promedio de 1.03 Kgf (10.10 N), el diámetro de estas fibras se encontró entre 0.09 y 0.21 mm., con un diámetro promedio de 0.15 mm. Teniendo en cuenta que existe una relación directa entre el diámetro promedio de la fibra y su resistencia última a la tensión, como se muestra en la **FIGURA 8**, la cual es una representación gráfica de la variación de la resistencia a la tensión con el diámetro; por lo tanto se reafirma que las fibras de mayor diámetro tienen mayor resistencia a la tensión como se esperaba inicialmente, en otras palabras a mayor área bruta la fibra soporta más carga. No obstante cabe aclarar que en algunos casos varía un poco este comportamiento, debido a la heterogeneidad de la fibra de fique, principalmente por la variación del diámetro de la fibra en una misma muestra.

Además de la resistencia a la tensión de la fibra se tomaron lecturas de la elongación última de fibra en el momento de la falla, las cuales se encuentran en la **TABLA 1**, este parámetro indica que tanta deformación soporta este material, los valores de elongación se encuentran entre 3.6 y 8%, con una elongación

promedio de 5.8%. Obviamente la elongación última tiene una relación directa con el diámetro promedio de la fibra, lo cual se muestra en la **FIGURA 9**, mediante esta grafica puede concluir que entre mayor sea el diámetro de la fibra, mayor es su elongación, pues va a soportar mas carga que una fibra de diámetro inferior. El hecho de que la fibra soporte una mayor deformación indica que beneficia al mortero o el concreto si se utiliza como adición, se recomienda utilizar las fibras de mayor diámetro y mayor homogeneidad, pues presentan excelentes propiedades mecánicas.

5.1.2 Esfuerzo último a tensión de la fibra de fique. El esfuerzo último a la tensión de la fibra fue evaluado como la relación entre la carga de falla y el área promedio bruta, determinada con el diámetro promedio medido en tres diferentes secciones transversales entre los puntos de sujeción de la fibra montada en el dinamómetro manual, estos valores están consignados en la **TABLA 2**. Calculando estos esfuerzos se obtuvo valores entre 172.88 y 1478.16 Mpa, con un esfuerzo promedio de 655.53 Mpa. En la **FIGURA 10** tenemos una representación grafica de la variación de los esfuerzos últimos a tensión con el diámetro, por lo tanto se concluye que el esfuerzo último a tensión disminuye en las fibras con áreas brutas mayores, ya que la carga se distribuye en una mayor área bruta transversal. Los valores de estos esfuerzos son altos, lo cual indica que esta fibra es un material muy resistente a la tensión, siendo una excelente solución a la baja resistencia a tensión del concreto y del mortero, por medio de adiciones de esta fibra.

5.1.3 Modulo de elasticidad de la fibra de fique. La cantidad de muestras ensayadas fue mínima (3), pues la maquina en la que se realizó este ensayo es de difícil acceso, además la cantidad de lecturas (carga, elongación) también es reducida (3), por que la falla de la fibra ocurre en un tiempo muy corto. Para obtener datos de mayor precisión se recomienda el uso de una maquina más

sofisticada, pero para efectos de esta investigación, los datos obtenidos son muy valiosos, teniendo en cuenta que son los primeros en registrarse.

Interpretando estos datos, los cuales se encuentran en la **TABLA 3**, se puede decir que entre mayor sea la carga aplicada es mayor la elongación registrada, esto indica que hay una relación lineal entre los datos. La menor carga registrada es de 0.1 Kgf (0.981 N) presentando una elongación de 1%, como carga mayor se obtuvo 2.2 Kgf (21.58 N) con una elongación de 8%, estas lecturas no corresponden a una misma muestra, pero si se pueden corroborar con los datos tomados en los ensayos de resistencia a tensión, llegando a la conclusión de que estos datos son confiables a pesar de que son pocos. Realizando la grafica **Deformación unitaria Vs Esfuerzo**, consignada en la **FIGURA 12**, representa una relación lineal entre estos datos, en donde la pendiente de cada recta constituye el correspondiente modulo de elasticidad para cada fibra. Con respecto a estos módulos oscilan entre 6083 Mpa y 12160 Mpa, presentando un modulo de elasticidad promedio de 9068 Mpa.

5.2 FUERZA DE ADHESION ENTRE EL MORTERO Y LA FIBRA DE FIQUE

Este parámetro es importante pues brinda una idea de la interacción entre el mortero y la fibra, estos datos se encuentran en la **TABLA 4**, interpretando estos datos se puede observar que las fuerzas existentes entre estos dos materiales son pequeñas comparadas con la resistencia a la tensión de la fibra, hasta cierta profundidad de anclaje para ser mas exactos hasta una profundidad de 2.0 cm., por que para las profundidades de 2.5 hasta 3.5 cm. la fibra falla por tensión, creando la condición (fuerza de adhesión > fuerza de la fibra). Observando la **FIGURA 14** se concluye que para una misma profundidad de anclaje existe una relación directa entre el diámetro de la fibra y la fuerza de adhesión mortero-fibra, y además que entre mayor sea el diámetro de la fibra mayor será la fuerza de

adhesión. La fuerza de adhesión oscila entre 0.2 y 0.8 Kgf (1.96 y 7.85 N). Por lo tanto se reafirma lo esperado, que entre mayor sea la profundidad de anclaje de la fibra mayor será la fuerza de adhesión entre los dos materiales. Como resumen de la anterior afirmación se puede observar en la **TABLA 5** y la **FIGURA 16**.

Con respecto a los esfuerzos de adhesión se presentan entre 1.0 y 2.0 cm. de profundidad de anclaje de la fibra, dispuestos en la **TABLA 4**, estos esfuerzos oscilan entre 0.42 y 0.94 Mpa, los cuales dependen de la longitud de anclaje y del diámetro de la fibra **FIGURA 15**. Como conclusión se tiene que a mayor diámetro se obtiene un menor esfuerzo de adhesión, debido a que la fuerza se reparte en un área bruta mayor. Con respecto a la profundidad de anclaje se puede afirmar que mientras mayor sea la profundidad de anclaje mayor será el esfuerzo de adhesión **TABLA 6** y **FIGURA 17**, pues aumenta el área de contacto entre los dos materiales.

5.3 PROPIEDADES MECANICAS DEL MORTERO NORMAL Y REFORZADO

5.3.1 Resistencia a la compresión del mortero normal. Para determinar la resistencia a la compresión del mortero se evaluaron 9 probetas cuyos resultados están consignados en la **TABLA 7**, los cuales presentaron valores entre 4.66 y 7.07 Mpa y un esfuerzo promedio de 5.96 Mpa, estos resultados concuerdan con los esperados para probetas de mortero normal con una edad de 7 días. Los materiales utilizados durante toda la investigación son de la misma fuente, por esto es importante tener todas sus propiedades mecánicas.

5.3.2 Resistencia a la tensión del mortero normal y mortero reforzado.

- **Mortero normal:** Resulta muy importante tener la resistencia a la tensión del mortero normal para compararla con la resistencia del mortero reforzado, la fuerza

a tensión que resistieron estas probetas se encuentran en la **TABLA 8** y oscilan entre 300 y 375 Lbf (1334.94 y 1668.68 N), con una fuerza promedio de 330.56 Lbf (1470.91 N). Con respecto a los esfuerzos últimos a tensión del mortero normal oscilan entre 2.07 y 2.59 Mpa, con un esfuerzo promedio de 2.28 Mpa. Estas probetas fallaron por la zona de menor sección, lo cual es adecuado para este ensayo.

- **Mortero reforzado:** Las fuerzas a tensión soportadas por las probetas reforzadas se encuentran en la **TABLA 9** y oscilan entre 345 y 435 Lbf (1535.19 y 1935.67 N), con una fuerza promedio de 380.6 Lbf (1693.40 N). Con respecto a los esfuerzos últimos de tensión soportados por las probetas de mortero reforzado encontramos esfuerzos entre 2.38 y 3.0 Mpa, con un esfuerzo promedio de 2.63 Mpa. Cada probeta se reforzó con tres fibras de fique las cuales tienen diámetro diferente y una longitud de 4.0 cm, dispuestas en el sentido de aplicación de la carga. Pudiendo observar que entre mayor sea la cantidad de refuerzo en una probeta mayor será la carga soportada a tensión, lo mismo sucede con respecto al esfuerzo último a tensión, a mayor cantidad de fibra de refuerzo mayor es el esfuerzo último soportado por la probeta.

- **Comparación entre el mortero normal y el mortero reforzado.**

Ahora comparando la resistencia a tensión del mortero normal y el mortero reforzado, se tiene que el mortero reforzado presenta un aumento de resistencia alrededor de un 13 %, lo cual se puede apreciar en la **FIGURA 22**. Mediante la anterior afirmación, se logra concluir que la fibra aporta resistencia a la tensión con gran efectividad cuando se dispone en sentido de aplicación de la carga.

5.3.3 Resistencia a la flexión del mortero normal y mortero reforzado.

- **Mortero normal:** Los resultados del ensayo a flexión para el mortero normal se encuentran en la **TABLA 10**, obteniendo como resultado cargas soportadas por la probeta las cuales oscilan entre 64 y 72 Kgf (627.84 y 706.32 N), y una carga promedio de 66.75 Kgf (654.82 N). Los valores de los esfuerzos últimos a flexión oscilan entre 1.75 y 1.96 Mpa, con un esfuerzo promedio de 1.82 Mpa. Estas probetas fallaron exactamente en la zona de aplicación de la carga, por lo tanto, estos valores son coherentes con la resistencia a la flexión de un mortero normal típico.

- **Mortero reforzado:** Los datos el mortero reforzado se encuentran en la **TABLA 11**, donde las cargas soportadas oscilan entre 69 y 83 Kgf (676.89 y 814.23 N) y una fuerza promedio de 76 Kgf (745.56 N). Con respecto a los esfuerzos se tienen valores que oscilan entre 1.88 y 2.26 Mpa, con un esfuerzo promedio de 2.07 Mpa. Pudiendo observar, que entre mayor sea la cantidad de refuerzo (fibras de mayor diámetro promedio) en una probeta, mayor será la carga soportada a flexión, lo mismo sucede con respecto al esfuerzo último a flexión, a mayor cantidad de refuerzo mayor es el esfuerzo último soportado por la probeta.

- **Comparación entre el mortero normal y el mortero reforzado.**

Realizando una comparación entre la resistencia a la flexión del mortero normal y el mortero reforzado **FIGURA 25**, se concluye que la adición de la fibra de fique a lo largo del eje longitudinal de la probeta y dispuesta como lo ilustra la **FIGURA 24**, le aporta un incremento de un 12%, lo cual nos indica que la fibra de fique dispuesta de esta manera es muy conveniente para el mortero.

6. ANALISIS DE LA FALLA A TENSIÓN Y FLEXION DE LAS PROBETAS DE MORTERO NORMAL Y MORTERO REFORZADO

Este análisis se realiza con el fin de facilitar la creación de un modelo que calcule la resistencia a tensión y flexión en el mortero reforzado.

6.1 FALLA A TENSION

Tanto las probetas de mortero normal y mortero reforzado presentaron la falla en la zona de menor sección. Lo cual es coherente con la teoría de un elemento sometido a tensión. Con respecto a la falla presentada en las probetas reforzadas con la fibra de fique se presentaron dos situaciones particulares.

(1) Para las probetas que presentaron la menor resistencia ocurre que las fibras de refuerzo no alcanzan a fallar, si no que se salen de la matriz, por lo tanto estos resultados indican que no hay un aporte de la resistencia a tensión, sino que se presentan fuerzas de adhesión y por lo tanto esa es la causa de valores menores, cabe anotar que este caso se presentó en 2 probetas las cuales estaban reforzadas con las fibras de menor diámetro, los valores obtenidos para este caso fueron de 350 y 355 Lbf (1557.44 y 1579.68 N).

(2) Las 7 probetas restantes, presentaron una falla en la cual los dos materiales soportaron la carga máxima a tensión, dejando como resultado valores superiores a los que se presentaron en el mortero normal. Lo cual quiere decir que el refuerzo de fibra de fique dispuesto de la manera indicada en la **FIGURA 21**, si es efectivo. A continuación se muestra una ilustración de la falla a tensión que presentaron todas las probetas ensayadas.

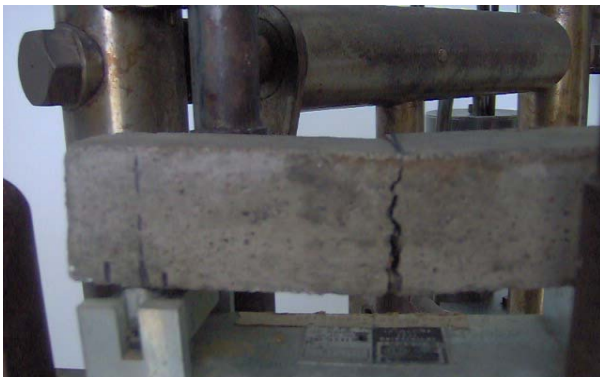
FIGURA 26. Falla típica a tensión.



6.2 FALLA A FLEXION

Tanto las probetas de mortero normal como las probetas reforzadas, presentaron la falla en la zona donde se aplico la carga, lo cual quiere decir que el montaje para este ensayo fue el adecuado. Con respecto al mortero reforzado en todos los casos la fibra de fique fallo, sin ningún tipo de excepción. La única singularidad presentada fue que las probetas que estaban reforzadas con fibras de mayor diámetro promedio obtuvieron mayor resistencia a la flexión. A continuación se presenta una ilustración de la falla típica a flexión, tanto para el mortero normal como para el mortero reforzado.

FIGURA 27. Falla típica a flexión



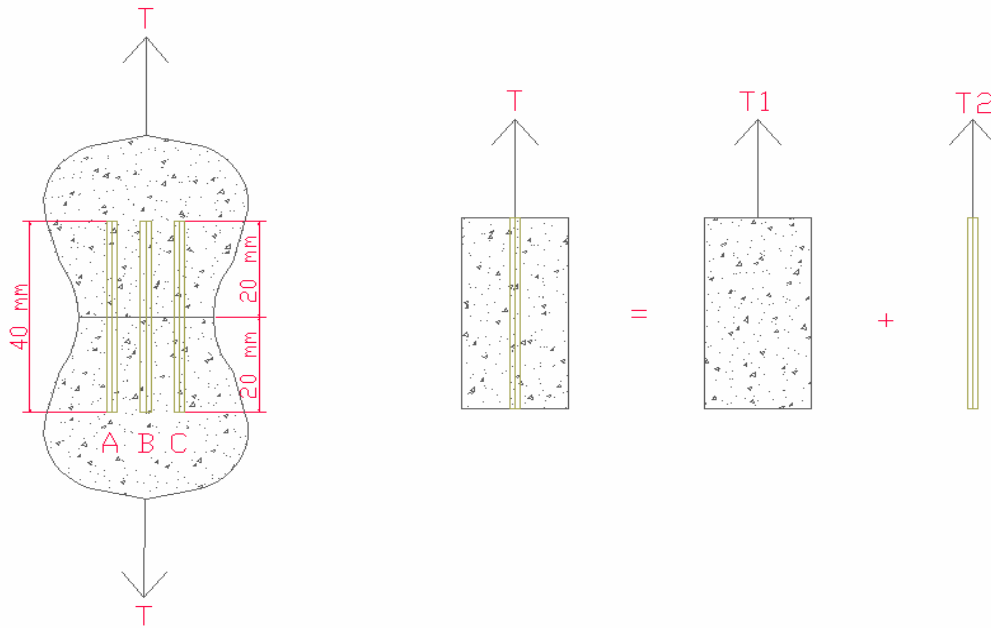
7. MODELOS PARA CALCULAR EL ESFUERZO A TENSION Y EL ESFUERZO A FLEXION EN EL MORTERO REFORZADO

Estos modelos se elaboran para determinar que tan predecible es la resistencia a la tensión y flexión de probetas reforzadas con fibras de fique respectivamente. Es apenas lógico que se va a presentar cierto porcentaje de diferencia entre los valores teóricos y los valores reales, pero entre mas pequeños sean estos porcentajes nos quiere decir que el modelo es adecuado, si por el contrario las diferencias son muy altas, tenemos que tratar de averiguar las fallas que nos lleven a un modelo correcto en un futuro.

7.1 MODELO A TENSION DEL MORTERO REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE

Para realizar este modelo se tiene como base el análisis de la falla, retomando el concepto de que la resistencia a tensión en un material compuesto reforzado es la suma algebraica de la resistencia a tensión que aporta cada material. Lo cual se ilustra en la siguiente figura.

FIGURA 28. Resistencia total a tensión de un material reforzado con fibra.



Existen 2 tipos de falla en las probetas a tensión y de acuerdo a estas se obtiene la forma adecuada de calcular la resistencia a tensión, como se muestra a continuación:

Caso 1: Las fibras se salen de la matriz, por lo cual no aporta su resistencia a la tensión, sino que aporta una fuerza de adherencia para una longitud de anclaje de 2 cm (**muestras 1 y 2**). Ya que la probeta falla en toda la mitad y la fibra de fique tiene una longitud total de 4 cm.

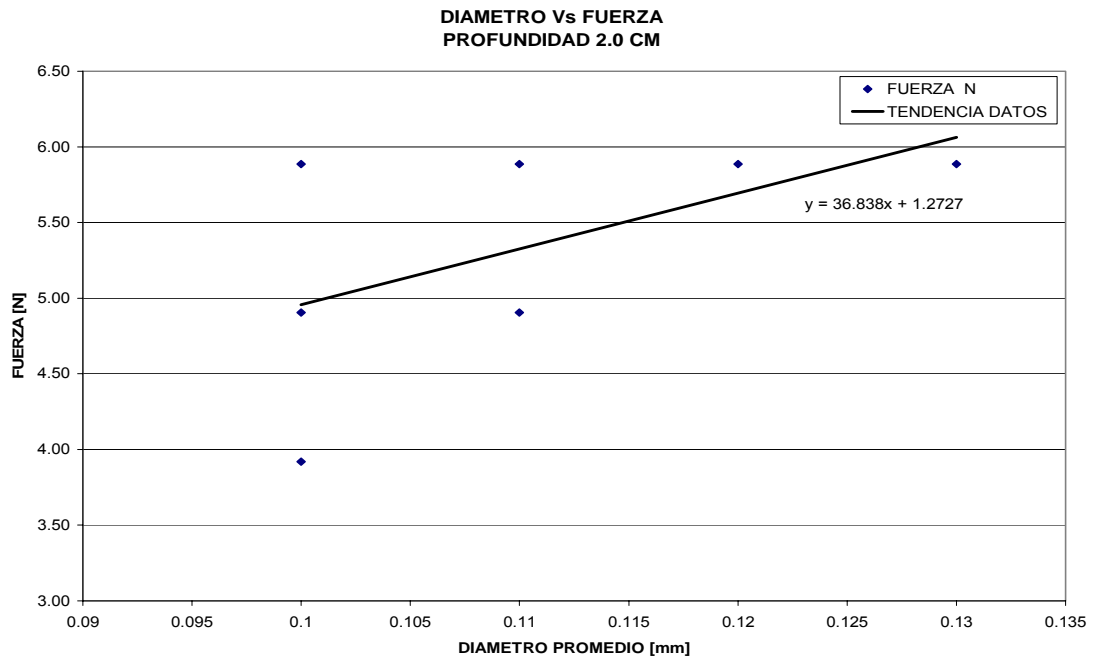
$$T = T_{\text{mortero}} + F_{adh}(2.0\text{cm})$$

Donde.

T_{mortero} : Es la carga a tensión soportada por el mortero normal, este valor se calcula como un promedio de la tensión soportada por las probetas de mortero normal. Este valor corresponde a 1470.91 N.

Fadh(2.0cm): Este valor corresponde a la fuerza de adhesión mortero-fibra, el cual depende del diámetro de la fibra. Para calcular este valor se plantea sacar la ecuación de la recta representativa de los datos de la grafica Diámetro promedio Vs fuerza de adhesión para una profundidad de 2.0 cm. La cual se muestra a continuación.

FIGURA 29. Variación de la Fuerza de adhesión Vs Diámetro promedio a una profundidad de 2.0 cm.



Finalmente se llega a una ecuación para calcular la fuerza de adhesión mortero-fibra para diferentes diámetros de fibra (profundidad de anclaje).

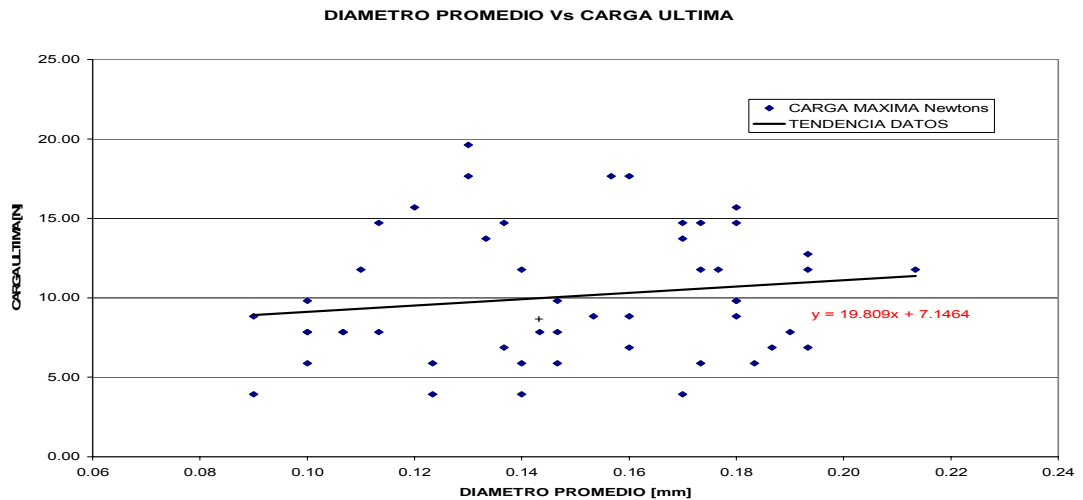
$$Fadh(2.0cm) = 38.838 * (\phi_{promedio}) + 1.2727$$

Caso 2: Las fibras fallan con el mortero, por lo tanto en este caso las fibras aportan su resistencia a la tensión (**muestras 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9**), luego se obtiene la siguiente ecuación para calcular la carga soportada a tensión.

$$T = T_{mortero} + T_{fibra}$$

Como en el anterior caso $T_{mortero} = 1470.91$ N, pero ahora cada fibra de refuerzo aporta su resistencia a tensión, la resistencia a tensión de las fibras varía con el diámetro de la fibra, por lo tanto se plantea extraer la ecuación de la recta que se presenta en la gráfica Carga a tensión Vs Diámetro promedio. La cual se muestra a continuación para un mejor entendimiento.

FIGURA 30. Variación de la carga ultima Vs diámetro promedio



Finalmente se tiene la siguiente ecuación para calcular la carga soportada a tensión, para diferentes diámetros de la fibra de fique.

$$T_{fibra} = 19.809 * (\phi_{promedio}) + 7.1464$$

Con el modelo planteado se procede a elaborar los cálculos obteniendo los siguientes resultados.

TABLA 12. Resistencia teórica de las probetas reforzadas a tensión

muestra	DIAMETRO DE REFUERZO (mm)			tension mortero	tension fique	fuerza de adherencia	tension total
#	A	B	C	N	N		
1	0.09	0.15	0.15	1470.91		18.96	1489.88
2	0.18	0.1	0.14	1470.91		20.13	1491.04
3	0.17	0.18	0.22	1470.91	32.73		1503.64
4	0.14	0.18	0.17	1470.91	31.15		1502.06
5	0.11	0.13	0.13	1470.91	28.77		1499.68
6	0.15	0.1	0.08	1470.91	27.98		1498.89
7	0.09	0.08	0.1	1470.91	26.79		1497.70
8	0.12	0.1	0.09	1470.91	27.58		1498.49
9	0.1	0.06	0.09	1470.91	26.39		1497.30

Ahora se realiza una comparación entre los valores reales y los valores teóricos para evaluar el modelo. En la siguiente tabla relacionamos los datos teóricos y reales.

TABLA 13. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico.

MUESTRA	Fuerza teorica	Fza real	% Diferencia
#	N	N	%
1.00	1489.88	1690.93	11.89
2.00	1491.04	1757.68	15.17
3.00	1503.64	1935.67	22.32
4.00	1502.06	1846.67	18.66
5.00	1499.68	1690.93	11.31
6.00	1498.89	1646.43	8.96
7.00	1497.70	1557.44	3.84
8.00	1498.49	1579.68	5.14
9.00	1497.30	1535.19	2.47

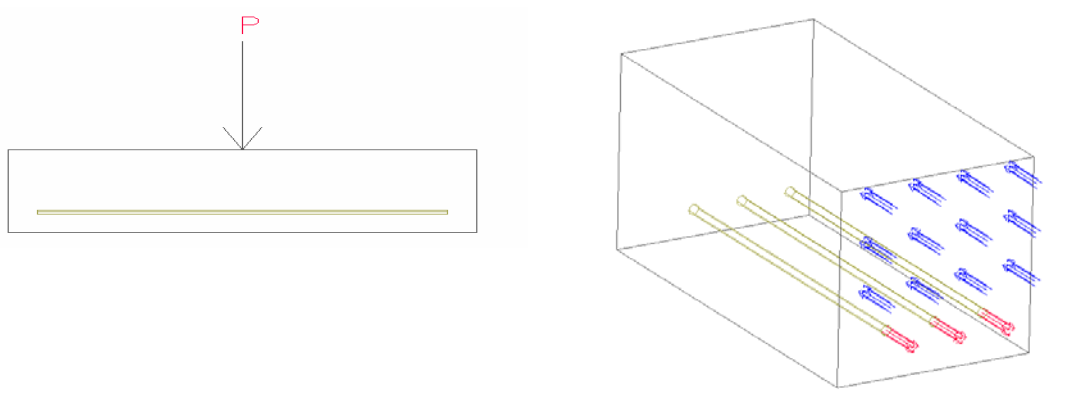
Observando esta tabla se concluye que los porcentajes de diferencia son aceptables, lo que quiere decir que el modelo se acerca bastante a la realidad.

El porcentaje de diferencia que se obtiene del análisis es de solo 11%, lo cual es bastante satisfactorio, si se tiene en cuenta que la fibra de fique presenta variabilidad en su diámetro a lo largo de una misma fibra, por lo tanto su resistencia a la tensión también varía, dando como resultado la diferencia entre los valores reales y teóricos.

7.2 MODELO A FLEXION DEL MORTERO REFORZADO CON LA FIBRA DE FIQUE.

Para realizar este modelo se tiene como base el análisis de la falla, ya que un material sometido a flexión presenta dos zonas, una a flexión y otra a compresión, puesto que el mortero tiene muy baja resistencia a la flexión y la resistencia a la flexión de la fibra es mucho mayor que la resistencia del mortero se puede suponer que antes de que la fibra falle, el mortero ya se ha agrietado, así de esta forma se puede utilizar como modelo una sección transformada, aplicando los conceptos de resistencia de materiales.

FIGURA 31. Resistencia total a Flexión de un material reforzado con fibra.



Las dimensiones de la probeta son:

Base = b = 40 mm.

Altura = h = 40 mm.

Distancia a el centro de la fibra = d = 30 cm.

Modulo promedio de elasticidad de la fibra = E_{fibra} = 6792 Mpa.

Modulo promedio de elasticidad del mortero = $E_{mortero}$ = 4510 Mpa.

Esfuerzo promedio de adhesión del la fibra mortero = F_{Adh} = 0.71 Mpa

Esfuerzo promedio de flexión en el mortero = F_m = 1.82 Mpa

Para obtener los resultados seguimos el siguiente proceso.

1. se calcula el valor de n para empezar a determinar la sección transformada

$$n = \frac{E_{fibra}}{E_{mortero}}$$

2. Una vez obtenidos todas las variables, se procede a calcular el eje neutro.

$$b * x * \left(\frac{x}{2}\right) = n * A_f * (d - x)$$

3. Luego se calcula el momento de inercia de la sección transformada

$$I = \frac{1}{3} b * x^3 + A_f * (d - x)^2$$

4. Para calcular el momento al que esta sometido el mortero es necesario tomar datos del mortero sin refuerzo y sumarle lo que aumentaría gracias a la fuerza de adhesión entre el mortero y la fibra

$$M_n = \frac{(f_c + f_{adh}) * I}{n * x}$$

5. Por ultimo se calcula el esfuerzo a flexión en el material compuesto

$$f_m = \frac{M_n * y}{I}$$

TABLA 14. Resistencia teórica de las probetas reforzadas a Flexión.

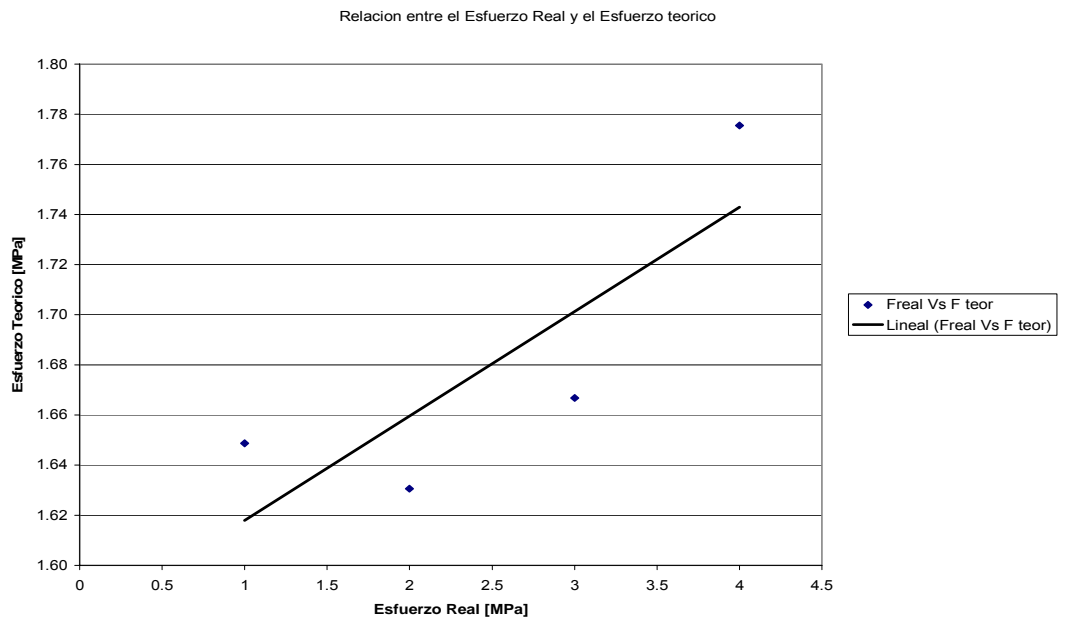
MUESTRA #	DIAMETRO DE REFUERZO [mm]			Af	x	I	Mn	fm
	A	B	C	[mm ²]	[mm]	[mm ⁴]	[N*mm]	[N/mm ²]
1	0.12	0.11	0.14	0.04	0.28	32.27	186.96	1.65
2	0.15	0.16	0.12	0.05	0.33	43.69	215.13	1.63
3	0.12	0.11	0.11	0.03	0.26	27.05	173.02	1.67
4	0.13	0.12	0.13	0.04	0.29	33.74	205.85	1.78

Al comparar los siguientes resultados con los valores de esfuerzos obtenido en el laboratorio se tiene.

TABLA 15. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico

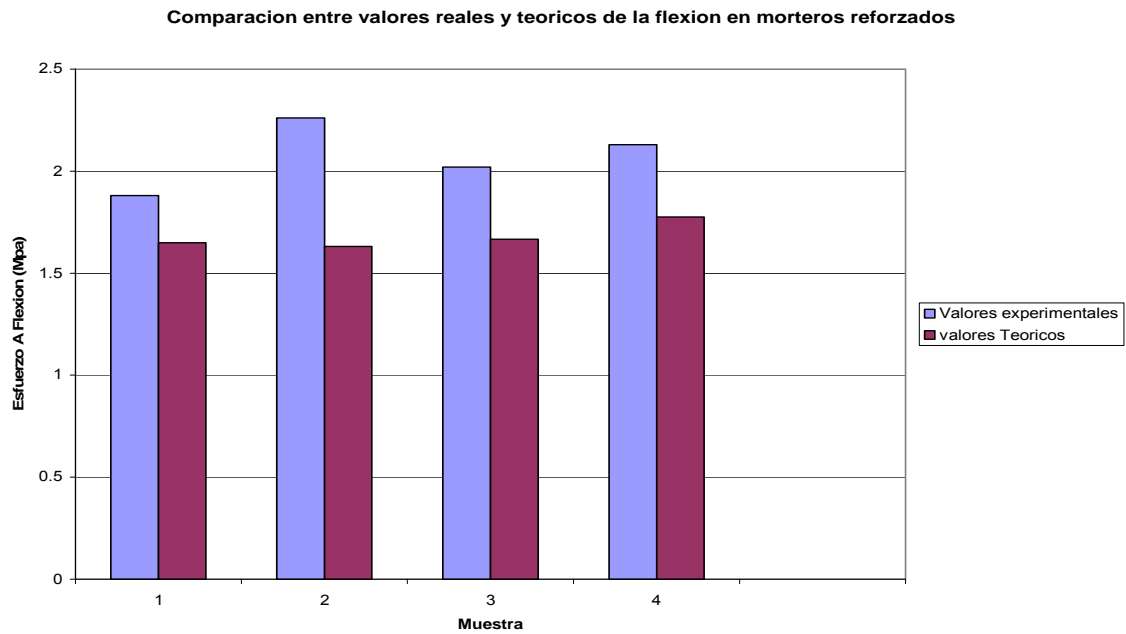
MUESTRA #	fm (real) [Mpa]	fm (teorico) [Mpa]	% DIFERENCIA %
1	1.88	1.65	14.03
2	2.26	1.63	38.60
3	2.02	1.67	21.19
4	2.13	1.78	19.97

FIGURA 32. Relación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico.



De las graficas se puede apreciar que la correlación entre los valores es cerca de un 23.5%, lo que indica que aunque la fibra aumenta la resistencia a la flexión, esta resistencia no es como la que se esperaría obtener ya que la fibra presenta una serie de problemas debido a que el diámetro de la fibra no es uniforme, y en algunos sectores la fibra es laminar o presenta algún tipo de daño debido a su forma de obtención o a su deterioro.

FIGURA 33. Comparación entre el esfuerzo real y el esfuerzo teórico



8. CONCLUSIONES

- La fibra de fique es un material que tiene alta resistencia a la tensión, soportando esfuerzos a tensión de hasta 1400 Mpa, lo cual permite afirmar que es una excelente adición para el concreto y el mortero, pues resulta un material compuesto con alta resistencia a la tensión y flexión.
- La resistencia a la tensión de la fibra de fique varía sustancialmente con el diámetro promedio de la fibra, obteniendo como resultado que las fibras de mayor diámetro promedio soportan mayor carga, entonces se recomienda utilizar las fibras de mayor diámetro para reforzar el concreto.
- Las fuerzas de adherencia mortero-fibra de fique dependen de la profundidad de anclaje y del diámetro promedio, el valor de estas fuerzas oscilan entre 1.96 y 7.85 Mpa para diferentes diámetros y profundidades de anclaje, las fuerzas aumentan con el aumento del diámetro promedio de la fibra anclada, también aumentan con el aumento de la profundidad de anclaje.
- Con respecto a los esfuerzos de adherencia estos se presentan hasta una profundidad aproximada de 2 cm., pues después de esta profundidad la fuerza de adhesión es mayor que la resistencia a tensión del fique y entonces la fibra no se desprende de la matriz, sino que falla la fibra de fique.
- El valor aproximado del módulo de elasticidad de la fibra de fique es de 9000 Mpa, lo cual indica que este material es bastante deformable y se

puede decir que presenta un comportamiento elástico. Pues para cargas pequeñas la deformación no es permanente.

- El refuerzo de fibra de fique que se utilizó en el mortero reforzado a tensión, el cual se dispuso en el sentido de aplicación de la carga, ocasionó un aumento de aproximadamente 13%, lo que permite decir que este refuerzo está trabajando con una buena efectividad, pues la cantidad de refuerzo es mínimo, comparada con el volumen de mortero.
- La resistencia a la flexión también aumentó aproximadamente en un 12%, lo cual indica que la posición del refuerzo fue adecuada, logrando una excelente efectividad de este refuerzo a flexión.
- La orientación del refuerzo utilizado en el mortero reforzado a tensión y flexión brinda excelentes resultados, pues la cantidad de fibra fue mínima comparada con el porcentaje de mortero en cada molde.
- Los valores reales y teóricos de la resistencia a la tensión difieren en aproximadamente un 11%, lo cual es aceptable para un modelamiento inicial, en el cual posiblemente no se tengan todas las consideraciones necesarias.
- Los valores reales y teóricos de la resistencia a la flexión difieren en un 41%, lo que indica que el modelo presenta varios parámetros, principalmente por el carácter mecánico de la fibra ya que sus propiedades no son tan uniformes como se esperaba, aunque esto se puede cambiar, mejorando la calidad de la fibra desde el momento de su plantación y obtención.

- Los resultados obtenidos en este proyecto fueron concordantes con observaciones de experimentos realizados con anterioridad y bibliografía consultada, en los cuales se corrobora que los refuerzos de fibra mejoran de varias maneras la tenacidad de la matriz, ya que una grieta que se mueva a través de la matriz encuentra una fibra; si la unión entre la matriz y la fibra no es buena, la grieta se ve obligada a propagarse alrededor de la fibra, a fin de continuar el proceso de fractura. Además, una mala unión ocasiona que la fibra empiece a separarse de la matriz. Ambos procesos consumen energía, e incrementan, por lo tanto, la tenacidad a la fractura. Finalmente, al iniciarse la grieta en la matriz, fibras aun no rotas pueden formar un puente sobre la grieta, lo cual proporciona un esfuerzo compresivo que evita que la grieta se abra.
- Los resultados obtenidos y los modelos que se realizaron, concluyen que la fibra mejora las propiedades mecánicas del mortero, principalmente la resistencia a la tensión, dando soluciones a problemas tan frecuentes en el concreto y mortero como lo es la retracción del fraguado, problemas de microfisuración en elementos sometidos a flexión y tensión.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones procesos que mejoren la calidad de la fibra y que permitan que las propiedades de este material sean mas uniformes.
- En esta investigación no se estudio los problemas que pueda presentar la fibra gracias a la alcalinidad del mortero, aunque hay varias tesis que lo han hecho, seria bueno que se estudien todos las propiedades del a fibra protegida o mineralizada ya que puede haber una variación considerable en las propiedades del mortero.
- El fin de este proyecto es realizar una investigación para mejorar la estructura interna del mortero y distribuir mejor los esfuerzos debido a que la mezcla tiene una matriz más densa, sin embargo se resalta que no se pretende sustituir el acero, si no mejorar todo el conjunto concreto acero.
- Para futuras investigaciones es recomendable que se investiguen los morteros y concretos reforzados con fibras sometidos a fuerzas de impacto, ya que al ser la mezcla mas densa, disipa mayor energía.
- Se recomienda que para futuras utilizations de fibra de fique en morteros y concretos la longitud de estas fibras, sea mayores a 2 cm., ya que para longitudes menores hay desprendimiento de la fibra y la mezcla no funciona óptimamente.

BIBLIOGRAFIA

- BOLAÑO, Jair; ZAPATA, Luis. Utilización de un manto en fibra de fique como alternativa de geotextil para la solución de materiales geotécnicos. Proyecto de grado U.I.S., 1998.
- PADILLA, Heli; RAMIREZ, Jorge. Utilización de la fibra de fique como agregado en la fabricación de productos aglomerados. Proyecto de grado U.I.S., 1999.
- SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Santa Fe de Bogotá. 1987.
- PEREZ, Jorge. El Fique. Su taxonomía, cultivo y tecnología. 2ª edición. Editorial Colima. Medellín. 1976.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Normas técnicas colombianas sobre hormigón, cemento, acero de refuerzo y agregados.
- CHINCHILLA, Próspero. Materiales para construcción. 4ª edición Universidad Santo Tomas. Bogotá. 1996.
- JUAREZ, César; VALDEZ, Pedro; DURAN, Alejandro. Fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en materiales de construcción. Facultad de ingeniería civil, Universidad Autónoma de Nueva León. México. 2004.

- CAMBRONERO, L.E.G; MORAÑO, A.J. Obtención de morteros de cemento con fibra natural mediante la aplicación de la norma UNE – EN 196-1. Ingeniería de materiales. Madrid, España. 1999.
- QUINTERO, Sandra; GONZALEZ, Luis. Uso de la fibra de estopa de coco para mejorar las propiedades mecánicas del concreto. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del norte. Colombia. 2006.
- MOJICA, Almicar; PAREDES; Joaquín. El cultivo del fique en el departamento de Santander. Centro regional de estudios de Bucaramanga. Bucaramanga. 2004.
- BRAVO, José. “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de vidrio: Influencia del porcentaje de fibra adicionado”. Universidad de Chile. Chile. 2003.
- G. Ramakrishna; T. Sundararajan. Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study. ScienceDirect. Cement & concrete composites. Department of Civil Engineering, Pondicherry College. India. 2004.
- Holmer Savastano Jr. Special theme issue natural fibre reinforced cement composites. ScienceDirect. Cement & Concrete Composites. University of Sao Paulo. Brasil.2004.