

COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

MECHANICAL BEHAVIOR OF THE CONCRETE REINFORCED WITH SUGAR CANE BAGASSE FIBERS

JAIRO ALEXANDER OSORIO SARAZ

Facultad de Ciencias, Agropecuarias Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, aosorio@unalmed.edu.co

FREDY VARÓN ARISTIZABAL

Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, fvaron@unal.edu.co

JHONNY ALEXANDER HERRERA MEJÍA

Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Jaherre1@unalmed.edu.co

Recibido para revisión octubre 10 de 2006, Aceptado febrero 12 de 2007, versión final febrero 28 de 2007

RESUMEN: Se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la densidad del material. Este estudio encontró que el compuesto con las fibras retenidas por el tamiz N° 6, y con una adición entre el 0,5 y 2,5% de fibras en relación al peso total del agregado grueso, presentó una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m³.

PALABRAS CLAVE: Fibra de bagazo de caña de azúcar; Materiales compuestos; Materiales de construcción.

ABSTRACT: A material composite of concrete cane bagasse fiber was prepared, where the fibers presented a random distribution within the composite. We studied the influence of the size and the fiber addition expressed in percentage of the gross weight, the resistance to compression and the density of the material. This it studied found that with fibers retained by the sieve N° 6, and with an addition between 0.5 and 2.5% of fibers in relation to the gross weight of the heavy aggregate, it offered a resistance between 16.8 and 8,6MPa, to the 14 days of setting, and between 141 and 336 kg/m³ in its density compared with a concrete heavy of 2400 kg/m³.

KEYWORDS: Sugar cane bagasse fiber; Composite materials; Building materials.

1. INTRODUCCIÓN

En consecuencia con el desarrollo sostenible y la posibilidad de utilizar materiales alternativos de construcción, que permitan reducir la extracción y uso de materiales convencionales, se presenta la necesidad de continuar investigando en el campo de materiales que permitan no solamente reducir costos sino que brinden seguridad en cuanto a sus propiedades y necesidades de resistencia según sus usos.

Para tales efectos, existe la posibilidad de uso de fibras naturales en concretos y morteros las cuales han tenido un amplio estudio desde los años 70's, entre las cuales se tienen las fibras de coco, plátano, bagazo de caña y algunos tipos de bambúes.

Un hormigón o concreto es un material compuesto de partículas grandes formado por una matriz continua cementante que une a un agregado de partículas (agregado u árido fino o arena, y agregado o árido grueso).

En este sentido amplio, la matriz cementante o aglutinante podrá ser de naturaleza cerámica (cementos Pórtland, yeso, cal hidratada, arcilla, azufre entre otros), polimérica (resina epóxica, acrílico, polipropileno, betún, brea o asfalto, etc), y metálica (un metal puro o una aleación) (Sánchez de Guzmán, 1993).

Se denomina bagazo al residuo de materia después de extraído su jugo. Una clase de bagazo es el residuo leñoso de la caña de azúcar. En estado fresco estos bagazos contienen un 40% de agua. Suelen utilizarse como combustible de las propias azucareras.

La fibra de la caña de azúcar tiene una significación particular, por cuanto constituye, además de un material combustible para la industria azucarera y otras, una valiosa materia prima para otras industrias tales como la del

papel, maderas artificiales entre otros.

El uso de la fibra de bagazo para material manufacturado, es otra alternativa de solución para el uso de este tipo de materiales. Si se compara el uso de las fibras naturales con materiales sintéticos, estas tienen dos grandes ventajas, su baja densidad y su reutilización (J.M.L Reis, 2006).

Según Sera (1990), las características morfológicas y las propiedades físico-mecánicas del bagazo de caña de azúcar, lo catalogan como un material adecuado para ser usado como Fibrorefuerzo.

En la Tabla 1, se dan a conocer las propiedades más significativas del bagazo de caña, las cuales sirven de base para el aprovechamiento y manipulación de este tipo de material.

Tabla 1. Propiedades de la Fibra del Bagazo de Caña (Sera, 1990).

Table 1. Properties of the Fiber of the Cane Bagasse (Sera, 1990).

Especificaciones	Bagazo
Continuo / Disperso	Disperso
Orientación	Aleatoria
Matriz	Cemento
Longitud mm	26
Diámetro promedio (mm)	0.24
Gravedad específica (g/cm ³)	1.25
Absorción de humedad %	78.5
Contenido de humedad %	12.1
Resistencia última MPa	196.4
Modulo de elasticidad GPa	16.9
Resistencia a la adherencia MPa	0.84

La necesidad de obtener materiales alternativos al concreto reforzado convencional se han incrementado; y, en esa búsqueda de alternativas, el concreto reforzado con fibras presenta las características de una solución con viabilidad técnica y económica. Así, se han utilizado ya, fibras de acero, fibras de vidrio, fibras de carbón, fibras minerales y naturales (madera, yute, bambú, coco, henequén, asbesto, lana, entre otros), fibras de polipropileno y muchas otras fibras sintéticas como el Nylon y

Poliéster (Cepeda, R. 1997).

La alta alcalinidad de la pasta de cemento Pórtland, aunque protege a las fibras de acero de la corrosión afecta a otros tipos de fibras deteriorándolas con el paso del tiempo como es el caso de las fibras de vidrio y las fibras naturales celulósicas. Este último ocurre por la degradación que sufre la fibra natural debida al ataque químico que con el tiempo le produce el agua alcalinizada por los elementos alcalinos contenidos en el cemento (Gram & Hans, 1988).

Los procesos de mineralización (petrificación) mejora indudablemente la adherencia entre la fibra y la matriz. De este modo, la fibra se rigidiza y fragiliza a medida que transcurre el tiempo, aunque se hace más resistente. Como consecuencia, disminuye la alta tenacidad o capacidad de absorción de energía producida en el compuesto inicialmente por la incorporación de las fibras. Sin embargo, la Resistencia a la Flexión y el Módulo de Elasticidad se incrementan comparativamente (Gram & Hans, 1988).

Se han obtenido algunas prácticas con el fin de minimizar los procesos de deterioro de las fibras vegetales en la matriz de concreto por efectos de alcalinidad, y buscando que el fraguado del cemento no se vea afectado, utilizando por ello el lavado del material. (Beraldo, 1997).

Para evitar estos agrietamientos en las matrices concreto-fibras naturales como es el bambú, tanto en los procesos de armado y curado, se han utilizado varios tipos de tratamientos con diferentes grados de usos, entre los cuales se encuentran algunas cloruros y capas finas de Igol-T o negrolin, los cuales han mejorado la relación entre la interfase bambú-concreto por encima del 90% (Pereira da Rosa, 2002).

Igualmente, Beraldo (2004), realizó experimentos con partículas de fibras naturales como son el bambú para evitar la incompatibilidad en la matriz cemento-bambú, utilizando para ello varios tipos de tratamientos, donde se obtuvo como mejor resultado el lavado realizado con solución de cloruro de calcio al 5% por 24 horas en el cual fueron inmersas las fibras de bambú.

Esta investigación, corresponde a los resultados de una primera fase de un proyecto global que se viene adelantando en el Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos de La Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, el cual tiene como objetivo la caracterización de los concretos reforzados con fibras de bagazo de caña, con el fin de recomendar ampliamente su uso, principalmente a nivel rural. Para ello es indispensable continuar adelantando una serie de

investigaciones que permitan encontrar la incidencia de algunos parámetros en la resistencia final del concreto y su comportamiento en el tiempo, como lo son los tipos de tratamientos inhibidores de reacciones químicas en la matriz entre el cemento y el material vegetal, el tipo de arenas, el tipo de cemento a utilizar, las relaciones agua cemento entre otros.

Se pretendió entonces, a partir de este trabajo conocer el comportamiento a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, aprovechando los grandes volúmenes de desechos provenientes de la agroindustria de beneficio de caña de azúcar, que se generan en algunas zonas del país, especialmente en las regiones del Valle, Santander y algunas zonas de Antioquia,

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

El presente trabajo se llevo a cabo en el laboratorio de Construcciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

2.2 Metodología

Se realizaron ensayos para determinar la resistencia a la compresión en cilindros de concreto reforzado con fibras de bagazo de caña, para ello se preparó una mezcla con la variedad de caña Integral RD 7511 y concreto 1:2:3 bajo la norma NI 550 y 673.

Se fabricaron probetas en concreto 1:2:3, (cemento, arena y grava) adicionando las fibras retenidas por el tamiz N°4 (4,76 mm) y el tamiz N°6 (3,56 mm) cuyo porcentaje de fibras en relación con el peso del agregado grueso adicionado para cada probeta, fue del 0,5, 2,5 y 5,0 %.

Estos porcentajes fueron definidos una vez realizado ensayos preliminares, y fueron los que mejores resultados han dado en estudios con otras fibras realizados por Juárez et al (2004) y

Beraldo (2004), y se elaboraron unas probetas testigos, con la misma relación de concreto.

Partículas de bagazo. El bagazo seleccionado presentó un porcentaje de humedad promedio del 35% en base seca.

Se realizó un lavado previo de las fibras a utilizar como fibrorefuerzo para eliminar la presencia de carbohidratos libres luego se efectuó el secado del bagazo para evitar problemas de ataque de hongos y plagas, siguiendo las recomendaciones realizadas por Juárez, et al (2004).

Posteriormente, se efectuó un corte en la fibra entre 15 y 25 mm de longitud, cuyas dimensiones son recomendadas por Juárez et al (2004), y las que mejor comportamiento presentaron después de realizar ensayos preliminares.

Tratamiento aplicado a las partículas. Las partículas o fibras de bagazo fueron inmersas en Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C, para darle una protección del medio alcalino de la pasta de cemento.

Cemento. Se utilizó el cemento Pórtland tipo I, con adiciones de cloruro de calcio al 3%.

Elaboración de la mezcla. Para la elaboración de los cilindros se caracterizaron las arenas y el triturado empleado en la elaboración de las mezclas, utilizando las mallas recomendadas por

la norma 174 dada por Icontec (2000) citadas por el IPC (1994).

Se creó una mezcla patrón manteniendo una relación de cemento, arena y grava de 1:2:3 y una relación Agua/Cemento (a/c) de 0,55 recomendada por Fördös (1988) de tal manera que la cantidad de agua diera a la mezcla un fácil manejo a la hora del mezclado, vaciado y desmoldado, además de una resistencia óptima, manteniendo siempre constantes la humedad en cada uno de estos elementos.

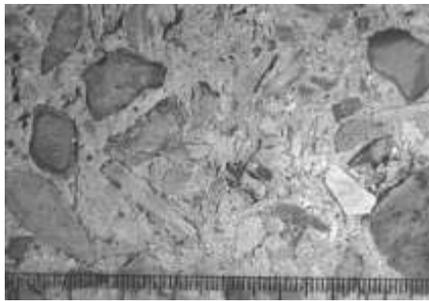
A la mezcla compuesta por concreto y partículas de bagazo se le adicionó cloruro de calcio al 3,0 %, en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, siguiendo las recomendaciones realizadas por Beraldo (2004); obteniéndose finalmente fibras con una humedad superior al 100% con el fin de evitar la pérdida de trabajabilidad y una incompatibilidad química entre la fibra y el cemento.

Para la elaboración de los cilindros del 0.5, 2,5 y 5,0% con adición de fibra como reemplazo en parte del agregado grueso, se mantuvo una relación en la mezcla de 1:2:2,98:0,015; 1:2:2,92:0,075 y 1:2:2,85:0,15 (cemento, arena, grava y fibra) respectivamente. Se elaboraron 6 tipos de mezcla, en donde permanecieron constantes la cantidad de cemento, arena y la relación a/c, variando únicamente la cantidad de agregado grueso, representado en peso de la fibra de bagazo. En la Tabla 2, se da a conocer el peso en gramos del bagazo seco, agregado a cada uno de los diferentes cilindros.

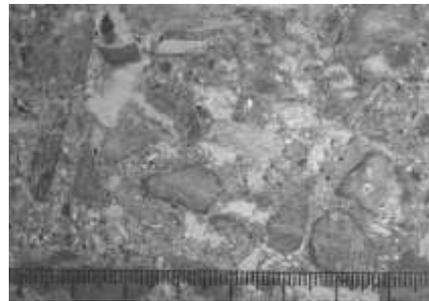
Tabla 2. Peso de la fibra en gramos para cada cilindro.
Table 2. Weight of the fiber in grams for each cylinder.

Malla N°	Peso en gramos de acuerdo al % de fibras		
	0.5	2.5	5
4	31.87	142	271.80
6	32.38	143.85	281.90

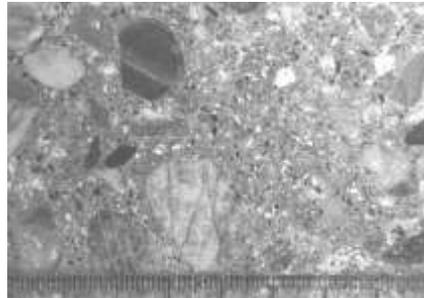
La distribución de las fibras de bagazo de caña en la matriz de concreto se presentó de manera aleatoria como se puede ver en la Figura 1.



Adición de fibra 5%



Adición de fibra 2,5%



Adición de fibra 0,5%

Figura 1. Distribución de fibras en el material compuesto.
Figure 1. Fiber distribution in the composite material.

2.3 Procedimiento Para El Montaje De Los Cilindros De Prueba

Previamente al llenado de los moldes, estos fueron impregnados con una película delgada de aceite mineral; y se seleccionó la muestra de hormigón para el ensayo a compresión, según norma Icontec 454.

Los cilindros preparados permanecieron en reposo y después 24 horas de haber sido

elaborados se procedió a desmoldarlos. Inmediatamente después los cilindros fueron sometidos a un proceso de curado en tanques de agua durante 14 días.

Ensayo de las probetas. Para el ensayo de las probetas a compresión, se utilizó las normas Icontec 550 y 673, para lo cual se utilizó probetas cilíndricas de diámetro igual 6" (15 cm.) y altura igual a 12" (30cm.) (ver Figura 2).



Figura 2. Ensayo a compresión para obtener la resistencia del compuesto.
Figure 2. Test to compression to obtain the resistance of the composite.

Para cada tamaño de fibra (tamiz N°4 y N°6) se elaboraron tres probetas, con contenidos de fibra al 0.5, 2.5 y 5% del peso total del agregado grueso.

A cada probeta le fue determinada la resistencia a la compresión axial, a los 14 días de fraguado del compuesto, fallada para esto en la prensa hidráulica o maquina universal de ensayos, bajo la norma N, I. 550 y 673.

Análisis Estadístico. El modelo estadístico utilizado correspondió a una Análisis de Variancia ANOVA de 2², con tres repeticiones, con un $\alpha = 0,05$, es decir un nivel de confianza del 95%. Este modelo permitió definir la incidencia de cada uno de los factores más representativos en la resistencia a la compresión y su interacción.

Para determinar el tamaño muestral se hizo una prueba piloto con dos réplicas por tratamiento para cada probeta con diferentes

adiciones de fibras. Este tamaño se determinó por medio de las curvas características de operación, que es una gráfica de la probabilidad

de error tipo II contra el parámetro ϕ que refleja la medida en la cual la hipótesis nula es falsa.

El valor de n fue probado para n=3 y se obtuvo una potencia deseada mayor o igual a 95%, por lo que el tamaño muestral fue considerado como adecuado.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 3, muestra los análisis de varianza para determinar la incidencia de varios parámetros en la resistencia a compresión. Los resultados estadísticos permiten concluir que los factores como los días de fraguado, el porcentaje de la fibra adicionada y abertura del tamiz, resultaron significativos ($P < 0,05$), sobre la resistencia a compresión

Tabla 3. Análisis de Varianza (ANOVA) para la Fuerza a Compresión.
Table 3. Analysis of Varianza (ANOVA) for the Force to Compression.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados de Libertad	de Media de Cuadrados	de Valor de F	Valor de P
Día	15,21	1	15,21	20,45	0,0001
Fibra	1060,61	2	530,30	713,14	0,0000
Tamiz	62,41	1	62,41	83,93	0,0000
Día*fibra	7,15	2	3,57	4,80	0,0176
Día *tamiz	0,49	1	0,49	0,66	0,4249
Fibra*tamiz	15,76	2	7,88	10,60	0,0005
Día*fibra*tamiz	0,08	2	0,04	0,05	0,9467
Residual	17,85	24	0,74		
Total (corregido)	1179,55	35			

La Tabla 4, muestra los intervalos de Duncan con un nivel de confianza del 95%. La resistencia a compresión se comportó inversamente proporcional con respecto a la adición de fibra en el concreto, presentando diferencias significativas en los resultados.

Los mayores valores de resistencia se presentaron en el porcentaje de adición de fibra del 0.5% tanto para el tamiz N° 4 y N° 6, siendo mayor el valor de la resistencia en el tamiz N° 6.

Tabla 4. Intervalos múltiples de Duncan, Resistencia a la Compresión (MPa).

Table 4. Multiple intervals of Duncan, Compressive strenght (MPa).

Grupos	Valor medio	Limite inferior	Limite superior	Número de observaciones	Número del tamiz
Testigo	15,70	15,31	16,46	18	
0,5	13,43	12,71	14,16	18	4
2,5	4,92	4,19	5,46	18	4
5,0	1,65	0,92	2,38	18	4
Grupos	Valor medio	Limite inferior	Limite superior	Número de observaciones	Número del tamiz
Testigo	15,70	15,31	16,46	18	
0,5	16,88	16,16	17,61	18	6
2,5	8,60	7,87	9,33	18	6
5,0	2,42	1,69	3,14	18	6

Promedios con letras diferentes, en cada fila, son estadísticamente diferentes según la prueba rangos múltiples de Duncan ($P < 0,05$)

La Figura 3, muestra la variación de la resistencia a compresión de las probetas utilizadas. Se encontró que en probetas con el mismo porcentaje de fibras, y una variación en el tamaño de la abertura del tamiz, se produce una disminución en la resistencia cuando el tamaño de fibra es mayor. Para porcentajes de fibra del 0,5, 2,5 y 5%, se reduce la resistencia en un 20,4, 42,8 y 31,7% respectivamente, de las fibras pasadas por el tamiz N°4 con respecto al tamiz N°6. Se encontró además que el mejor valor de resistencia se obtuvo en la probeta elaborada con una adición de fibra del 0,5 % que pasa por el

tamiz N°6, cuyo valor incluso es mayor que la probeta testigo.

Los resultados obtenidos tanto por Arbelaez (1995), como por Beraldo (2004), utilizando fibras de bambú, aunados con los de esta investigación, permiten concluir que a menores tamaños y porcentajes de fibras naturales en el compuesto, se tiende a obtener valores de resistencia a la compresión más cercanos a un concreto patrón. Lógicamente, existen otras variables que influyen en la resistencia final del compuesto como es el tipo de cemento utilizado, las características de la arena, la relación agua cemento y el tipo de curado entre otros.

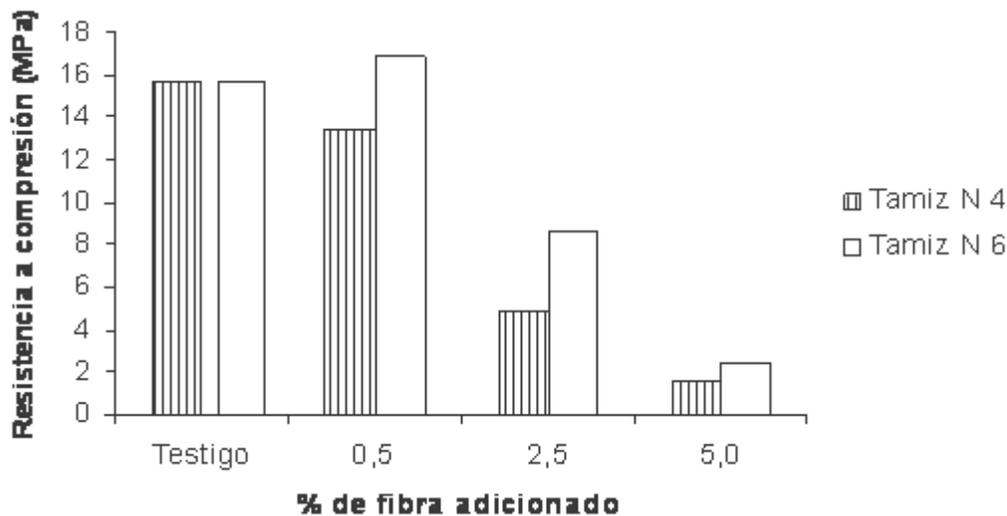


Figura 3. Resistencia a la compresión (MPa)

Figure 3. Compressive strenght (MPa)

La Tabla 5, muestra los análisis de varianza para determinar la incidencia de varios parámetros en la densidad del material compuesto. Los resultados estadísticos permiten concluir que el factor, porcentaje de fibra adicionada $P(0.0000) < 0.0500$ y la abertura del tamiz

$P(0.0000) < 0.0500$, son significativas con respecto a la variable respuesta, es decir, que estas variables características del volumen de la fibra inciden en la densidad, como era de esperarse.

Tabla 5. Análisis de Varianza (ANOVA) para la densidad.
Table 5. Analysis of Varianza (ANOVA) for the density.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	de Grados Libertad	de Media de Cuadrados	de Valor de F	Valor de P
Fibra	374055,00	2	187028,00	732,81	0,0000
Tamiz	677346,00	2	338673,00	1326,99	0,0000
Fibra*tamiz	190218,00	4	47554,40	186,33	0,0000
Residual	11484,90	45	255,22		0,0000
Total (Corregido)	1,25E+06	53			

La Tabla 6, muestra los intervalos de Duncan con un nivel de confianza del 95%. La densidad del concreto compuesto se comportó inversamente a la adición de fibras a la probeta,

presentándose diferencias significativas en los resultados, siendo mayores los valores de densidad que pasa por el tamiz N°6 en comparación con el tamiz N°4.

Tabla 6 . Intervalos múltiples de Duncan, para la Densidad (Kg/m^3)
Table 6 . Multiple intervals of Duncan, for the Density (Kg/m^3)

Grupos	Valor medio	Limite inferior	Limite superior	Número de observaciones	Número del tamiz
Testigo	2325,83	2312,70	2338,97	18	
0,5	2258,92	2245,78	2272,06	18	4
2,5	2025,96	2012,82	2039,10	18	4
5,0	1950,52	1937,38	1963,65	18	4
Grupos	Valor medio	Limite inferior	Limite superior	Número de observaciones	Número del tamiz
Testigo	2325,83	2312,70	2338,97	18	
0,5	2266,18	2253,04	2279,31	18	6
2,5	2034,00	2020,86	2047,14	18	6
5,0	1998,10	1984,96	2011,23	18	6

La Figura 4, muestra la variación de la densidad del concreto compuesto con la adicción de fibras. Para concretos con adición de fibra que retiene el tamiz N°4, al variar el porcentaje de fibra de 0,5, 2,5, y 5%, la densidad del concreto reforzado se reduce en un 2,9, 12,9, y 16,1%

respectivamente con relación a la densidad del testigo; de igual manera para las fibras que retiene el tamiz N°6 al variar el porcentaje de 0.5%, 2.5% y 5.0% la densidad es reducida en un 2.6%,12.5% y 14.1%.

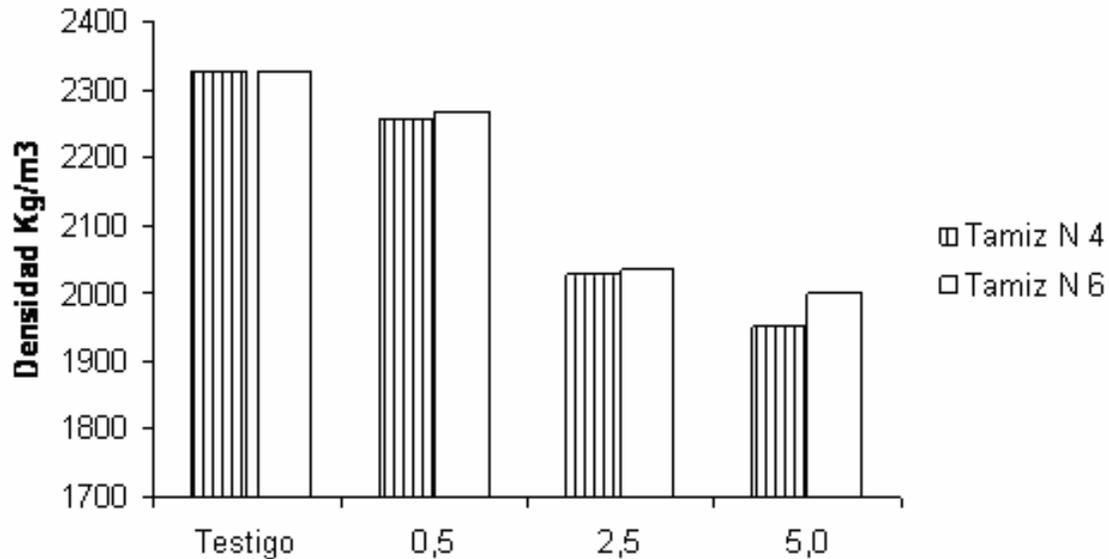


Figura 4. Comparación de los resultados de la densidad con respecto al porcentaje de fibra adicionado y la abertura del tamiz.

Figure 4. Comparison of the results of the density with respect to the added percentage of fiber and the opening of the sieve.

En síntesis, se encontró que en la medida que se adiciona fibra a la matriz de concreto, se reduce considerablemente la resistencia del material y la densidad del mismo aspecto que coincide con lo denotado por Juárez et al (2004) y Shah, S. P (1993), por tanto un material compuesto con fibras de bagazo de alta resistencia y que permita disminuir la carga muerta por el peso propio en una estructura, puede ser aquel cuyo porcentaje de fibras adicionadas varíe entre el 0,5 y el 2,5% y cuyo tamaño de fibra sea retenido por el tamiz N°6.

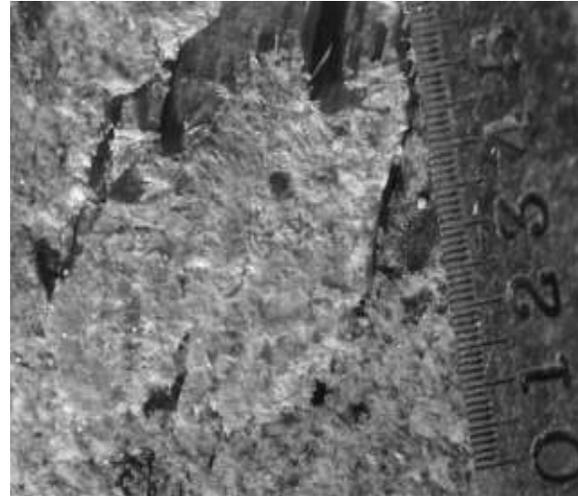
La Figura 5, muestra la adherencia de las fibras en el compuesto, cuyos tamaños son retenidos en el tamiz N°4 y N°6. Se observa como las fibras retenidas en el tamiz N°6, presenta mayor área para la adherencia del material cementante, comparada con la del tamiz N°4, aspecto que probablemente es el que permite una mayor resistencia del material cuando la fibra es retenida por dicho tamiz.

Se observa además, que la adherencia de las fibras a la matriz del concreto es aceptable en aquellos perímetros donde la fibra es uniforme, sin embargo se presentan espaciamentos entre la fibra y la matriz de concreto, debido a la ausencia de áridos finos, a la variación del diámetro en la sección transversal de la fibra, a la irregularidad de la longitud y posiblemente a la degradación que sufre la fibra natural debida al ataque químico que le produce los elementos alcalinos contenidos en el cemento. Pese al tratamiento realizado; lo anterior puede generar una menor resistencia en el concreto fibroreforzado, debido a que estos espacios disminuyen la compacidad en el concreto. Estos aspectos presentados coinciden con los obtenidos por Beraldo (2004) y Bilba et al (2006) en compuestos con otras fibras naturales.

Pese a lo anterior se considera que el tratamiento aplicado generó baja degradación



Fibra retenida por el tamiz N°4



Fibra retenida por el tamiz N°6

Figura 5. Adherencia de las fibras retenidas en los tamices 4 y 6
Figure 5. Adhesion of fibers retained in sieves 4 and 6

a las fibras de bagazo dentro del compuesto, dando resultados positivos como los encontrados por Beraldo (2004), en fibras de bambú.

En la Figura 6, se observa el tipo de falla presentada en los compuestos sometidos a compresión. Se encontró que las fallas presentadas en las probetas se presentaron en el área de incidencia de los agregados gruesos, similar a los procesos de falla que ocurrieron en la probeta patrón, y no alrededor de las fibras, aspecto que se debe posiblemente a que los agregados gruesos presentan superficies menos uniformes y con diámetros mayores que las fibras, incidiendo dicho aspecto notoriamente en la compacidad del concreto y en su resistencia.

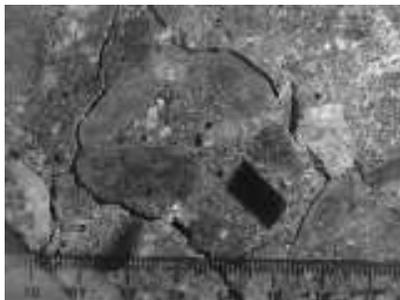


Figura 6. Falla presentada en las probetas a compresión.

Figure 6. Fault presented in the test tubes to compression

4. CONCLUSIONES

La fibra de bagazo de caña utilizada en la elaboración del concreto reforzado a compresión, le imparte propiedades mecánicas importantes al compuesto, principalmente las probetas con adiciones de fibra entre el 0,5 y 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, y cuyas fibras con longitudes entre 15 y 25 mm son retenidas en el tamiz N°6, las cuales alcanzan resistencia a compresión a los 14 días de fraguado entre 8,6 y 16,88 MPa, estando por encima de probetas sin adición de fibras.

El material compuesto con fibras de bagazo con porcentajes de fibra entre el 0,5 y 2,5% en relación al peso total del agregado grueso, permiten reducciones en la densidad del material que varían entre 141 y 336 Kg/m³, con respecto a probetas patrones con densidades promedias de 2400 Kg/m³, aspecto importante para la consideración de cargas muertas por peso propio en estructuras.

La resistencia a compresión del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña es inversamente proporcional al porcentaje de la fibra adicionada y al diámetro de las partículas, aspecto que coincide con lo encontrado en

ensayos realizados en otras fibras como el coco, el bambú, entre otros

El tratamiento aplicado a las partículas o fibras de bagazo con Hidróxido de calcio al 5,0 % durante 24 horas a una temperatura de laboratorio de 24°C, y con cloruro de calcio al 3,0 % en relación a la masa de cemento como acelerante del fraguado, presento un comportamiento aceptable, permitiendo baja degradación de la fibra en la matriz del compuesto.

REFERENCIAS

- [1] ARBELAEZ, A. A. Mortero Reforzado con fibras de Bambú. Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia 1995.
- [2] BERALDO A.L. Compositos biomassa vegetal cemento. In Toledo filho D. Materiais nao convencionais para construcoes rurais. p 1-48, 1997
- [3] BERALDO A.L. Composito Ligero Partículas de Guadua. Seminario Internacional de Guadua, Pereira Colombia. 15p, 2004.
- [4] BILBA K, ARSENE M, QUESANGA A. Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on setting of bagasse/cement composite. *Cement and concrete composites* 25 91-96 (2003).
- [5] CEPEDA, R., ESCOBAR HENRIQUEZ, J.M., GÓMEZ AGUIRRE, C.R., ESTELA, N. 1997. *Revista del ISCYC*. San Salvador 1997, Vol 2, N 5, pág 6-15.
- [6] FÖRDÖS, Z., Natural or Modified Cellulose Fibres as Reinforced in Cement composites, *Concrete Technology and Design Vol. 5, Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*, edited by R. N, Swamy, Blackie and Son Ltd, U.K., 1988, p173 – 207.
- [7] GRAM., HANS. E. Durability of Natural fibres in concreto., *Natural Fibre Reinforced Cement and Concrete*. (Concrete Technology and desingn, Swamy, Ramnath Narayan, De.), Glasgow, Blackie. 1988.288 p.
- [8] I.C.P.C. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Manual de dosificación de Mezclas de Hormigón. Medellín. 1994.
- [9] J.M.L REIS. Fracture and flexural characterization of natural fiber-reinforced polymer concrete. *Construction and Building Materials* 20 (2006); 673-678.
- [10] JUÁREZ, ALVARADO, C.A, RODRÍGUEZ, P. Uso de fibras naturales de lechuguilla como refuerzo en concreto. *Ingenierías*, 2004, Vol VII, N°22.
- [11] PEREIRA DA ROSA. Analise teorica e experimental de colunas armado com bambu. Msc thesis. Departamento de Ingeniería Civil PUC Río., 2002
- [12] SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D. 1993. *Tecnología del hormigón y del mortero*. Universidad Javeriana. Segunda Edición. Bhandar Editores Ltda., Bogota.
- [13] SERA, E.E., ROBLES., AUSTRIACO, L., PAMA, R.P.. *Natural Fibers as Reinforcement*. *Journal of Ferrocement*, Bangkok. 1990. Vol. 20. No.2. P.109-124.
- [14] SHAH, S. P., Marikunte, S. S., *Fiber Reinforced Concrete*, Proc. of ACBM Faculty enhancement Workshop, 1993, pp. 226 – 252.