

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS CIVILES

TEMA:
“EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA)
EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES SIMPLES DE 21
MPA.”

AUTORES:
BASTIDAS ÑACATO EDWIN DARÍO
VERDEZOTO BORJA JAIRO MAURICIO

TUTOR:
ALTAMIRANO LEÓN BYRON IVÁN

Quito, mayo del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Bastidas Ñacato Edwin Darío y Verdezoto Borja Jairo Mauricio, con documentos de identidad N°1723207104 y 1724741846 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación con el tema: “EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA) EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, mayo del 2021

.....

Bastidas Ñacato Edwin Darío

C.I.:1723207104

.....

Verdezoto Borja Jairo Mauricio

C.I.: 1724741846

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Artículo, con el tema: “EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA) EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA.”, realizado por Bastidas Ñacato Edwin Darío con C.I.: 1723207104 y Verdezoto Borja Jairo Mauricio con C.I.: 1724741846, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, mayo del 2021



.....

Altamirano León Byron Iván

C.I.: 1709301590

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1. Materiales y sus características.....	3
2.1.1. <i>Paja toquilla</i>	3
2.1.2. <i>Agregado grueso</i>	4
2.1.3. <i>Agregado Fino</i>	4
2.1.4. <i>Cemento</i>	4
2.2. Procedimiento para la mezcla de hormigón.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5
3.1. Dosificación final	5
3.2. Resistencia a la compresión.....	6
3.3. Resistencia a la flexión.....	7
3.4. Correlación entre la resistencia a compresión y el módulo de rotura.....	8
4. CONCLUSIONES	10
REFERENCIAS	10

“EFECTO DE FIBRAS NATURALES DE CARLUDOVICA PALMATA (PAJA TOQUILLA) EN RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN HORMIGONES SIMPLES DE 21 MPA.”

“EFFECT OF NATURAL FIBERS OF CARLUDOVICA PALMATA (TOQUILLA STRAW) ON RESISTANCE TO COMPRESSION AND BENDING IN SIMPLE CONCRETE OF 21 MPA.”

Darío Bastidas-Ñacato¹, Mauricio Verdezoto-Borja².

Resumen

El artículo presentado tuvo como fin dar a conocer el comportamiento mecánico tanto a compresión como a flexión del hormigón al aplicar diversos porcentajes de fibras naturales de paja toquilla (*carludovica palmata*), planta muy conocida alrededor del mundo por los sombreros de Panamá y que se encuentra en abundancia en Ecuador, siendo factible su adquisición para libre producción, resultando una alternativa atractiva a fibras habituales. Se aplicó una metodología netamente experimental, partiendo de un hormigón simple, al mismo que se le incorporó distintos porcentajes de la fibra vegetal, es necesario aclarar que dichos porcentajes están en función a la masa total de la mezcla de hormigón. Se estableció una estrecha relación entre el porcentaje de fibra y el aumento de las propiedades mecánicas analizadas, dando un incremento pico al 0.2% de fibra y decreciendo luego de esta. A partir de los mismos datos conseguidos se elaboró una correlación de la resistencia a la compresión y el módulo de rotura en forma de ecuación, la misma que representa el comportamiento del hormigón al tener únicamente datos de resistencia a compresión. Por medio de los análisis realizados se logró concluir que la fibra vegetal trabaja de mejor manera para ensayos a flexión, aunque también aporta a la compresión, pero a menor escala.

Abstract

The purpose of the article presented was to show the mechanical behavior both in compression and bending of concrete when applying different percentages of natural fibers of toquilla straw (*carludovica palmata*), a plant well known around the world for its Panama hats and which is found in abundance in Ecuador, being feasible its acquisition for free production, resulting in an attractive alternative to usual fibers. A purely experimental methodology was applied, starting from a simple concrete, to which different percentages of the vegetable fiber were incorporated, it is necessary to clarify that these percentages are a function of the total mass of the concrete mixture. A close relationship was established between the percentage of fiber and the increase of the mechanical properties analyzed, giving a peak increase at 0.2% of fiber and decreasing after this. From the same data obtained, a correlation of compressive strength and modulus of rupture was elaborated in the form of an equation, which represents the behavior of the concrete when only compressive strength data is available. By means of the analyses carried out, it was possible to conclude that the vegetable fiber works better for flexural tests, although it also contributes to compression, but on a smaller scale.

¹ Estudiante de la carrera de ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

² Estudiante de la carrera de ingeniería Civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito – Ecuador

Autor para correspondencia: ebastidasn.jverdezotob1@est.ups.edu.ec

Palabras clave: correlación, fibra natural, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión. **Keywords:** correlation, natural fibers, compressive strength, Flexural strength.

1. Introducción

En la antigüedad se han implementado el uso de fibras naturales en la construcción, esto con el propósito de brindar un refuerzo a productos ocupados en obras civiles. Un gran ejemplo podría ser el uso de tapial y adobe en combinación con fibras de paja o carrizo, tal y como expone Espinoza [1], construcciones que pueden ser observadas en el centro histórico de Quito, capital de Ecuador.

El uso de fibras en la actualidad se ha ido intensificando de manera normada para lograr una mejora en propiedades mecánicas, como puede ser un aumento de resistencia a la compresión y flexión, entre otras propiedades [2].

La utilización de fibras incorporadas en hormigones y morteros han tenido un fuerte estudio desde los años 70's aproximadamente, entre las fibras analizadas se encuentran: fibras de coco, yute, bagazo de caña de azúcar, bambú, entre otras, tal y como indica Osorio[3], dando como resultado "ACI 544.1R-96" [4], normativa referente a fibras en el hormigón. Por tal motivo, el presente estudio ha profundizado en el comportamiento del hormigón incorporado con fibras naturales, ya que, las fibras de origen vegetal pueden significar una reducción en costos a comparación del uso de fibras convencionales.

Como se ha mencionado anteriormente, los resultados son positivos respecto al uso de fibras naturales y el aumento de propiedades mecánicas en hormigones, por lo cual se ha planteado el uso de un nuevo material aun no empleado en la experimentación del hormigón en combinación con fibras naturales, fibras de paja toquilla (*carludovica palmata*).

La fibra de paja toquilla a utilizar proviene de una planta que se encuentra en zonas tropicales del Ecuador entre 0 y 1300 metros sobre el nivel del mar, indicado por Palacios[5]. Esta es usada de una forma ornamental y artesanal, siendo empleada con mayor frecuencia para la formación de artículos artesanales como son: sombreros, bolsos, figuras decorativas entre otras. La planta como tal crece en varias regiones del Ecuador, siendo las más adecuadas para su desarrollo las zonas

costeras (comunidades en Santa Elena y Manabí), especificado por Palacios[5]; en esta investigación se usará filamentos de la planta sacados de los cogollos (agrupación de hojas tiernas antes de que estas se abran), con el propósito de incorporarlos en el hormigón.

Este material en forma de fibra cuenta con muy buena flexibilidad y resistencia; comparada con fibras artificiales por medio de manipulación y visualización. Además de poseer un costo de obtención relativamente bajo (6 dólares por 30 cogollos). Debido a estos criterios el emplear fibras de paja toquilla como un probable refuerzo para el hormigón resulta, a más de viable, atractivo.

La investigación propuesta tiene como objetivo verificar la factibilidad de implementar el material vegetal (fibra de *Carludovica palmata*) al hormigón, mediante ensayos realizados en laboratorio con el propósito de mejorar propiedades de resistencia a compresión y flexión para un hormigón de 21 MPa. Siendo un trabajo válido, únicamente, para comparación en dichas propiedades mecánicas.

Además de contribuir al estudio de las fibras naturales, este artículo puede servir como hincapié para que futuros constructores opten por la utilización de la fibra vegetal en lugar de materiales convencionales, ayudando no solo al sector constructivo, sino también a la producción de la siembra y cosecha del agricultor, favoreciendo a muchos hogares del Ecuador.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales y sus características.

2.1.1. Paja toquilla

Se utilizó como fibra natural a la planta comúnmente conocida como paja toquilla (*carludovica palmata*), esta fue recolectada en la parroquia de Nanegal a 71 km. de Quito, lugar conocido por su clima tropical y tierra fértil. La planta se encontró en la naturaleza en forma de hoja y para su incorporación en el hormigón se necesitó un tratamiento previo en el que únicamente se cosecharon cogollos de la planta siguiendo un procedimiento semejante al observado en la elaboración de los sombreros del

Bastidas, Verdezoto / Efecto de fibras naturales de carludovica palmata (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPa.

mismo material: selección, separación, deshojado, rajado y cocinado [6].

Su tratamiento consta en deshojar los cogollos de forma manual para hervirlos alrededor de 20 a 25 minutos hasta que la paja obtenga un color amarillento, luego de este periodo de preparación es necesario secar la paja al ambiente y cortar las fibras a una longitud aproximada de 5 cm,

distancia correspondiente a macro-fibras y caracterizadas por ubicarse alrededor de toda la mezcla de manera aleatoria; su elongación varía de 1,3 cm a 7 cm [3].

En la figura 1 a) se muestra la planta en su estado natural, en b) la planta luego del deshojamiento en forma de fibra, y en c) se encuentra la fibra ya cortada y tratada.



Figura 1. (a) recolección planta de paja toquilla, (b) deshojamiento de la planta y (c) fibra procesada.

2.1.2. Agregado grueso

Este material fue donado por la planta Holcim ubicada en la Av. Interoceánica en Pifo, comúnmente se le conoce al agregado como piedra azul N°-78, roca Andesita triturada, la cual cumple la normativa “NTE INEN 872-ASTM C33” [7], con un tamaño máximo nominal (TMN) de ½ pulgada.

2.1.3. Agregado Fino

Para la mezcla se utilizó arena fina no lavada de color azul extraída de la mina de Holcim en Pifo, tipo de roca Andesita con un módulo de finura de 2.67, arena que cumple con requisitos de granulometría para poder ser usada en mezclas de hormigón “NTE INEN 696 –ASTM C136” [8].

2.1.4. Cemento

En este trabajo se utilizó cemento para construcción en general tipo GU de la marca Holcim, el cual cumple con requisitos de alta resistencia inicial, resistencia a sulfatos y calor de

hidratación estipulados en la normativa “NTE INEN 2380” [9].

2.2. Procedimiento para la mezcla de hormigón.

Como punto de partida es necesario conseguir una resistencia base de 21 MPa, a partir de una serie de ensayos previos que ayudarán con este propósito. Estos ensayos fueron corroborados mediante información previa obtenida en los laboratorios de Holcim, los mismos que fueron replicados nuevamente en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, siguiendo las normativas para obtención de densidades [10], masas unitarias [11] y contenido de humedad de los materiales [12], a fin de comparar resultados.

Ya con la caracterización completa de los materiales se diseñó la mezcla mediante el método ACI, tanto para resistencia y asentamiento en donde se sigue una serie de tablas ya establecidas para llegar a una dosificación ideal [13]. Con la dosificación calculada se procede a la mezcla práctica en función a sus masas, estos materiales

serán entreverados con la ayuda de una concretora de dos sacos, considerando el procedimiento descrito en: “Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción” [14], basado en normativa técnica ecuatoriana. En el caso de la fibra natural el orden del depósito de los materiales es el siguiente: Agregado grueso, agregado fino, $\frac{1}{4}$ de agua, fibras de paja toquilla, cemento y los $\frac{3}{4}$ de agua restantes; hasta llegar a una homogeneización ideal del material.

Para la fibra vegetal fue requerido someter a la planta a una sumersión constante de 24 horas aproximadamente en una solución de Cloruro de Calcio (CaCl_2) al 5%, para protegerla de la alcalinidad del cemento, en la bibliografía denominada “Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar” [3], el autor trabajó con varios tipos de soluciones, concluyendo que el Cloruro de Calcio (CaCl_2) actúa con mayor eficiencia en la protección de la fibra contra la alcalinidad. Con el propósito de no necesitar un aumento o disminución de agua a la mezcla de hormigón, las fibras fueron secadas únicamente con una toalla, evitado así el exceso de humedad.

Para su incorporación a la mezcla se definieron diferentes porcentajes de la fibra de paja toquilla de 0 %, 0,1 %, 0,2 %, 0,3 % y 0,4 %, en relación a la masa total del hormigón y de tal manera examinar el comportamiento experimental de la planta en el concreto.

Una vez correctamente mezclado el hormigón se realiza un ensayo de asentamiento con el fin de comprobar que dicha mezcla concuerde con el diseño previamente ejecutado, con ayuda de un equipo estandarizado y colocando en este, tres capas de hormigón en donde cada capa será varillada 25 veces de acuerdo a normativa.

Acto seguido, continuamos con el llenado de cilindros y vigas, de igual forma respetando normativa; el llenado se realizará en tres capas de $\frac{1}{3}$ cada una con sus respectivos 25 varillados y de 10 a 15 golpes con un martillo de goma para evitar la presencia de vacíos. En caso que la mezcla contenga fibras vegetales es recomendable el uso de un vibrador para hormigón en donde el diámetro de este vibrador no deberá ser mayor que $\frac{1}{4}$ del

diámetro cilíndrico del molde o $\frac{1}{4}$ del ancho del molde de la viga, en nuestro caso se utilizó un vibrador con punta de 38 mm de diámetro. Este procedimiento sustituirá al varillado. [15]

Se enrazó los especímenes de concreto para eliminar excedentes adicionando un alisado con ayuda de un bailejo o paleta de albañil, consiguiendo una superficie plana que tenga un buen contacto con neoprenos pertenecientes a ensayos de compresión.

Para finalizar se coloca una funda en la superficie de los moldes para controlar la pérdida de humedad, después de 24 ± 4 horas se retira el encofrado a las probetas a ensayar y se los coloca en un ambiente controlado (cámara de humedad o piscinas de curado).

Para los ensayos destructivos se consideró 5 diferentes tipos de mezclas con una variación de porcentaje de paja toquilla como se indicó con anterioridad, la cual es el pilar de nuestra investigación, observando como la fibra vegetal altera la resistencia de los cilindros y vigas; de esta forma podemos determinar el valor óptimo en porcentaje de paja toquilla en el hormigón.

3. Resultados y Discusión

En este apartado se encontrarán los desenlaces finales de la investigación propuesta, concretamente, dosificación para 210 kg/cm^2 , resistencia a compresión de las probetas con y sin inclusión de la fibra vegetal experimental (paja toquilla), resistencia a flexión de vigas de iguales características nombradas con anterioridad y correlación entre módulo de rotura (MR) conseguido en ensayos a flexión con su resistencia a compresión respectiva.

3.1. Dosificación final

Después de una serie de prueba y corrección se obtuvo una dosificación de partida ajustada a las condiciones esperadas, con una resistencia aproximada de 210 kg/cm^2 y un asentamiento de 6 centímetros, correspondientes al diseño de mezcla y a partir de esta dosificación se planteó las diferentes cantidades de material para distinto

porcentajes de fibra de paja toquilla mostradas en la tabla 1.

Tabla 1: Dosificaciones para diversos porcentajes de fibra vegetal de paja toquilla.

% de fibra	Cemento (kg)	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (l)	Fibra (gr)
0	16,68	32,44	34,57	9,92	0,00
0,1	16,66	32,41	34,54	9,91	9,61
0,2	16,65	32,38	34,50	9,90	187,22
0,3	16,63	32,34	34,47	9,89	280,83
0,4	16,61	32,31	34,43	9,88	374,44

3.2. Resistencia a la compresión

A continuación, se presentan en la tabla 2 las resistencias a compresión conseguidas a diferentes edades incluyendo la fibra vegetal (paja toquilla) a la mezcla de hormigón en diferentes porcentajes.

Tabla 2. Resistencia a compresión alcanzada a distintas edades con diferentes porcentajes de fibra vegetal.

% de fibra	Resistencia a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 14 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
0	145,9	173,4	214,3
0,1	143,8	177,2	226,8
0,2	144,3	178,5	228,2
0,3	117,4	158,5	189,8
0,4	119,3	144,0	178,5

Es posible apreciar un incremento de la resistencia tratada en este apartado, sabiendo que se partió con una resistencia base de 214,3 kg/cm² y obteniendo su pico más alto en el porcentaje de 0,2 %; dando como resultado una resistencia de 228,2 kg/cm². Por otra parte, al superar este porcentaje de fibra vegetal existe una reducción considerable de la resistencia a compresión. En la figura 2 se indica la comparación de estos diferentes porcentajes de fibras integradas a la mezcla de concreto con sus respectivas resistencias.

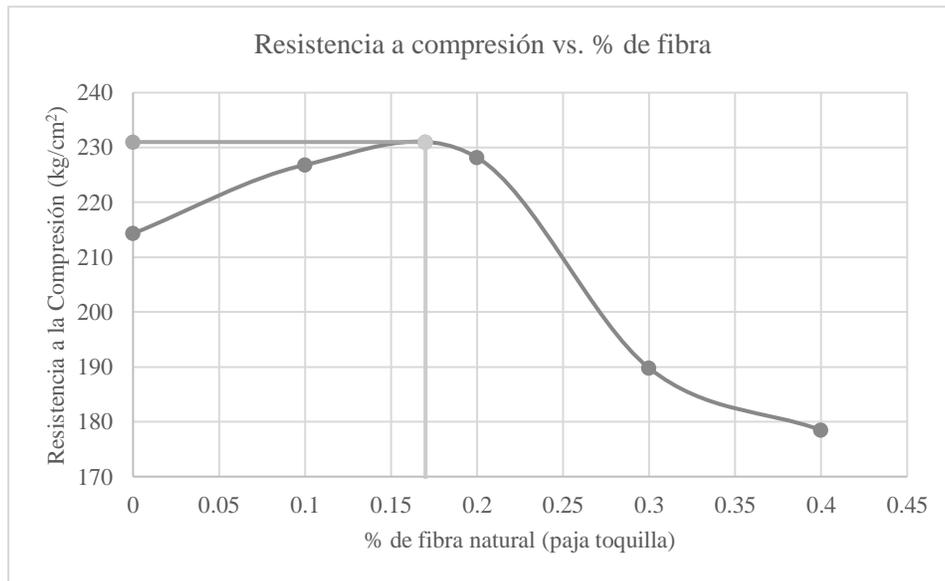


Figura 2. Resistencia a la compresión del hormigón alcanzada a los 28 días para distintos porcentajes de fibra.

Se puede apreciar en la figura 2 que, la resistencia más alta no se encuentra relacionada con el porcentaje de 0,2 % de fibra, indicando que; para una mejor comprensión del funcionamiento de la fibra se requieren una mayor cantidad de ensayos.

En la figura 3 se puede visualizar la falla del espécimen a compresión en donde el extremo superior de la probeta sufre una ruptura, esto ocurre normalmente cuando el ensayo se lo realiza con neopreno.



Figura 3. Ruptura de cilindro con incorporación de paja toquilla.

3.3. Resistencia a la flexión

La resistencia a flexión fue medida a partir del módulo de rotura proveniente de ensayos en vigas con una edad de 28 días, estas serán ilustradas en la figura 4, mientras que; los resultados de estos ensayos se apreciarán en la tabla 3 plasmada en el siguiente apartado.



Figura 4. Ensayo destructivo de vigas.

Tabla 3. Módulo de Rotura a una edad de 28 días con diferentes porcentajes de fibra vegetal.

Porcentaje de fibra	Módulo de rotura a los 28 días (kg/cm ²)
0 %	38,28
0,1 %	43,97
0,2 %	48,49
0,3 %	45,28
0,4 %	41,80

Al incluir un porcentaje de 0,2 % de la fibra al hormigón se consigue el mayor módulo de rotura con un valor correspondiente de 48,49 kg/cm² como se indica en la tabla 3, en comparación con la mezcla sin incorporar ninguna cantidad de fibra, la cual obtiene un módulo de rotura de 38,28 kg/cm²; llegando a incrementar un 26,67 % una mezcla respecto a la otra. Pero al superar el porcentaje de la fibra de 0,2 % se consigue una disminución del módulo, resultando desfavorable para esta propiedad mecánica. La figura 5 muestra la curva que adquiere el módulo de rotura para varios porcentajes de fibra.

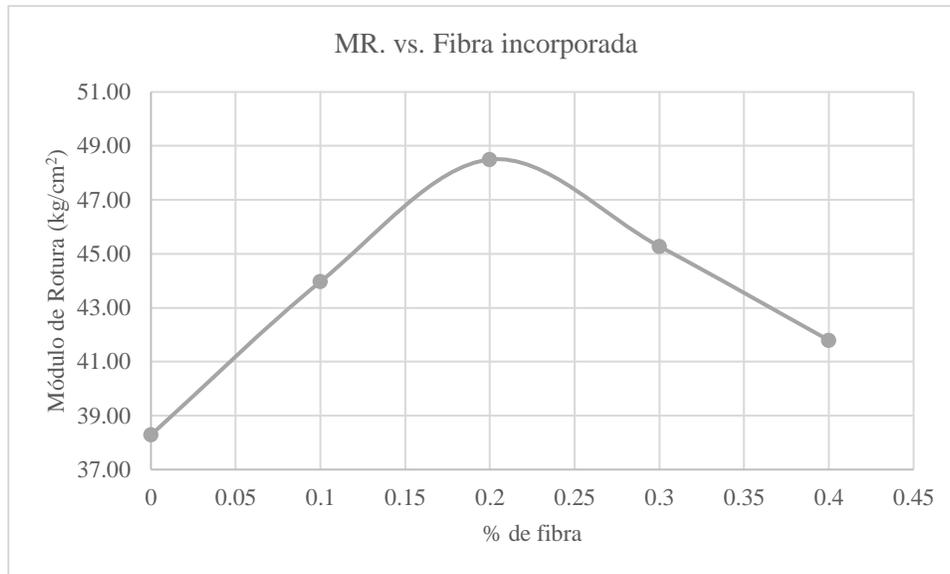


Figura 5. Módulo de Rotura del hormigón alcanzada a los 28 días para distintos porcentajes de fibra.

3.4. Correlación entre la resistencia a compresión y el módulo de rotura.

Es muy bien conocido que los ensayos de compresión y módulo de rotura son proporcionales, dando paso a una relación entre estos, por tal motivo, fue necesario, hacer una comparación entre la resistencia del hormigón sin uso de fibras y a su vez con la incorporación de estas. De tal modo que, el autor Rivera [16] expone que al no tener suficientes ensayos en flexión es posible utilizar la fórmula (1) para una estimación del módulo de rotura:

$$MR = k(RC)^{1/2} \quad (1)$$

Dónde:

MR = Módulo de rotura estimado (kg/cm²).

RC = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

K = Constante que va de 2 a 2,7.

Esta fórmula se empleó con las resistencias a compresión a diferentes porcentajes de fibra

natural conseguidas en ensayos previos, obteniendo así un módulo de rotura teórico y a su vez, compararlo con resultados de laboratorio, presentadas en la tabla 4.

Tabla 4 Comparación de módulos de rotura experimentales y teóricos.

% de fibra	f _c (kg/cm ²)	MR. Experimental (kg/cm ²)	MR Teórico 2.6(f _c) ^{0.5} (kg/cm ²)
0	214,31	38,28	38,06
0,1	226,84	43,97	39,16
0,2	228,16	48,49	39,27
0,3	189,79	45,28	35,82
0,4	178,48	41,80	34,74

Es posible obtener la ecuación (2) que se ajuste de mejor manera a los resultados obtenidos mediante un gráfico de dispersión, el mismo presentado en la figura 6.

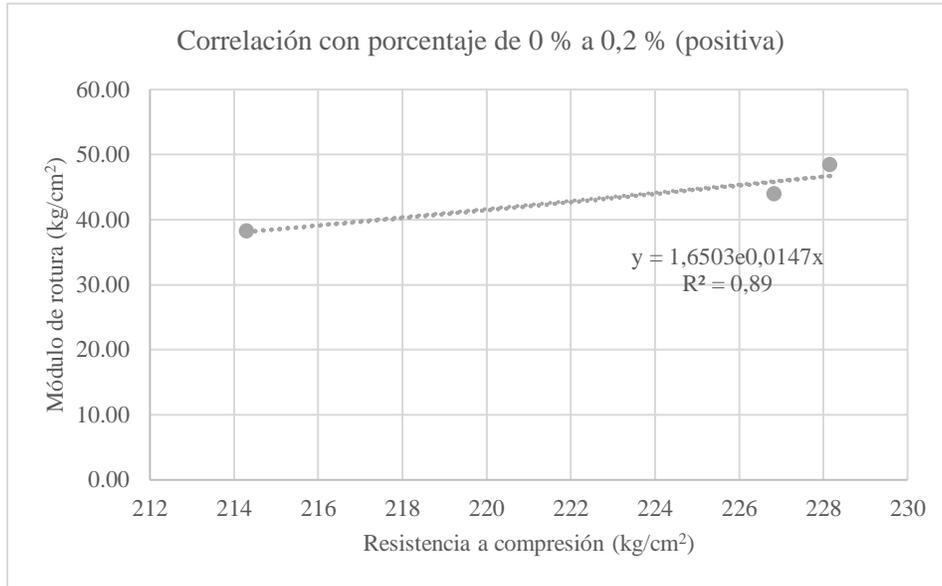


Figura 6. Correlación creciente entre resistencia a compresión y módulo de rotura a edades de 28 días.

$$MR = 1,6503(e)^{0.0147f'c} \quad (2)$$

Dónde:

MR = Módulo de rotura estimado (kg/cm²).

f'c = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

e = exponencial.

exponencial, puesto que, es la que más se ajusta a los datos dictados por la experimentación. Para la figura 6 se usó únicamente los resultados de 0 % a 0,2 % de fibra, por el cambio brusco de su comportamiento a partir de este porcentaje. Por esta razón, es necesario determinar una nueva fórmula que se acople a los datos restantes, como se puede ver en la figura 7.

La correlación del hormigón con fibra de paja toquilla ha brindado una fórmula de tipo

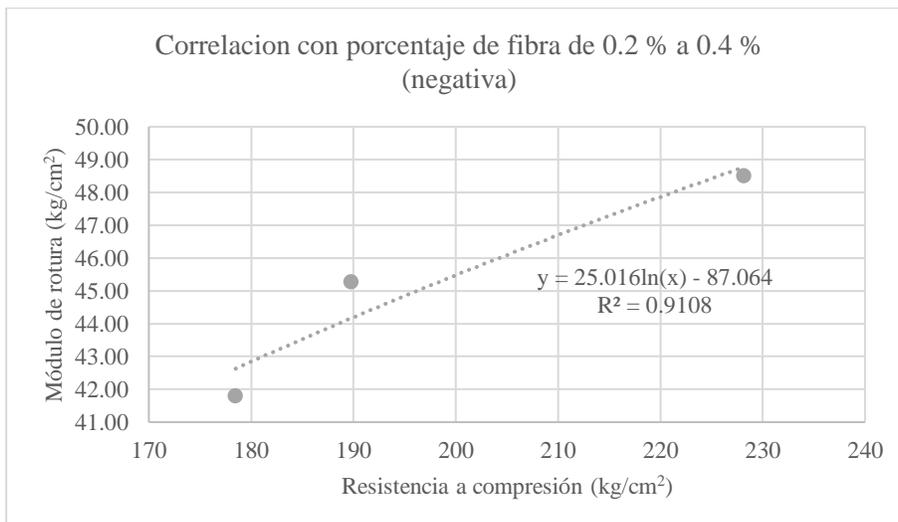


Figura 7. Correlación decreciente entre resistencia a compresión y módulo de rotura a edades de 28 días.

Bastidas, Verdezoto / Efecto de fibras naturales de *carludovica palmata* (paja toquilla) en resistencia a compresión y flexión en hormigones simples de 21 MPa.

$$MR = 25,016 * \ln(f'c) - 87,064 \quad (3)$$

Dónde:

MR = Módulo de rotura estimado (kg/cm²).

f'c = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm²).

ln = logaritmo natural.

Mediante el análisis realizado en la figura 7 se obtuvo la ecuación (3) de tipo logarítmica, con mejor ajuste a los datos estipulados. Hay que aclarar que las ecuaciones obtenidas con los datos de laboratorio son aplicables únicamente para los porcentajes analizados, es decir; para un intervalo de 0 % a 0,4 % de la fibra analizada.

4. Conclusiones

En función a los a los resultados obtenidos mediante la realización de este artículo se llega a las siguientes deducciones:

La incorporación de la fibra vegetal propuesta a la mezcla de hormigón interviene a un mejor desempeño en las propiedades analizadas, llegando a mejores resultados al incluir 0,2 % de fibra a la mezcla.

Al analizar exhaustivamente la curva formada por los diferentes porcentajes de fibra vegetal y las resistencias alcanzadas con estas, se infiere que, el porcentaje óptimo de paja para lograr una mayor resistencia a compresión es de 0,17 %.

Existe un incremento más relevante en la propiedad mecánica de flexión, esto debido a que las fibras podrían estar transmitiendo sus propiedades al hormigón, logrando un mejor módulo de rotura a comparación del módulo de rotura teórico calculado con la fórmula (1); dando paso a hormigones que necesiten elevar su resistencia a la flexión, como en el caso de hormigones rígidos en el sector vial.

Para una mejor representación de la correlación de la resistencia a compresión y el módulo de rotura en nuestro hormigón con variación de paja toquilla fue necesario dividir dicha correlación en 2 tramos, considerando los porcentajes de fibra de 0 % a 0,2 % (creciente) y de 0,2 % a 0,4 % (decreciente), obteniendo para cada intervalo diferentes ecuaciones, fórmulas que

brindan un módulo de rotura semejante al obtenido de manera experimental.

Al comparar los resultados en resistencia a flexión con investigaciones semejantes como por ejemplo la adición de yute al hormigón realizado por Ramón [17] es posible apreciar que, existe un incremento del 7,42 % al incorporar un 0,2 % de su fibra vegetal, mientras que, al añadir la misma cantidad de fibra de paja toquilla se tiene un aumento del 26,67 % en la misma propiedad, evidenciando que la paja toquilla tiene un mejor comportamiento en la resistencia a flexión.

Referencias

- [1] M. Espinoza, "Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar". Proyecto de Titulación, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. Oct. 2015.
- [2] H. N. Marsh et al., "Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete.," Publ. SP - Am. Concr. Inst., vol. 89, no. Reapproved, pp. 433-439, 1984.
- [3] J. Osorio and F. Aristizabal, "Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar," Dyna, vol. 74, no. 153, pp. 69-79, 2007.
- [4] S. Rico, R. Farshidpour, and F. M. Tehrani, "State-of-the-Art Report on Fiber-Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Masonry," Adv. Civ. Eng., vol. 2017, pp. 2, 2017.
- [5] W. A. Palacios et al., "Manejo de la paja toquilla *Carludovica palmata*," vol. 14, pp. 137-150, 2016.
- [6] F. Mendoza, "Estrategias para una mejor producción de paja toquilla para su mayor exportación a mercados internacionales." Proyecto de Titulación, Universidad especialidades Espíritu Santo, Guayaquil, Ecuador. Jun. 20

- [7] NTE INEN 872, “Áridos Para Hormigón. Requisitos.,” Quito, 2011.
- [8] NTE INEN 696, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.,” Quito, 2011.
- [9] NTE INEN 2380, “Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos,” Quito, 2011.
- [10] NTE INEN 856, “Áridos. determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.” Quito, 2010.
- [11] NTE INEN 858, “Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.,” Quito, 2010.
- [12] NTE INEN 862, “Aridos Para Hormigon. Determinacion Del Contenido Total De Humedad,” Quito, 2011.
- [13] S. Huanca, “Diseño de Mezclas de Concreto,” [Online]. Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2006 Disponible en: <https://www.udocz.com/read/7509/dise-o-de-mezclas-de-concreto--ing--samuel-laura-huanca--pdf>
- [14] R. Azacata, G. Alexander, and I. Eléctrico, “Manual de laboratorio de ensayo de materiales para la construcción,” Proyecto de Titulación, Univerisad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. Ene. 2019.
- [15] NTE INEN 1576, “Hormigón De Cemento Hidráulico. Elaboración Y Curado En Obra De Especímenes Para Ensayo,” Quito 2011.
- [16] G. Rivera, “Libro de tecnología del concreto y mortero” Univ. del Cauca, Colombia, 2013, pp. 137-138.
- [17] A. Ramón, “Influencia de la fibra de yute en el diseño de hormigones para resistencia a la compresión de 21 a 35 MPa con agregados de la cantera de pifo” Tesis, pp. 7, 2017.