



COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AFIRMADO INCORPORANDO FIBRA DE CARRIZO EN LA MEZCLA

BEHAVIOR OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE CONCRETE INCORPORATING REED FIBER INTO THE MIXTURE

Raúl Roberto, Martínez Escobar¹; Leopoldo, Choque Flores²

Recibido 09/08/2024; Aprobado: 29/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica261.8>

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del afirmado incorporando fibra de carrizo en la mezcla. Para ello se propuso añadir fibra de caña a la dosificación para analizar cómo este material natural modifica sus propiedades; atendiendo a la posibilidad y apertura de tener materiales alternativos, se realizó una búsqueda de información para analizar todo el conocimiento e información sobre las propiedades físicas-mecánicas esta última validadas por el California Bearing Ratio (CBR) que se presentan en las diferentes dosificaciones de 0,0%, 0,8%, 1,2% y 1,6% de fibra de carrizo; como resultado se obtuvo que el afirmado patrón tubo una máxima densidad seca de 2,06gr/cm³, un óptimo contenido de humedad de 3,43% y un CBR al 92% en una Penetración de 0,2” en un 100% de máxima densidad seca, y un CBR al 82% en una Penetración de 0,2” en un 95% de máxima densidad seca. Sin embargo, con la dosificación de fibra de carrizo de 0,8% tuvo como resultados una máxima densidad seca de 2,07gr/cm³, un óptimo contenido de humedad de 3,09% y un CBR al 97,8% en una Penetración de 0,2” en un 100% de máxima densidad seca, y un CBR al 84% en una Penetración de 0,2” en un 95% de máxima densidad seca. Finalmente, cabe mencionar que el potencial de uso de este material aumenta significativamente en comparación con la muestra estándar demostrado mejoras físicas como mecánicas.

Palabras clave: fibra de carrizo; CBR; densidad seca; afirmado; concreto sostenible; durabilidad de materiales

¹Raúl Roberto, Martínez Escobar. Ingeniero civil de la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: rmartinezes@ucvvirtual.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7784-4234>

²Leopoldo, Choque Flores. Doctor en ingeniería civil, docente investigador en la Universidad César Vallejo. Lima. Perú. Correo: lchoquef@ucv.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0914-7159>

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the behavior of the physical and mechanical properties of concrete by incorporating reed fiber into the mixture. For this purpose, it was proposed to add cane fiber to the dosage to analyze how this natural material modifies the concrete properties; Taking into account the possibility and openness of having alternative materials, an information search was carried out to analyze all the knowledge and information on the physical-mechanical properties, the latter validated by the California Bearing Ratio (CBR) that are presented in the different dosages of 0,0%; 0,8%; 1,2% and 1,6% reed fiber. As a result, it was obtained that the concrete pattern had a maximum dry density of 2,06 gr/cm³, an optimal moisture content of 3,43% and a CBR of 92% at a Penetration of 0,2" at 100% maximum dry density, and a CBR at 82% in a Penetration of 02" at 95% of maximum dry density. However, with the dosage of reed fiber of 0,8%, the results were a maximum dry density of 2,07gr/cm³, an optimal moisture content of 3,09% and a CBR of 97,8% in a Penetration of 0,2" at 100% maximum dry density, and a CBR at 84% at a Penetration of 0,2" at 95% maximum dry density. Finally, it is worth mentioning that the potential use of this material increases significantly compared to the standard sample, demonstrating physical and mechanical improvements.

Keywords: *reed fiber; CBR; dry density; sustainable concrete; durability of materials*

1. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional un significativo número de carreteras no están debidamente pavimentadas, y muchas de ellas experimentan un tráfico de vehículos con volúmenes altos. Esta situación no sería problemática si hubieran sido construidas con un enfoque técnico adecuado, cumpliendo especificaciones que requiere y, sobre todo, si hubieran sido gestionadas de manera eficaz en términos de mantenimiento y conservación [1]. En el contexto de la infraestructura vial se ha presenciado avances en la incorporación de tecnologías amigables con el medio ambiente, haciendo uso de fibras de origen vegetal; se han investigado y desarrollado cultivos de fibras con estas dos finalidades en diversas regiones geográficas: como lino y el cáñamo, paja, ramio, estas plantas mencionadas están compuestas, algunas de ellas, por fibras [2].

La falta de calidad, diseños deficientes de carreteras y condiciones climáticas adversas, entre otros factores, son comunes en muchas carreteras de la Sierra Central de Perú. Estas carreteras a menudo no contemplan las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), una de las razones es debido a la inestabilidad de los suelos, que se debe en gran parte a los bruscos cambios de temperatura en la región. Esto provoca daños estructurales en las carreteras pavimentadas, como grietas, fisuras, baches, hundimientos y deformaciones, lo que dificulta el flujo del tráfico vehicular. La falta de un adecuado proceso de mejoramiento contribuye al deterioro de las carreteras, ya que los materiales utilizados para estabilizar los suelos poseen una baja resistencia [3].

2. DESARROLLO

Se han realizado investigaciones en la cual las propiedades mecánicas en carreteras pavimentadas tuvieron como objetivo la de reforzar con fibras sintéticas. Se estudio mejorar y estabilizar las carreteras pavimentadas, patrón en términos de deformación (mm) (x1) y las carreteras pavimentadas con la incorporación de fibras sintéticas añadiendo el 0,1% del suelo en lo que respecta a deformación (mm) (x2). Los resultados establecieron que, en las carreteras pavimentadas sin la adición de fibras sintéticas, se obtuvo un CBR del 40%, un valor de Mr (psi) de 16199,09 y un espesor de pavimento de 20 cm. En contraste, en las carreteras pavimentadas con la adición de fibras sintéticas al 0,1%, se registró un CBR del 54%, un valor de Mr (psi) de 17499,75 y una altura (h) de pavimento de 18 cm. Cuando se agregaron fibras sintéticas al 0,5%, se logró un CBR del 58,9%, un valor de Mr (psi) de 17873,09 y un espesor de pavimento de 18 cm. Al utilizar un 1% de fibras sintéticas, se alcanzó un CBR del 64,23%, un valor de Mr (psi) de 18247,85 y un espesor de pavimento de 18 cm. Finalmente, con una adición del 2% de fibras sintéticas, se obtuvo un CBR del 10,68%, un valor de Mr (psi) de 10486,58 y una altura de pavimento de 18 cm [4].

En otra investigación, cuando se enfrenta la presencia de suelos con características consideradas deficientes, lo tradicional ese implica reemplazar el suelo existente por uno con propiedades más favorables. Puede ser costosas, lo que hace las técnicas para mejorar o reforzar suelos sean atractivas. Reforzar con fibras implica la adición en porcentajes al suelo, de origen sintético y natural, con el objetivo de modificar sus propiedades y estabilizarlo. En diversas investigaciones previas, se han empleado fibras de composición natural en proporciones que oscilan desde el 0,25% a 1,5%, y la longitud de 20 mm a 60 mm. Los resultados muestran que las adiciones más pequeñas y las longitudes reducidas generalmente producen mejores resultados.

En base a estos resultados, se ha optado por utilizar porcentajes de 0,25%, 0,50% y 0,75%, ya que han demostrado obtener los mejores resultados. Al analizar la resistencia a la penetración de 0,1" y 0,2" en la muestra N° 03, en dosificación 0,25% de fibras aumentó la CBR en comparación con el patrón, en un 0,277 en una 0,1", en un 0,185 para 0,2". Por otro lado, las dosificaciones 0,50% y 0,75% aminoran el CBR, registrando una disminución de 0,079 y 0,440 respectivamente para 0,1", y una disminución de 0,172 y 0,465 respectivamente para 0,2". Se destaca que la incorporación de un 0,25% de fibras provocó un incremento de la resistencia del suelo que varía entre un 31,73% y valores tan altos como 220,27%. Por lo tanto, se recomienda la optimización de suelos arcillosos altamente plásticos a través de la

dosificación de fibras. Además, Se ha observado una disminución en el índice CBR de los suelos con el aumento de los porcentajes de incorporación, específicamente en los casos del 0,50% y 0,75%. Esto podría ser atribuido a la formación de espacios vacíos en el suelo debido a la adición de fibras [5].

3. METODOLOGÍA

La presente investigación experimental, se desarrolló a fin de lograr el objetivo principal de evaluar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del afirmado incorporando fibra de carrizo en la mezcla. Para lo cual se desarrolló un trabajo controlado en laboratorio iniciando con la preparación de materiales seleccionados de la fibra de carrizo en 0,8%, 1,2% y 1,6%; posteriormente se desarrollaron los diseños de mezclas respectivos, estos normados a fin de garantizar la calidad. El siguiente aspecto clave del procedimiento contemplo la preparación de probetas, su posterior moldeado y compactación de probetas finalmente los ensayos físicos y mecánicos, por consiguiente, a continuación, se resume los aspectos eje de la metodología de trabajo desarrollada:

- Preparación de materiales: selección y preparación de fibra de carrizo y materiales de la mezcla como cemento, áridos de acuerdo a ISO 868:2003 [6]. Para dureza de materiales, ASTM D1037 empleando fibras vegetales [7].
- Diseño de mezclas: dosificación del afirmado con proporciones de fibra de carrizo al 0,0%, 0,8%, 1,2%, 1,6% se consideró ASTM C192/C192M [8]. Para la preparación de mezclas, ISO 12439:2010 [9].
- Preparación de probetas: moldeado y compactación bajo condiciones controladas según ASTM C39/C39M [10]. Para pruebas de compresión, ASTM C143/C143M [11].
- Ensayos de propiedades físicas: medición de densidad seca se consideró ISO 6782 [12]; contenido de humedad con ISO 6781 [13], y absorción con ASTM C642 [14].
- Ensayos de propiedades mecánicas: pruebas de resistencia a la compresión se tomó como referencia ASTM C39/C39M [15], y para CBR, ASTM D1883-21 [16].

4. RESULTADOS

4.1. Análisis Granulométrico

Se utilizaron 5200 gramos de suelo, luego de cuartearlo para realizar el ensayo de tamices con mallas de 3"; 2 1/2"; 1 1/2"; 1"; 3/4"; 1/2"; 3/8"; 1/4"; #4, #10, #20, #40, #60, #140 y #200, con un 12,7% de fino, 38,4% de arena y 48,9% de grava, los resultados se observan en la Tabla 1 y Figura 1. Se muestra que el tamaño de 9,5 mm (3/8") contiene más del 20% del peso del

material y el tamaño de 19,0 mm (3/4") contiene menos del 30%. Se utilizó el método "C" para el Proctor modificado. Debido a que la fibra de carrizo no pasa por el tamiz No 3/4", los datos son exactos del afirmado.

Tabla 1. Distribución de partículas. Fuente: los autores

Malla	Apertura (mm)	Peso Retenido	% Ret Parcial	% Ret Acumulado	% Cedazado
1 1/2"	38,100	610,00	20,00	20,00	80,00
1"	25,400	410,0	13,44	33,44	66,56
3/4"	19,050	200,0	6,56	40,00	60,00
1/2"	12,700	130,0	4,26	44,26	55,74
3/8"	9,525	60,00	1,97	46,23	53,77
Nº4	4,760	230,0	7,54	53,77	46,23
Nº10	2,000	335,7	11,01	64,78	35,22
Nº30	0,590	690,0	22,62	87,40	12,60
Nº40	0,426	240,0	7,87	95,27	4,73
Nº80	0,177	130,0	4,26	99,53	0,47
Nº100	0,149	10,92	0,36	99,89	0,11

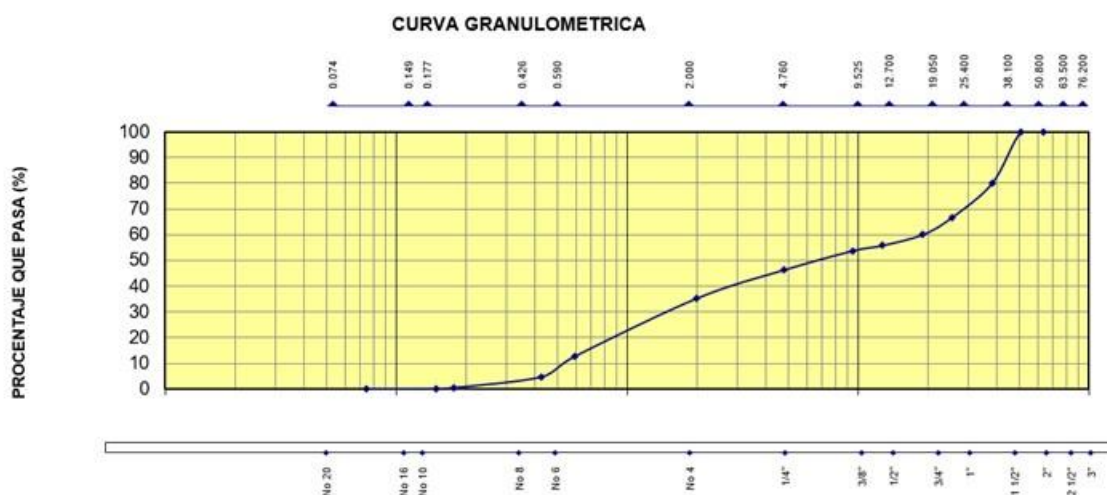


Figura 1. Curva granulométrica. Fuente: los autores

4.2. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permitieron demostrar la cantidad de humedad presente en el suelo, lo que resultó en el índice de plasticidad. Para ello se buscaron valores para el límite líquido y el límite plástico, y la eliminación de ambos resultó en el índice de plasticidad. En la Tabla 2 se muestra el porcentaje de humedad con respecto al número de golpes. Así mismo la fibra de carrizo no pasa por el tamiz N° 3/4", así que los datos son netamente del afirmado.

Tabla 2. Distribución de partículas. Fuente: los autores

Limite Liquido			
Nº de golpes	16	23	33
Porcentaje de humedad	24,65	23,15	22,76
Limite Plástico			
Porcentaje de humedad	19,20	19,06	0,00

4.3. Proctor Modificado

El Proctor modificado demuestra la máxima densidad seca (MDS), y óptimo contenido de humedad del afirmado (AF), para ello se está tomando en cuenta la dosificación de adición de fibra de carrizo (FC) de 0%; 0,8%; 1,2%; y 1,6%. Posteriormente el dato de máxima densidad seca (ver Tabla 3) se usará en el CBR. Donde la densidad máxima seca y optimo contenido de humedad en las dosificaciones contando con el patrón, es la adición de 0,8% de fibra de carrizo.

Tabla 3. *Máxima densidad seca y contenido de humedad. Fuente: los autores*

Dosificación	Densidad Seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
AF 100% + FC 0%	2,06	3,43
AF 99,2% + FC 0,8%	2,07	3,09
AF 98,8% + FC 1,2%	2,05	3,05
AF 98,4% + FC 1,6%	2,04	1,31

4.4. California Bearing Ratio

El ensayo de CBR refleja la capacidad de resistencia del suelo que es usado como base, aplicándose el ensayo de penetración de CBR con las penetraciones de 0,1" y 0,2" a las dosificaciones con incorporación de fibra de carrizo con el cual se busca llegar al 100% del CBR superando al valor del patrón (ver Tabla 4).

Tabla 4. *California Bearing Ratio. Fuente: los autores*

Dosificación	Penetración	CBR al 95% de MDS	CBR al 100% de MDS
AF 100% + FC 0%	0,1"	42,4 %	46,8 %
	0,2"	82 %	92 %
AF 99,2% + FC 0,8%	0,1"	45,8 %	49,4 %
	0,2"	84 %	97,8 %
AF 98,8% + FC 1,2%	0,1"	41,5 %	45,5 %
	0,2"	62,6 %	88 %
AF 98,4% + FC 1,6%	0,1"	40 %	43,8 %
	0,2"	58,2 %	86,2 %

5. CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la dosis de fibra de caña del 0,8% es beneficiosa mejorando el índice CBR y la densidad seca máxima, superando la muestra estándar. Sin embargo, dosis más altas (1,2% y 1,6%) redujeron los valores de CBR y densidad por debajo de los obtenidos en la mezcla estándar. En cuanto al contenido de humedad óptimo, se concluyó que ninguna de las tres dosis (0,8%, 1,2% y 1,6%) superó el contenido de humedad óptimo de la mezcla estándar. Sólo cuando el contenido de fibra de caña es del 0,8%, la densidad seca máxima aumenta, lo que resulta beneficioso para dibujar la curva de relación entre la densidad seca

máxima y el porcentaje de CBR. Finalmente, la mezcla maestra tiene un valor de penetración CBR del 92% al 100% de densidad seca máxima. Después de agregar un 0,8% de fibra de caña, el CBR aumentó al 97,8%, cerca del objetivo del 100% de CBR.

6. FINANCIAMIENTO

Financiación propia con el apoyo de ensayos de laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo.

7. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no presencia de conflictos de interés intelectual ni participativo.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

M.E.R; Conceptualización, metodología, redacción, preparación del borrador original e investigación. C.F.L; Metodología, redacción, revisión y supervisión. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

9. REFERENCIAS

- [1] J. S., Tingle, y S. R. Jersey, "Evaluation of In Situ Pavement Layers with the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)" *Environmental Engineering and Science*, V 6, 2007
- [2] G. Laura, "Estabilización de subrasante con fibra de carrizo en la Av. Independencia, distrito de Ilo", Concytec, Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Perú, 2020
- [3] MTC, "Manual de Carreteras Suelos Geológicos, Geotecnia y Pavimentos", https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf, Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014
- [4] ASTM C143, "Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete", American Society for Testing and Materials, USA, 2015
- [5] C. M. Chavarry Vallejos, R. A. Figueroa Merino y R. E. Reynaga Tejad, "Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas", *Pol. Con.*, V 5, N46, DOI: 10.23857/pc.v5i6.1465, 2020
- [6] ISO 868:2003, "Plásticos y ebonita - Determinación de la dureza por penetración con punta cónica (dureza de Shore)", Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2003
- [7] ASTM D1037-12, "Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials", West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012
- [8] ASTM C192/C192M-21, "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory", West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021
- [9] ISO 12439:2010, "Morteros y concretos frescos - Determinación de la densidad",

Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2010

- [10] ASTM C39/C39M-21, “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*” West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021
- [11] ASTM C143/C143M-20, “*Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*” West Conshohocken, PA: ASTM International, 2020
- [12] ISO 6782:1982, “*Construcción - Construcción de carreteras - Determinación de la densidad y contenido de agua de suelos y materiales tratados con ligantes hidráulicos - Método de prueba nuclear (rápido)*”, Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 1982
- [13] ISO 6781:2007, “*Desempeño térmico de edificios - Detección de defectos térmicos en envolventes de edificios - Método de inspección por termografía infrarroja*”, Ginebra: Organización Internacional de Normalización, 2007
- [14] ASTM C642-21, “*Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*”, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021
- [15] ASTM C39/C39M-21, “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. West Conshohocken*”, PA: ASTM International, 2021
- [16] ASTM C39/C39M-21, “*Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*” West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021