



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i3.3472>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Analysis of the Properties of an Aggregate Base Stabilized with Cement and with Abacá Fiber Reinforcement

Análise das Propriedades de uma Base de Agregado Estabilizada com Cimento e com Reforço de Fibra de Abacá

Jean Carlos Gómez Alcívar ^I
jgomez3485@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-6275-2163>

Juan Daniel Pacheco Delgado ^{II}
jpacheco0567@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-5866-5000>

Hugo Ernesto Egüez Álava ^{III}
hugo.eguez@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7454-712X>

Correspondencia: jgomez3485@utm.edu.ec

***Recibido:** 04 de junio de 2023 ***Aceptado:** 12 de junio de 2023 * **Publicado:** 27 de julio de 2023

- I. Estudiante de la Facultad de Matemáticas, Físicas y Químicas en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante de la Facultad de Matemáticas, Físicas y Químicas en la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí Portoviejo, Ecuador.
- III. Ingeniero Civil, Profesor Ocasional Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. Profesor Principal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Resumen

El presente estudio investiga el uso de fibra de abacá como refuerzo en bases de agregados estabilizados con cemento (BAEC) en la construcción vial. Se realizaron pruebas experimentales con diferentes porcentajes de fibra y se encontró que un porcentaje óptimo del 0.6% mejora la resistencia de este material sin afectar significativamente el módulo de elasticidad estático. La fibra de abacá se presenta como una alternativa sostenible y prometedora para fortalecer las bases de agregados en la construcción vial, brindando mayor resistencia y durabilidad a las estructuras. Se sugiere más investigaciones para evaluar la durabilidad a largo plazo y la homogeneidad de las muestras con fibra de abacá. Además, los cálculos de ductilidad respaldan la mejora en la capacidad de deformación y resistencia de la BAEC con fibra de abacá, consolidando su posibilidad como refuerzo en construcción civil. Este estudio contribuye al conocimiento sobre el uso de fibras naturales en la construcción vial y abre oportunidades para futuras investigaciones en este campo.

Palabras Claves: Base de Agregados; Cemento; Fibra de Abacá.

Abstract

The present study investigates the use of abaca fiber as reinforcement in cement-stabilized aggregate bases (BAEC) in road construction. Experimental tests were carried out with different percentages of fiber and it was found that an optimal percentage of 0.6% improves the resistance of this material without significantly affecting the static modulus of elasticity. Abacá fiber is presented as a sustainable and promising alternative to strengthen the aggregate bases in road construction, providing greater resistance and durability to the structures. Further research is suggested to evaluate the long-term durability and homogeneity of the samples with abaca fiber. In addition, the ductility calculations support the improvement in the deformation and resistance capacity of the BAEC with abaca fiber, consolidating its possibility as a reinforcement in civil construction. This study contributes to the knowledge about the use of natural fibers in road construction and opens opportunities for future research in this field.

Keywords: Aggregate Basis; Cement; Abaca fiber.

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Resumo

O presente estudo investiga o uso da fibra de abacá como reforço em bases de agregados estabilizados com cimento (BAEC) na construção de estradas. Testes experimentais foram realizados com diferentes porcentagens de fibra e verificou-se que uma porcentagem ótima de 0,6% melhora a resistência deste material sem afetar significativamente o módulo de elasticidade estático. A fibra de abacá se apresenta como uma alternativa sustentável e promissora para fortalecer as bases agregadas na construção de estradas, proporcionando maior resistência e durabilidade às estruturas. Mais pesquisas são sugeridas para avaliar a durabilidade a longo prazo e a homogeneidade das amostras com fibra de abacá. Além disso, os cálculos de ductilidade suportam a melhoria na capacidade de deformação e resistência do BAEC com fibra de abacá, consolidando sua possibilidade como reforço na construção civil. Este estudo contribui para o conhecimento sobre o uso de fibras naturais na construção de estradas e abre oportunidades para pesquisas futuras neste campo.

Palavras-chave: Base Agregada; Cimento; fibra de abacá.

Introducción

En el mundo, las Bases de Agregados Estabilizados con Cemento (BAEC) fortalecidos con fibras se utilizan como base para pavimentos de carreteras de primer orden, caminos vecinales, áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas (Antay, 2021). La tendencia actual se inclina hacia el uso de fibras naturales con el objetivo de conservar los recursos naturales del planeta, reemplazando materiales sintéticos y contaminantes por materias primas renovables y biodegradables (Freier et al., 2005; Murali Mohan Rao et al., 2010). Este cambio hacia el uso de materia prima biodegradable y renovable contribuye al cuidado del ecosistema (Murali Mohan Rao et al., 2010).

La incorporación de fibras en las BAEC fortalece su resistencia a la tracción y propiedades de ductilidad, lo que las hace más resistentes a los ciclos de enfriamiento, lluvia y daños causados por las variaciones climáticas. Además, debido al fenómeno de hidratación del cemento, estas bases continúan ganando resistencia con el paso del tiempo (MTOP, 2002). Sin embargo, uno de los desafíos asociados a las BAEC es su desgaste, por lo que es importante fortificarlas mediante la adición de agregados como la fibra. Estos agregados representan aproximadamente el 70-75% del

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

volumen de la masa endurecida, mientras que el resto está ocupado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada y vacíos de aire (Arqhys Arquitectura, 2022).

La mayoría de los compuestos fortificados con fibras ofrecen beneficios como una mejor resistencia a la fatiga, mayor rigidez y una relación favorable entre resistencia y peso (Antay, 2021). Para lograr un compuesto óptimo, es importante considerar la selección adecuada del tipo de fibra, su cantidad y orientación, ya que estos parámetros están directamente relacionados con la matriz del material, encargada de transmitir la fuerza a las fibras, que soportan la mayoría de los esfuerzos (Rincon, 2020). La presentación o configuración de las fibras, ya sea corta, larga, tejida u otras, confiere propiedades mecánicas importantes al material, como una alta resistencia específica a la tracción y un elevado módulo específico, además de características como ligereza, resistencia térmica, compatibilidad con resinas, dureza, rigidez y adaptabilidad al proceso de fabricación (Delgado, 2012).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo analizar las bases de agregados estabilizados con cemento fortalecidos con fibras de abacá, con el fin de obtener un reemplazo adecuado de materiales sintéticos en Ecuador. Se busca contribuir al cuidado del medio ambiente y fortalecer la matriz productiva, en línea con los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir, específicamente los Objetivos 7, 8 y 10, que promueven la garantía de los derechos de la naturaleza, la sostenibilidad ambiental y territorial, así como un sistema económico social y solidario sostenible (SENPLADES, 2009).

Desarrollo

Historia y Usos de la Fibra de Abacá

La fibra de abacá, conocida también como cáñamo de Manila o falso plátano, se obtiene del tallo de un árbol de la familia del plátano. Esta fibra se cultiva principalmente en Filipinas, Ecuador y Costa Rica debido a su valor comercial (Costas, 2022). Presenta características destacadas como resistencia al ambiente marino y capacidad de absorción de altos porcentajes de agua. Su longitud adecuada para su uso en morteros, hormigones y trabajos de investigación es de aproximadamente 20 a 25 mm. Aunque tradicionalmente se ha utilizado para la fabricación de redes de pesca y sombreros, en los últimos años ha ganado relevancia en la industria de la construcción (Luzuriaga, 2017).

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

El abacá es una fibra muy útil como materia prima, y su producción es favorable (Syriac et al., 2017). Según la Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas, más de 140 países en el mundo producen alrededor de 150 millones de toneladas de abacá, convirtiéndolo en el cuarto cultivo más importante en los países en desarrollo (Gebregergs et al., 2016). En el caso de Ecuador, esta fibra representó un 45,34% del valor FOB (Valor mercancía puesta a bordo transporte marítimo) exportado en el año 2012, así como el 87,14% de las toneladas exportadas.

A pesar de ser una fibra altamente resistente, que incluso ha sido utilizada como sustituta de la fibra de vidrio en la industria automotriz, su manejo presenta dificultades y supone un alto riesgo para los trabajadores que la procesan. Un solo filamento puede convertirse en una navaja peligrosa capaz de causar mutilaciones. La mayoría de los accidentes ocurren durante el proceso de desfibrado, donde se utilizan máquinas desfibradoras importadas de Japón e India que no han sido reemplazadas en más de medio siglo. Estas desfibradoras, que funcionan con diésel, requieren que los trabajadores envuelvan la fibra para retirar el exceso de agua y deshilacharla. En un descubierto, la fibra puede atrapar una extremidad (Hurtado, 2019).

En la cosecha de abacá, solo se aprovecha entre el 20% y el 30% de su biomasa, lo que significa que el 70% y 80% restante no se utiliza. Esto representa una abundante materia prima que puede ser empleada en la elaboración de artículos de múltiples usos en diferentes campos, siendo este estudio en particular enfocado en la construcción (Aguirre Cruz et al., 2007; Mazzeo Meneses, 2010).

Composición de la Fibra de Abacá

La fibra de abacá se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. Su extracción se lleva a cabo mediante el corte de los vástagos, eliminación de las vainas, secado al sol y, en algunos casos, secado en horno. En un área de 4046.85 metros cuadrados, se puede obtener entre 1000 y 1500 kg de abacá, y se requiere de 10 a 13 tallos para producir de 1 a 2 kg de fibra (Basak et al., 2015).

El pseudotallo de la planta, que presenta una estructura de cacetas apretadas y en espiral, es la parte de mayor interés para la investigación (Besednjak, 2015). Este pseudotallo es una fuente de biomasa lignocelulósica residual y contiene fibras clasificadas como celulosa (Dietrich, 2005). Las propiedades térmicas de la fibra incluyen su curvatura tras el tratamiento al vapor, su color habano,

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

resistencia a la tracción, torsión y tensión sin afectarse por el agua, aunque puede sufrir decoloración por la solar (Delgado, 2019).

La composición química de la fibra de abacá muestra un contenido de celulosa del 60% al 65%, lignina del 5% al 19% y hemicelulosa del 6% al 19%. En cuanto a las propiedades mecánicas de la fibra, se observa una resistencia a la tracción de 384 a 800 N/mm², un módulo de Young de 20-34 N/mm² y una deformación convencional del 2% al 6% (Vásquez, 2019).

Fuente: (Kabir et al., 2011).

Ilustración 1

Fibra de Abacá
Composición fibra de abacá



Manera De Preparar La Fibra.

Procesamiento de la Fibra de Abacá

El primer paso en el proceso consiste en la extracción de la fibra, que generalmente se realiza de forma manual. Las fibras obtenidas se clasifican en cuatro tipos básicos: fibra tipo pelo, que es muy fina, pero requiere más tiempo para su extracción; fibra suave, obtenida de la segunda capa del pseudotallo; fibra dura, extraída de la cuarta capa del pseudotallo, que presenta mayor utilidad (Arteaga Alcivar, 2015).

La orientación de las fibras desempeña un papel importante. Se ha observado que una orientación unidireccional de las fibras, en comparación con una orientación de 90° o una orientación bidireccional, ofrece una mayor resistencia. Por ejemplo, el uso de fibra de bambú con sisal modificó una resistencia máxima de hasta 149,1 MPa (Getu et al., 2020).

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

La adaptación y complemento de la fibra es una alternativa por lo cual tiene celulosa 73.5%, lignina 12.99% entre otras, descrude de la fibra con agua caliente con solución salina y hervir a 45 min, secado al aire libre, teniendo características flexibles, adherente, maleable, fácil manejo (Torres, 2013). En otra investigación la preparación va de cepillado y secado con una humedad no superior de 12+-2%, almacenada a 20°C, con reactivos de epiclohidrina (EP), anhídrido acético (AA) disueltos en acetona, 1:10 de AA y EP entre si 1:1, secado en horno a 105°C por 24h (Lady Joana, 2013). La fibra de plátano en 14.9 % tiene una resistencia a la tracción de 30.17 MPa su elongación de 3.82%, Modulo de Young de 1.23.

Propiedades En Materiales Cementicios Y BAEC (Bases Tratadas Con Cemento)

La Base Estabilizada de Cemento (BAEC) es una capa fundamental en la construcción de pavimentos, ya que soporta la mayoría de los esfuerzos generados por los vehículos y maquinarias utilizadas. Para garantizar su capacidad de carga, se requiere la colocación de una capa rasante o de rodadura directamente sobre la base, con el fin de proporcionar el confinamiento necesario (Antay, 2021).

Por lo general, la base granular puede ser estabilizada mediante la adición de cal o cemento, con el objetivo de mejorar sus propiedades mecánicas y la durabilidad de la estructura del pavimento. La estabilidad volumétrica es una propiedad fundamental de la BAEC, lo que significa que el material debe tener una baja resistencia mecánica y una retracción muy reducida (Alarcon, 2023). Esto permite que la base pueda soportar las cargas generadas por los vehículos, transmitiendo menores esfuerzos al terreno natural (subrasante) sin sufrir daños o deformaciones (Toledo, 2014).

La obtención de estas bases se realiza mediante la mezcla de materiales granulares, como áridos o suelos, con cantidades adecuadas de cemento y agua (Bravo & Hugo, 2023). Posteriormente, se compacta en un período de tiempo limitado (Rocci, 1964). La composición de la BAEC suele incluir una combinación de arena de cisco y arena de banco, ambas lavadas, obtenidas a través de un proceso de explotación, trituración y cribado de materiales. Estas arenas se caracterizan por estar libres de impurezas y poseen una graduación excelente en un rango de tamaño de partícula de 0,015 a 5 mm.

El informe del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (2016) señala que la mayoría de las canteras en el país no cumplen con las características adecuadas de suelo para obtener

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

pavimentos de alta calidad. Por tanto, es importante mejorar estas condiciones agregando una cantidad mínima de cemento, lo que se conoce como "base cementada", con el objetivo de alcanzar resistencias iguales o superiores a 25 kg/cm² y mejorar sus propiedades mecánicas.

se determina por la dosificación de cemento necesaria para cumplir las condiciones requeridas. Esta dosificación se establece mediante un estudio detallado, que puede ser largo de realizar. Sin embargo, cuando se llevan a cabo proyecciones y se necesita determinar rápidamente si un material es óptimo. El criterio de aptitud de la BAEC reacciona adecuadamente con el cemento, se utilizan criterios de aptitud simplificados. Estos criterios permiten ahorrar tiempo y recursos, y se aplican de manera rápida y sencilla a un gran número de muestras.

Estos criterios simplificados de aptitud se dividen en dos tipos: aquellos que se basan en las características identificatorias del material y aquellos que se apoyan en ensayos empíricos.

En relación a los criterios de aptitud basados en las características identificatorias Cordero (2018), las resume de la siguiente manera:

- Los suelos arenosos son más aptos que los limosos.
- Los suelos poco plásticos son más aptos que los plásticos.
- Los suelos cuya granulometría está parcialmente cubierta en el rango de los áridos son menos aptos que los suelos arenosos, pero más aptos que los limosos.
- Los suelos con un coeficiente de uniformidad bajo son menos aptos que aquellos con un coeficiente alto.
- Un equivalente de arena inferior a 30 o superior a 50 indica un suelo poco apto.
- Un suelo limo arcilloso con un pH inferior a 7 es poco apto.
- Un suelo arenoso con un factor de absorción de calcio superior a 11 es poco apto.
- Si el pH del suelo cemento, medido a los quince minutos de amasado, es inferior a 12,2, el suelo es poco apto (Cordero, 2018).

Adición de materiales a la base estabilizada con cemento (BAEC)

La inclusión de sustancias que no son de la misma naturaleza que el material natural presente en la BAEC, como los ligantes bituminosos de antiguos firmes, es posible (Rodríguez, 2015). La presencia de estas inclusiones, que en ningún caso deben superar el 25% del total considerado como material natural, no afectará a las condiciones requeridas (Cordero, 2018).

La adición de materiales en la base estabilizada con cemento se lleva a cabo de manera intencional, con el propósito de utilizar un material natural que, de otra manera, no sería apto, o de reducir la dosificación de cemento, o de trabajar en condiciones especiales que no serían posibles de otra manera (González L. J., 2018).

Para realizar adiciones de materiales naturales, es importante realizar estudios de dosificación, homogeneidad y proporción. Estos estudios deben buscar el estado mínimo de compactación, la humedad óptima de compactación, la dosificación mínima de cemento, la estructura interna de la base, las relaciones volumétricas y la relación del agua en la compactación (Auccahuaqui, Corahua, & Kenyo, 2016).

Base Cementada Con Fibra de Abacá (BAEC-F)

Para la producción de la Base Cementada con fibra (BAEC-F), se han realizado estudios que fortalecen un rango óptimo de uso de fibra vegetal, que va desde el 0,5% al 1% del peso total. (Achref Guizani, Julio 2021)

Valores por encima de este límite tienden a afectar negativamente las propiedades de los materiales. Por lo tanto, se emplearán estos porcentajes recomendados, en el presente estudio uno de los porcentajes de fibra de abacá fue del 0.6%, en el que se obtuvo una resistencia máxima de 4.9 MPa y una carga correspondiente al 40% de la resistencia máxima de 15.7 kN. Lo que sugiere que un aumento en el porcentaje de fibra sin exceder el límite antes mencionado, puede tener un efecto positivo en la resistencia a la compresión del concreto. Es importante destacar que en este estudio se utilizó exclusivamente la base de las fibras de abacá, las cuales fueron cortadas a una longitud de 60 milímetros.

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Para obtener estos datos, Aguilar (2020) realizó pruebas utilizando diferentes porcentajes de cemento adicionado: 3%, 4% y 5%. Se demostró un incremento en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Además, los testigos que contenían un 4% y 5% de cemento mostraron una mayor resistencia, con valores cercanos entre ellos.

Pajares (2015) en su “Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la adición de fibra vegetal”. Encontró en relación a las propiedades mecánicas, que un porcentaje óptimo de mejora de fibra de abacá del 0,5% proporciona una mejora significativa en la resistencia a la compresión del concreto, con una reducción del 1,19% en los costos en comparación con la mezcla base. Además, se mostró una disminución del 4,23% en los costos para los esfuerzos de tracción y una reducción del 15,33% en los costos para los esfuerzos de flexión al reducir el porcentaje de fibra en un 1% en comparación con el costo base (Pajares, 2015).

Metodología

En este capítulo se describe la metodología utilizada en el presente estudio para llevar a cabo la investigación sobre las bases de agregados estabilizados con cemento fortalecidos con fibras de abacá. Se presentan los pasos y procedimientos que se siguieron para alcanzar los objetivos planteados.

Diseño de la investigación

En primer lugar, se estableció un diseño de investigación experimental para evaluar las propiedades de las bases de agregados estabilizados con cemento fortalecidos con fibras de abacá. Se llevaron a cabo pruebas y análisis en laboratorio para determinar las características mecánicas, físicas y durabilidad de las muestras.

Recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante la preparación de muestras de bases de agregados estabilizados con cemento fortalecidos con fibras de abacá. Se seleccionaron materiales adecuados y se llevaron a cabo los procesos de mezclado y compactación siguiendo las especificaciones establecidas. Posteriormente, se realizaron pruebas de laboratorio para medir las propiedades mecánicas y físicas de las muestras en forma de cilindros de 10x20. En total se prepararon 4 lotes, obteniendo 10 cilindros con diferentes porcentajes de fibra de abacá. Las muestras incluyeron

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

aquellas sin fibra de abacá, muestras con 0,2% de contenido de fibra, muestras con 0,4% de contenido de fibra y muestras con 0,6% de contenido de fibra.

Análisis de datos

Una vez recopilados los datos, se procedió a analizarlos utilizando técnicas estadísticas para determinar las diferencias significativas entre las muestras y se realizaron gráficos y tablas para visualizar los resultados.

Limitaciones del estudio

Es importante mencionar las limitaciones del estudio. Estas pueden incluir restricciones en el tiempo, recursos y acceso a muestras representativas. Estas limitaciones pueden afectar la generalización de los resultados obtenidos y se abordarán de manera transparente en la discusión de los hallazgos.

Dosificación de los materiales utilizados en el estudio

BACHT MATERIAL TAMIZADO EN 3/4		
VOL. BACHT (objetivo) dm ³ =	20	
BACHT DE LABORATORIO (Materiales estado Natural)		
MATERIAL	kg	Hum. (%)
AGUA ANADIDA	0.42	
CEM. MH	2.23	
BASE 1A (-3/4")	29.02	15.00
ARENA HOMOG.	6.18	10.00
TOTAL	37.85	

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

BACHT Material tamizado $\frac{3}{4}$

MEZCLA CON 4% DE CEMENTO			
frac.	DOSIFICACION (MATERIALES SECOS)		
	MATERIAL	kg/m ³	Hum. (%)
0.13	AGUA AÑADIDA	272.6	272.64
0.04	CEM. MH	85.6	0.04
0.73	BASE 1A	1565.6	0.00
0.10	ARENA HOMOG.	216.1	0.00
1.00	DENSIDAD	2140.0	
0.87	PROCTOR	1867.4	
	% HUM. BAEC (objetivo)		14.6

DOSIFICACION (HUMEDAD NATURAL)		
MATERIAL	kg/m ³	Hum. (%)
AGUA TOTAL	16.3	
CEM. MH	85.6	
BASE 1A	1800.4	15.00
ARENA HOMOG.	237.8	10.00
DENSIDAD	2140.0	
DENS. SECA	1867.4	

Resultados

Resultados Pruebas de Resistencia

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en especímenes de base de agregados estabilizada con cemento sin la adición de fibra (0% de fibra) y con diferentes porcentajes de fibra de abacá (0,2%, 0,4% y 0,6%). A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

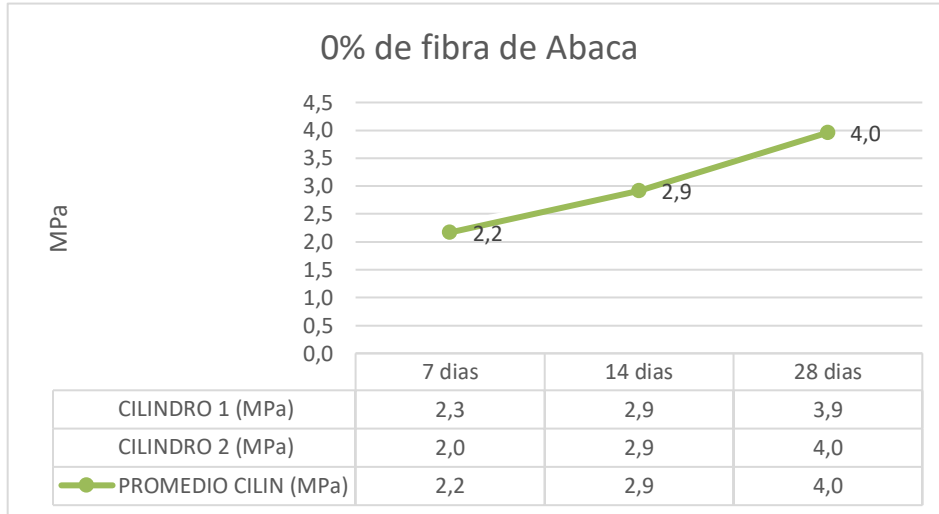
0% de fibra:

0% de fibra		
Fecha que se desmoldaron 03/09/2023		
	cilin 1 (MPa)	cilin 2 (MPa)
7 días	2,3	2,0
14 días	2,9	2,9
28 días	3,9	4,0
promedio 7 días		2,2
promedio 14 días		2,9
promedio 28 días		4,0

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Ilustración 2

Pruebas de Resistencia 0% de Fibra de Abacá



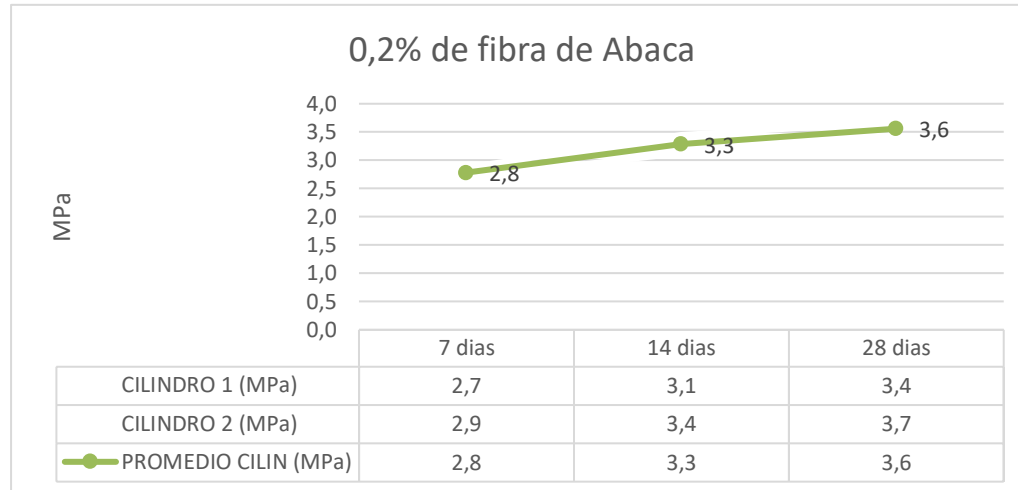
0,2% de fibra:

0,2% de fibra		
Fecha que se desmoldaron 25/01/2023		
	cilin 1 (MPa)	cilin 2 (Mpa)
7 días	2,7	2,9
14 días	3,1	3,4
28 días	3,4	3,7
promedio 7 días		2,8
promedio 14 días		3,3
promedio 28 días		3,6

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Ilustración 3

Pruebas de Resistencia 0.2% de Fibra de Abacá



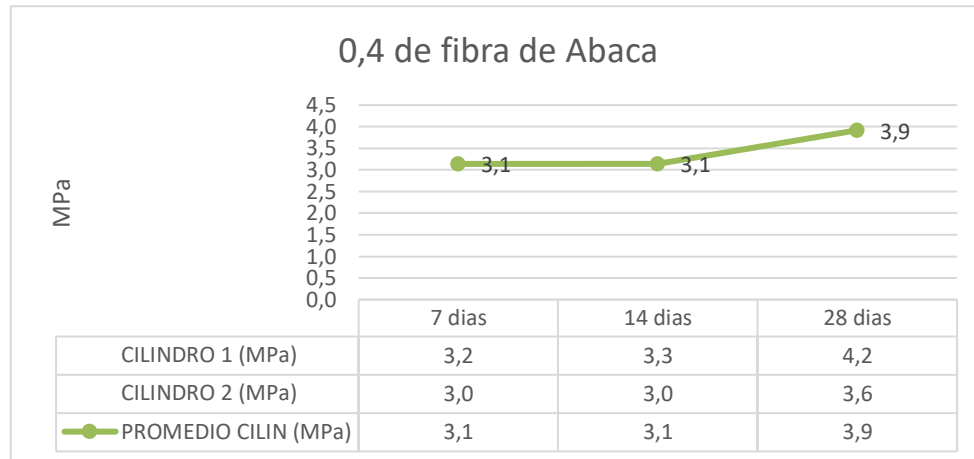
0,4% de fibra:

0,4% de fibra		
Fecha que se desmoldaron 26/01/2023		
	cilin 1 (MPa)	cilin 2 (MPa)
7 días	3,2	3,0
14 días	3,3	3,0
28 días	4,2	3,6
promedio 7 días		3,1
promedio 14 días		3,1
promedio 28 días		3,9

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Ilustración 4

Pruebas de Resistencia 0.4% de Fibra de Abacá



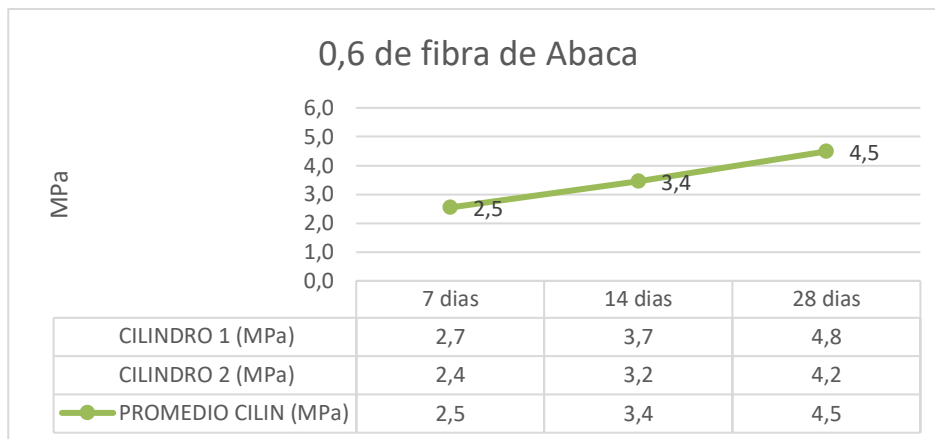
0,6% de fibra:

0,6% de fibra		
Fecha que se desmoldaron 03/10/2023		
	cilin 1 (MPa)	cilin 2 (MPa)
7 dias	2,7	2,4
14 dias	3,7	3,2
28 dias	4,8	4,2
promedio 7 dias		2,5
promedio 14 dias		3,4
promedio 28 dias		4,5

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Ilustración 5

Pruebas de Resistencia 0.6% de Fibra de Abacá



El estudio revela que los contenidos de fibra entre el 0.2% y 0.4 % desarrollan más rápidamente las resistencias a las edades de 7 y 14 días.

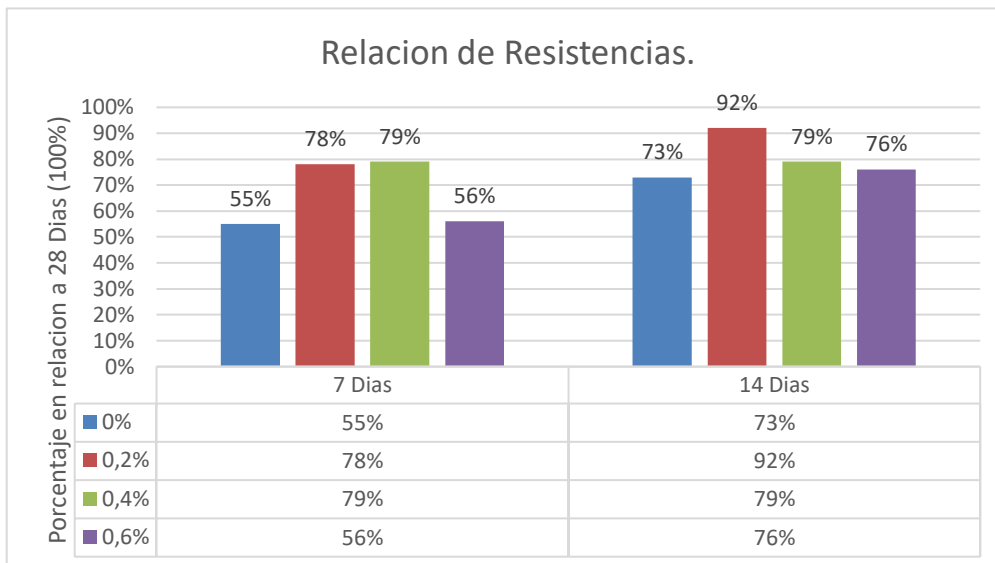
Estas edades son importantes para conocer si se puede dar una apertura rápida al tráfico de vehículos en los pavimentos.

En la siguiente tabla de Clasificación del material podemos observar que los resultados obtenidos en todos nuestros ensayos están dentro del rango de Resistencia a la compresión de especímenes saturados entre los 7 a 28 días.

Tipo de material	Resistencia a la compresión especímenes saturados, * (kg/cm ²)	
	7 días	28 días
Suelos de arena y grava: AASHTO grupos A-1,A-2,A-3 Grupos unificados GW, GC, GP, GM, SW, SC, SP, SM	21 – 42	28 - 70
Suelos limosos AASHTO grupos A-4 y A-5 Grupos unificados ML y CL	18 – 35	21 - 63
Suelos arcillosos AASHTO grupos A-6 y A-7 Grupos unificados MH y CH	14 – 28	18 - 42

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Relaciones de Resistencias tomando como referencia el porcentaje a 28 días (100%)



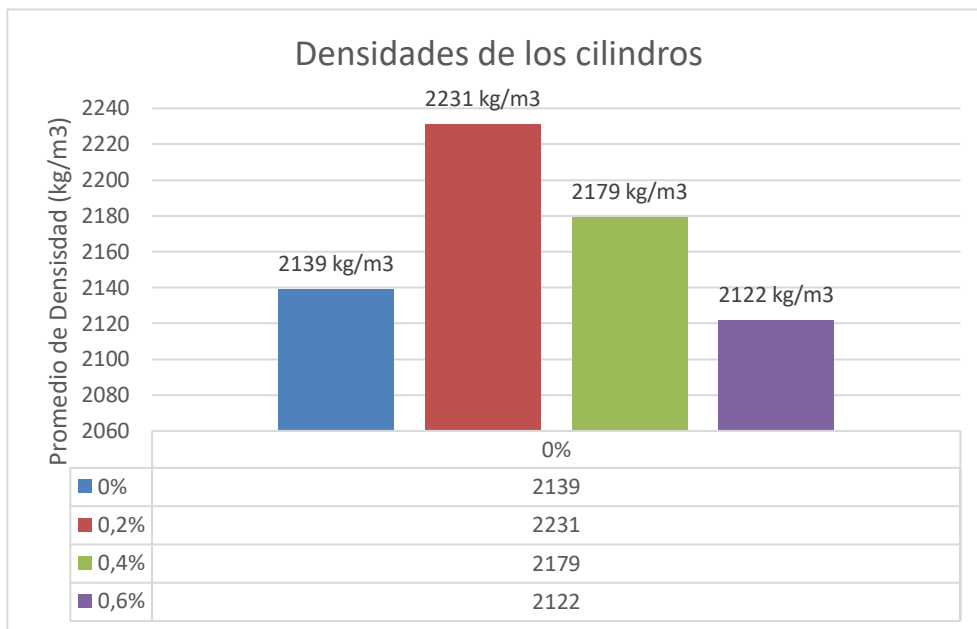
Resultados Pruebas de Densidad

Se realizaron mediciones de densidad en los cilindros de 10x20 cm de las bases de agregados estabilizadas con cemento y diferentes porcentajes de fibra de abacá. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Cilindros	#	Densidad (kg/m3)	Promedio de Densidad (kg/m3)
0%	#1	2142	2139
	#2	2135	
0,2%	#1	2232	2231
	#2	2230	
0,4%	#1	2187	2179
	#2	2171	
0,6%	#1	2149	2122
	#2	2095	

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Tabla 1 Análisis de Densidad



Se observa que a medida que incrementa la fibra de abacá más allá del 0.2 % la densidad disminuye ligeramente. Los promedios de densidad muestran una tendencia descendente, indicando que la adición de fibra afecta la compactación de la base de agregados estabilizados con cemento.

Resultados Pruebas de Modulo de Elasticidad Estático del concreto a compresión

Se llevó a cabo la determinación del módulo de elasticidad estático del concreto a compresión en tres casos diferentes: una base estabilizada con abacá, una base estabilizada con fibra de abacá y una base estabilizada con abacá/UTM (Unidad Técnica de Medida), como parte del proyecto de diseño siguiendo la norma ASTM C 469.

Los detalles de cada caso, incluyendo las fechas de moldeo, rotura, edad de las muestras, estudiantes involucrados y características de las muestras, se presentan a continuación:

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Fibra de Abacá 0%

Esfuerzo vs Deformación Unitaria

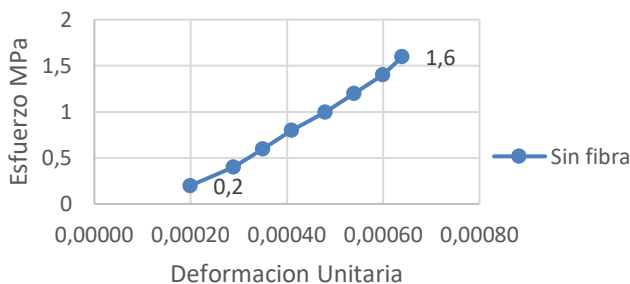
Sin Fibra	
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,2	0,00020
0,4	0,00029
0,6	0,00035
0,8	0,00041
1,0	0,00048
1,2	0,00054
1,4	0,00060
1,6	0,00064

Esfuerzo vs Deformación Unitaria hasta la rotura

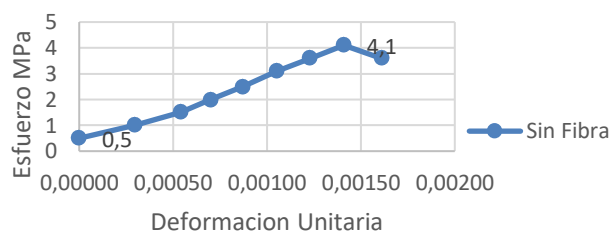
Sin Fibra	
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,5	0,00000
1,0	0,00030
1,5	0,00054
2,0	0,00070
2,5	0,00087
3,1	0,00105
3,6	0,00123
4,1	0,00141

Deformación Elástica

Esfuerzo vs. Def. Unit. 0% Fibra.



Esfuerzo vs. Def. Unit. hasta la Rotura 0% Fibra.



Ultima

Módulo de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$E = 2389 \text{ Mpa}$
 $E = 2.39 \text{ GPa}$

Modulo de Elasticidad hasta la rotura

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

$E = 2060 \text{ Mpa}$
 $E = 2 \text{ GPa}$

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Cálculo de Ductilidad

Sin Fibra		$f_c (40\%) =$	1,6 MPa
-----------	--	----------------	---------

Deformación última	0,00161	Ductilidad	2,98
Deformación elástica	0,00054		

Fibra de Abacá 0.2%

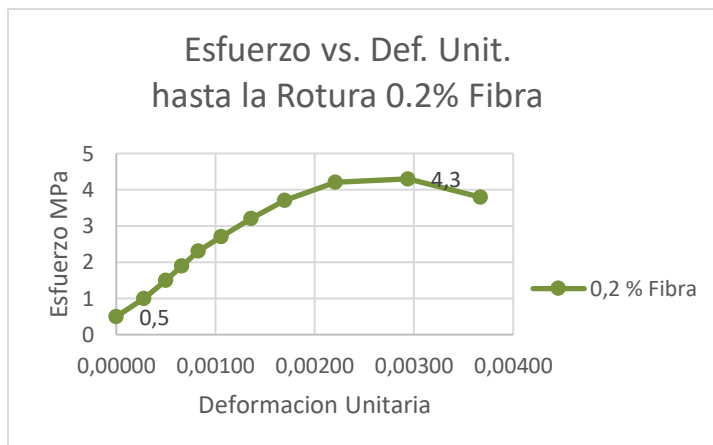
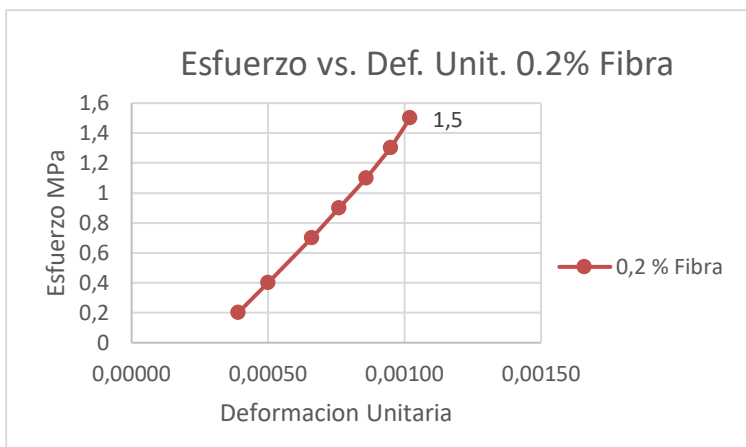
Esfuerzo vs Deformación Unitaria

0,2 % Fibra	
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,2	0,00039
0,4	0,00050
0,7	0,00066
0,9	0,00076
1,1	0,00086
1,3	0,00095
1,5	0,00102

Esfuerzo vs Deformación Unitaria hasta la rotura

0,2 % Fibra		Deformación Unitaria
Esfuerzo MPa		
0,5		0,00000
1,0		0,00028
1,5		0,00050
1,9		0,00066
2,3		0,00083
2,7		0,00106
3,2		0,00136
3,7		0,00170
4,2		0,00221
4,3	0,00294	
3,8	0,00367	Deformación Última

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá



Módulo de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

$$E = 1342 \text{ Mpa}$$

$$E = 1.34 \text{ GPa}$$

Modulo de Elasticidad hasta la rotura

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\varepsilon_2 - 0.000050}$$

$$E = 2299 \text{ Mpa}$$

$$E = 2 \text{ GPa}$$

Caculo de Ductilidad

0,2% Fibra		fc(40%)=	1,8 MPa
------------	--	----------	---------

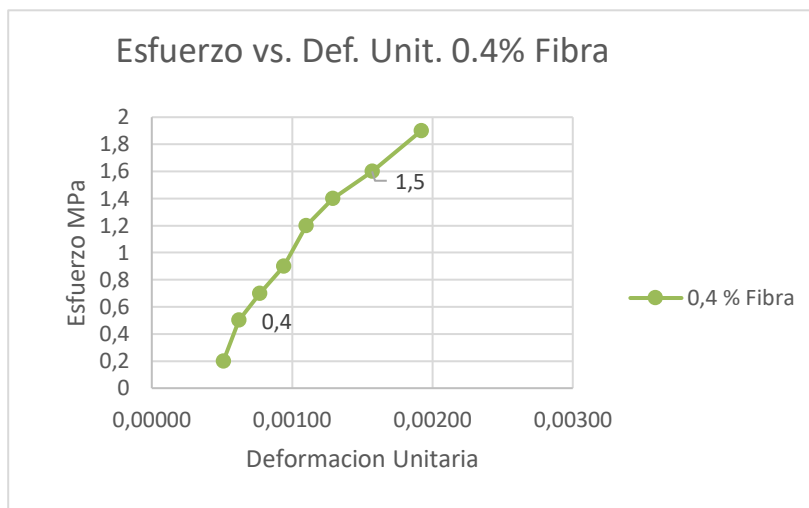
Deformación ultima	0,00367	Ductilidad	5,91
Deformación elástica	0,00062		

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Fibra de Abacá 0.4%

Módulo de Elasticidad

0,4 % Fibra	
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,2	0,00051
0,5	0,00062
0,7	0,00077
0,9	0,00094
1,2	0,00110
1,4	0,00129
1,6	0,00157
1,9	0,00192



Módulo de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

E	$=$	882	Mpa
E	$=$	0.88	GPa

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

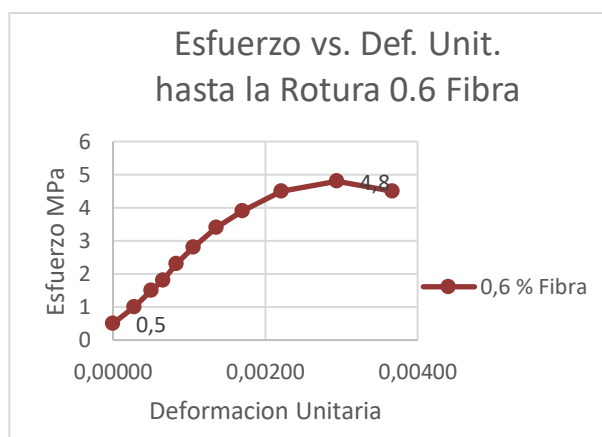
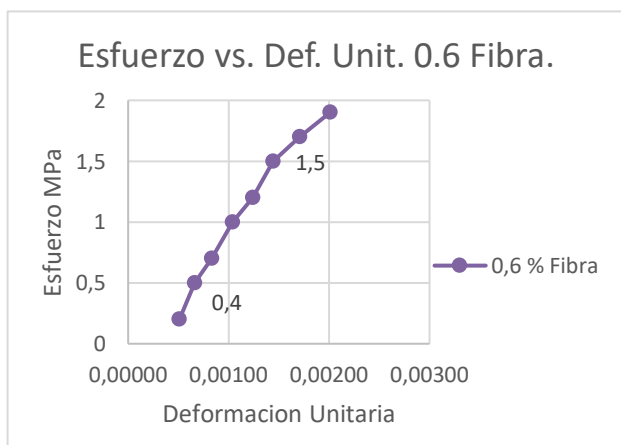
Fibra de Abacá: 0.6%

Módulo de Elasticidad

0,6 % Fibra	
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,2	0,00051
0,5	0,00066
0,7	0,00083
1,0	0,00104
1,2	0,00124
1,5	0,00144
1,7	0,00171
1,9	0,00201

Modulo de Elasticidad hasta la rotura

0,6 % Fibra			
Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria		
0,5	0,00000		
1,0	0,00028		
1,5	0,00050		
1,8	0,00066	Deformación	
2,3	0,00083	Elástica	
2,8	0,00106		
3,4	0,00136		
3,9	0,00170		
4,5	0,00221		
4,8	0,00294		
4,5	0,00367	Deformación	
		Ultima	



Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

Módulo de Elasticidad

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

E	=	870	Mpa
E	=	0.87	GPa

Modulo de Elasticidad hasta la rotura

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{\epsilon_2 - 0.000050}$$

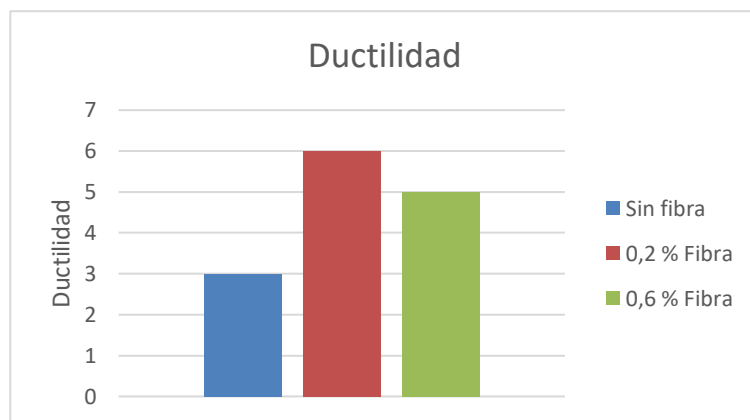
E	=	2090	Mpa
E	=	2	GPa

Cálculo de Ductilidad

0,6% Fibra		fc (40%)=	2,0 MPa
------------	--	-----------	---------

Deformación ultima	0,00367	Ductilidad	4,92
Deformación elástica	0,000745		

Tabla de Ductilidad



Con estos resultados podemos determinar que la adición de fibra de abacá en las BAEC influye en la resistencia mecánica a compresión simple. En los casos estudiados observamos que un porcentaje de 0.2% es óptimo con relación a los otros porcentajes de fibra ya que en este punto es donde obtenemos una mejor ductilidad. Analizar estos resultados puede ayudarnos en el diseño y la selección adecuada

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de Abacá

de la cantidad de fibra a utilizar en la estabilización de las bases de agregados con cemento, considerando el equilibrio entre resistencia y economía en el uso de los materiales.

Conclusiones

La presencia de fibra de abacá en las bases de agregados estabilizadas con cemento mejora la resistencia mecánica a compresión simple. Siendo el 0.2% la cantidad de fibra óptima, ya que nos ayuda a obtener una mejor ductilidad.

A medida que se incrementa la cantidad de fibra de abacá más allá del 0.2 %, la densidad disminuye ligeramente. Los valores de densidad obtenidos muestran una descendencia al momento de agregar dicha fibra indicando que su adición afecta la compactación de la base de agregados estabilizados con cemento.

La fibra de abacá puede actuar como un refuerzo adicional en el concreto, mejorando su capacidad para resistir tensiones y deformaciones, lo que resulta en una mayor ductilidad del material.

Los cálculos de ductilidad demuestran que la incorporación de fibra de abacá en el concreto proporciona una mejora significativa en la capacidad de deformación y resistencia del material. Estas pruebas respaldan la viabilidad de utilizar fibra de abacá como refuerzo en aplicaciones de construcción civil, brindando mayor seguridad y durabilidad a las estructuras

Referencias

- Achref Guizani, S. H. (Julio 2021). 17^a Conferencia Internacional sobre Métodos Mesoscópicos en Ingeniería y Ciencia (ICMMES 2021). Efecto de la fibra natural tratada en la resistencia de un compuesto a base de cemento. Tunisia.
- Alarcon, B. A. (2023). Diseño conceptual de materiales asfálticos multifuncionales. MS thesis. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Antay, M. P. (2021). "Incorporación de la fibra de cáñamo para mejorar las propiedades del concreto para pavimento rígido. UDV.
- Arqhys Arquitectura. (2022). www.arqhys.com. Obtenido de www.arqhys.com: <https://www.arqhys.com/arquitectura/queson-agregados.html>
- Auccahuaqui, Y., Corahua, H. I., & Kenyo, R. Y. (2016). Evaluación del Sistema e Pavimentos Flexibles en la Prolongación de la Av. La Cultura . Universidad Andina Cusco.
- Bravo, J. M., & Hugo, M. K. (2023). "Uso de suelo-cemento como capa de base en estructuras de pavimento en la provincia del Azuay con suelos tipo a4 a a7. UCACUE.
- Bua, M. T. (30 de Abril de 2014). edu.xunta.gal. Obtenido de edu.xunta.gal: <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/index.html>
- Comunidad 360. (30 de Julio de 2021). www.360enconcreto.com. Obtenido de www.360enconcreto.com: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/usos-beneficios-y-recomendaciones-del-manejo-de-los-agregados>
- Cordero, S. R. (2018). Manual cr-2010. Proceso de actualización y Principales modificaciones de las secciones 301 subbases y bases granulares y 302 bases Granulares estabilizadas con cemento. UCR.
- Costas, M. y. (2022). www.terranovapapers.com. Obtenido de www.terranovapapers.com: <http://terranovapapers.com/es/el-abaca/#:~:text=Esta%20fibra%2C%20tambi%C3%A9n%20llamada%20c%C3%A1%20B1amo,el%20tronco%20de%20la%20planta>.
- Delgado, A. F. (2012). Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros. UPN.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2009). www.fao.org. Obtenido de www.fao.org: <https://www.fao.org/natural-fibres-2009/about/15-natural-fibres/es/>

Análisis de las Propiedades de una Base de Agregados Estabilizada con Cemento y con Refuerzo de Fibra de
Abacá

- Frida. (5 de Noviembre de 2021). es.scribd.com. Obtenido de es.scribd.com:
<https://es.scribd.com/document/537441772/Las-arcillas-expansivas-son-posiblemente-el-material-mas-problematico-en-ingenieria-civil>
- geologiaweb.com. (2022). Obtenido de geologiaweb.com: <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/arcillas-expansivas/>
- Gomez, G. (16 de Septiembre de 2018). homify.com. Obtenido de homify.com:
https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/5902198/que-es-la-madera-ecologica-y-sus-usos-en-la-construccion-de-casas
- González, L. J. (2018). Estudio sobre cinco tipos de hormigones con propiedades especiales. UNICAN.
- Hormigon, C. T. (2003). Bases de Suelo-Cemento. Serie Monografías.
- Hurtado, F. (16 de Febrero de 2019). www.planv.com. Obtenido de www.planv.com:
<https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/abaca-esclavitud-moderna-campos-ecuador>
- Leon, M. P. (Agosto de 2010). ww.scielo.cl. Obtenido de www.scielo.cl:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732010000200003
- Leonor Camargo, M. A. (Julio de 2012). scielo.org.co. Obtenido de scielo.org.co:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-38142012000200001
- Lirola, C. (4 de Septiembre de 2020). autopromotores.com. Obtenido de autopromotores.com:
<https://www.autopromotores.com/materiales-de-construccion/>
- Lirola, C. (4 de Septiembre de 2020). autopromotores.com. Obtenido de autopromotores.com:
<https://www.autopromotores.com/materiales-de-construccion/>
- Pajares, U. E. (2015). Análisis del incremento de la resistencia mecánica del concreto con la.
- Rincon, H. D. (2020). Uso de materiales no convencionales en la elaboracion de concreto. Tunja: Santo Tomas.
- Rodríguez, J. A. (2015). Estabilización de suelos en obras de carreteras. . MS thesis. Universidade de Évora.
- Supermix, C. (2021). ww.supermix.con. Obtenido de www.supermix.com:
<https://www.supermix.com.pe/agregados-para-la-elaboracion-de-concreto/>
- Team, R. (8 de Noviembre de 2018). ruvival.de. Obtenido de ruvival.de:
<https://www.ruvival.de/es/construccion-con-tierra->
-

