

Análisis de resistencia y durabilidad del suelo cemento con adición de fibras textiles de Denim (JEAN)

Strength and durability analysis of cement floor with addition of textile fibers from Denim (JEAN)

Andrés Felipe Ruiz González¹, Jicell Viviana Mora Ruiz², Martín Ernesto Riascos Caipe³, Xavier Fernando Hurtado Amézquita⁴

¹Ingeniero Civil. Gerente administrativo, AR Ingenieros contratistas, Bogotá, Colombia. andresruiz.aringenieros@gmail.com

²Ingeniera Civil. Estudiante Master Ingeniería del Terreno, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España. jicell.viviana.mora@estudiant.upc.edu

³Magister en Ingeniería Civil. Profesor asistente, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. meriascos@unisalle.edu.co

⁴Magister en Ingeniería – Estructuras. Profesor asistente, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. xahurtado@unisalle.edu.co

Página
68

ESING

Fecha de Recepción: 10/08/2018

Fecha de Aceptación: 20/10/2018

RESUMEN

El uso de materiales reciclados en procesos de construcción de vías es una técnica que se ha ido incrementando en los últimos años. En este trabajo se presenta como alternativa de mejoramiento de suelo estabilizado con cemento la adición de fibras textiles de denim (jean), la cual se caracteriza por medio de pruebas geomecánicas de CBR, resistencia a la compresión y ensayo de humedecimiento y secado. El resultado muestra que la inclusión de esta fibra textil favorece el incremento de la resistencia del suelo estabilizado y mejora su durabilidad.

PALABRAS CLAVES

Suelo estabilizado, fibras de denim, jean, resistencia, durabilidad.

ABSTRACT

The use of recycled materials in processes of road construction is a technic that has been increasing in the last years. In this work, it is presented as soil improving alternative stabilizing with cement the addition of textile fibers of Denim (jean, which is characterized by means of geo-mechanic tests of CBR, compressive strength and wetting and drying test. The result shows that the inclusion of

this textile fiber increases stabilized soil resistance and improves its durability.

KEYWORDS

Stabilized soil, Denim fibers, jean, resistance, durability.

INTRODUCCIÓN

El avance en la construcción de vías ha exigido nuevas formas e implementaciones de materiales modificados, como lo es el suelo cemento, con los cuales se busca un equilibrio ambiental, tecnológico y económico. El suelo cemento es una mezcla uniforme de suelos o agregados (material adicionado totalmente o resultante de la escarificación de la capa superficial existente, o una mezcla de ambos), cemento, agua y eventualmente aditivos. De acuerdo con las dimensiones, su uso busca mejorar las características de durabilidad y resistencia. [1]

En diversos artículos de investigación, se ha visto el desarrollo de mejoramiento de las propiedades del suelo cemento con aditivos, polímeros, granos de caucho y diferentes fibras, evidenciándose en un cambio de la resistencia y capacidad portante de los suelos, algunos de sus resultados han sido favorables y otros por el contrario han degradado

Para citar este artículo / To cite this article

A.F. Ruiz, J.V. Mora, M.E. Riascos, X.F. Hurtado. Análisis de resistencia y durabilidad del suelo cemento con adición de fibras textiles de Denim (JEAN). Revista Ingenieros Militares, No. 13, pp 68. 2018

sus propiedades mecánicas. A pesar de las múltiples investigaciones existentes acerca de esta temática, no ha sido considerado la adición de fibras textiles a la mezcla en este tipo de estabilizaciones.

Según Santiago Montero, en Colombia, las únicas prendas textiles que tienen un reciclaje obligado son las empleadas en hospitales a causa del riesgo biológico. La contaminación causada por la manufactura textil va desde su fabricación, hasta su descomposición. Por ejemplo, elaborar un pantalón puede requerir hasta de 1500 litros de agua, y su descomposición puede llegar a tardar hasta 500 siglos, tratándose de materiales sintéticos [2].

Por otra parte, según el diario El Tiempo en su artículo “¿A dónde va a parar la ropa que se bota a la basura?”, en Bogotá se calcula que de 360 a 600 toneladas de ropa usada es botada a la basura. La Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), argumenta que estos residuos terminan en el relleno sanitario Doña Juana, y los textiles que no son allí dispuestos terminan en sistemas de aguas lluvia, zanjas y algunos abandonados en zonas verdes [3]. De acuerdo con este panorama local, el propósito de esta investigación es usar los desperdicios de fibra textil denim, provenientes de procesos de elaboración de prendas en jean, los cuales a diario están generando residuos que no son reutilizados en la fábrica y que terminan siendo dispuestos en los botaderos de la ciudad.

El fin de la inclusión de este residuo textil en la matriz de suelo cemento, es el de mejorar sus propiedades de resistencia y durabilidad, para construcción de capas de estructura de pavimento. La caracterización mecánica de este mástico de suelo cemento y fibra textil se realizó por medio de ensayos de CBR, resistencia a la compresión simple y de humedecimiento y secado, obteniendo como resultados el incremento de sus propiedades geomecánicas.

METODOLOGÍA

En el desarrollo de este estudio, se revisó el estado del arte al uso de fibras en suelos estabilizados con cemento. Dentro de los materiales componentes de la matriz, el suelo fue caracterizado por medio de los ensayos de compactación modificado, granulometría, límites de consistencia, contenido de materia orgánica y CBR. Para la fibra textil solamente se hizo caracterización física de tamaño de manera visual.

Posteriormente, se elaboraron diferentes matrices de suelo cemento empleando diferentes dosificaciones de cemento en peso (3%-6%-9%), hasta determinar su contenido óptimo. Luego, con esta matriz dosificada, se hicieron muestras en las que se varió la proporción de fibra de denim (0% - 0.5% - 1.0% - 1.5%), adicionadas también en peso. Finalmente se analiza los resultados obtenidos y se comparan con la muestra patrón que es el suelo en estado natural.

Materiales

A continuación se describen los materiales empleados en el estudio:

Fibras de denim (Jean): El denim se compone por fibras de algodón retorcidas generando hilos de alta torsión, los cuales se enlazan por medio del tejido cruzado [4].

En el desarrollo de la presente investigación se utilizaron fibras de denim recicladas, provenientes de los residuos en fábricas textiles en la ciudad de Bogotá como Lafayette y Telas Liverpool, en proporciones 0.5%, 1%, y 1.5%, y con largo específico de fibra de entre 3 a 7 cm, y ancho aproximado entre 0,2 mm y 0,5 mm.

Cemento: Se utilizó cemento Portland tipo I, cemento comercial.

Agua: Para la fabricación de probetas se utilizó agua potable del servicio de acueducto de la ciudad de Bogotá, la cual contiene un PH entre 6.5 y 8.5.

Los aditivos que generalmente se encuentran en el agua tratada son Yodo, Cloro, Nitratos, Nitritos, Cloruros, Amonio, Calcio, Magnesio, Fosfato, Arsénico [5].

Suelo: Se hizo uso de un suelo extraído de cantera, capa superficial de la corteza, catalogado como material de afirmado de tipo “A”, con índice de clasificación “A-50”, el cual es utilizado principalmente para rellenos en estructuras de vías y mejoramientos de suelo, con límite líquido menor al 30%, índice de plasticidad menor al 12%, cantidad de materia orgánica menor del 1% [6]. Su clasificación según AASTHO es A-1-b y según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una grava pobremente graduada (GP).

La distribución de tamaño de material se muestra en la figura 1. Las propiedades físicas del material empleado se muestran en la tabla 1. Se espera que al igual que las fibras vegetales, la adición aquí propuesta, mejore las características de resistencia y durabilidad del suelo [7-9].

Tabla 1. Propiedades del suelo granular utilizado. Fuente: Autores.

Propiedades físicas	Resultado
Límite líquido (%)	29
Índice de plasticidad (%)	10
Contenido de materia orgánica (%)	0.99
Humedad óptima (%)	11
Densidad seca máxima (g/cm ³)	2.0
CBR (%)	4.13

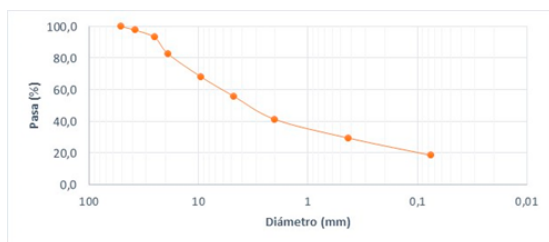


Figura 1. Granulometría del suelo a utilizar. Fuente: Autores.

Mezclas diseño y preparación de especímenes

Las mezclas de los especímenes tuvieron variación en los contenidos de cemento (3%, 6%, y 9%) y fibra (0.5%, 1.0% y 1.5%). Además se incluyeron muestras patrón sin cemento y sin fibra, como se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Especificación de cada uno de las mezclas realizadas. Fuente: Autores.

Mezcla	Proporción de cemento (%)	Proporción de fibra (%)
SA-0C-00F	0	0
SA-3C-00F	3.0	0.0
SA-3C-05F	3.0	0.5
SA-3C-10F	3.0	1.0
SA-3C-15F	3.0	1.5
SA-6C-00F	6.0	0.0
SA-6C-05F	6.0	0.5
SA-6C-10F	6.0	1.0
SA-6C-15F	6.0	1.5
SA-9C-00F	9.0	0.0
SA-9C-05F	9.0	0.5
SA-9C-10F	9.0	1.0
SA-9C-15F	9.0	1.5

Ensayos mecánicos

Relaciones humedad – densidad de mezclas de suelo cemento:

Para determinar la humedad óptima y la densidad seca máxima se realizó el ensayo de relación de humedad – densidad para las mezclas de suelo cemento y las que se adicionaron fibra textil. Este ensayo se ejecutó previo a la hidratación del cemento. Para la realización del ensayo se escogió una muestra representativa mayor a 2.7 kg de suelo mezclada con la cantidad requerida de cemento uniformemente adicionada, para diferentes contenidos de agua.

CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada:

Se realizaron ensayos de CBR (California Bearing Ratio) para el suelo natural y estabilizado con cemento y adición de fibra. El suelo utilizado para el ensayo contenía partículas tamaño máximo inferior a 19mm (3/4"). Para la realización del ensayo se maneja un pistón circular que penetra la muestra a una velocidad constante, y con esto se evalúa la resistencia potencial de los materiales.

Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo – cemento:

Se realizaron 12 especímenes de 4" de diámetro y 8" de altura para ser fallados a compresión simple con el fin de establecer la resistencia máxima del material. Para este ensayo muestra cilíndrica es llevada a la plataforma de la máquina, y allí se aplica la carga continua uniforme y sin impactos.

Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo – cemento:

Este ensayo determina los cambios de humedad y volumen (expansión y contracción) ocasionados por la pérdida de agua. Para este ensayo las muestras mezcladas anteriormente con cemento son compactadas en un molde, llevadas a la cámara húmeda sumergiéndola en agua potable a temperatura ambiente durante 5 horas. Posteriormente se registra la masa y las medidas del espécimen.

RESULTADOS

Humedecimiento y densidad de muestras compactadas de suelo – cemento

En la figura 2 se presentan gráficamente los datos obtenidos de los tres ensayos, en donde se relaciona la humedad vs la densidad del suelo natural, apreciándose un comportamiento similar. La curva del Suelo Natural + 3% cemento alcanzan un punto máximo de alrededor de 2.0 kg/m³ de densidad frente a 10.8% de humedad.

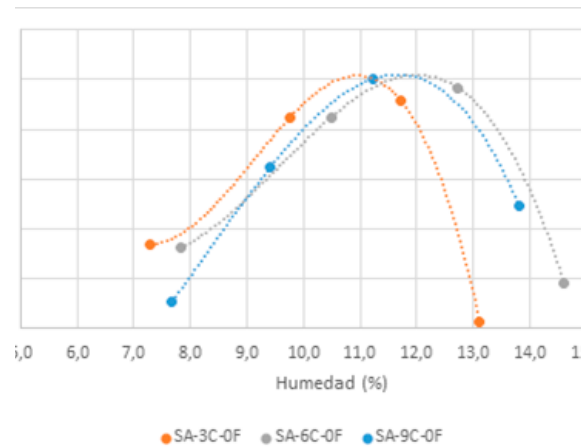


Figura 2. Relación densidad seca y humedad suelo cemento. Fuente: Autores.

Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo – cemento

Los resultados de los ensayos muestran un incremento de 0.2MPa entre las mezclas con contenido de cemento 3% y 6%. Para la condición de 9% de cemento el incremento de la resistencia es significativo con una diferencia de 1.0MPa con respecto a la dosificación previa.

Por otra parte, tomando en cuenta el anterior ensayo se analiza que la proporción adecuada en cemento en las mezclas realizadas es de 6.2%, de acuerdo con la resistencia de diseño mínima de 2.1MPa.

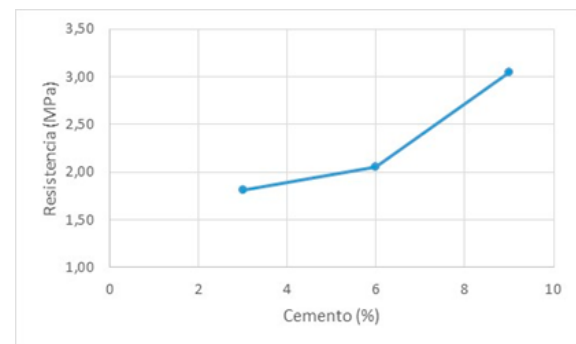


Figura 3. Relación densidad seca y humedad suelo cemento. Fuente: Autores.

Humedecimiento y densidad de muestras compactadas de suelo – cemento con adición de fibra de demin

En la figura 4 se evidencia el comportamiento de la densidad seca máxima, obtenido del ensayo de compactación, para cada dosificación de cemento y fibra textil. El mejor desempeño se presenta en la mezcla de suelo natural + 9% cemento + 0,5 fibra que alcanza un valor de 2.01 kg/m³.

Por otra parte, el cambio de la humedad óptima de compactación no presenta variación significativa, mostrando resultados similares entre los especímenes de suelo, los resultados fueron similares, resultados oscilan entre 10.4% y 12.0%

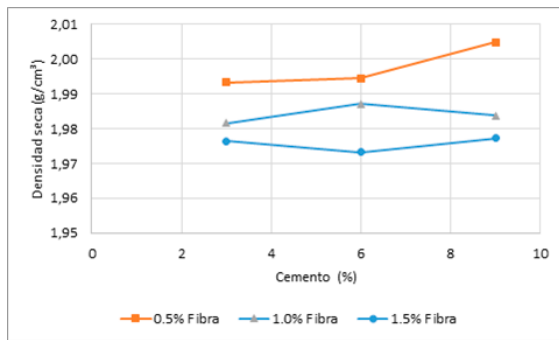


Figura 4. Variación de la densidad Suelo Natural con diferentes porcentajes de cemento y fibra. Fuente: Autores.

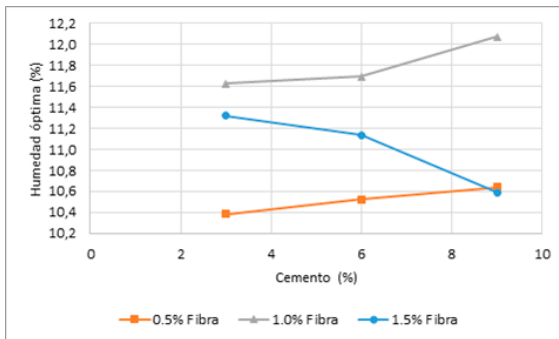


Figura 5. Variación de la densidad Suelo Natural con diferentes porcentajes de cemento y fibra. Fuente: Autores.

Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) suelo – cemento con adición de fibra de demin

La figura 6 refleja la variación del valor de CBR para cada matriz de suelo – cemento – fibra, para la preparación de los especímenes se tuvo en cuenta la humedad óptima obtenida en el ensayo de compactación previo, la muestra de Suelo Natural + 8% cemento + 1.0 fibra fue la que mejor comportamiento arrojó, con un valor de 27.5% de CBR. En general el contenido de 1.0% de fibra de denim fue la que mejor desempeño tuvo en la prueba de capacidad de soporte de California.

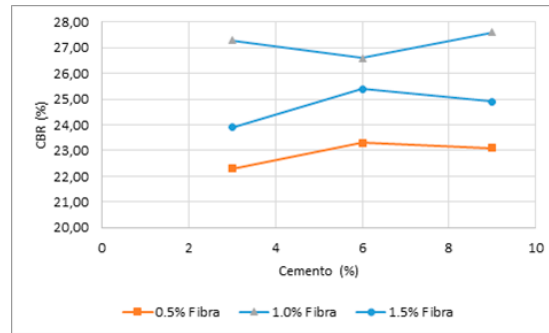


Figura 6. Variación del CBR con diferentes porcentajes de cemento y fibra. Fuente: Autores.

Analizando el comportamiento a la expansión del ensayo de CBR, en la figura 7 se puede evidenciar que la muestra con suelo natural + 6.1 Cemento + 1% de fibra textil es la que mejor comportamiento tiene al cambio volumétrico ya que presenta un valor cercano al 1.0% de expansión.

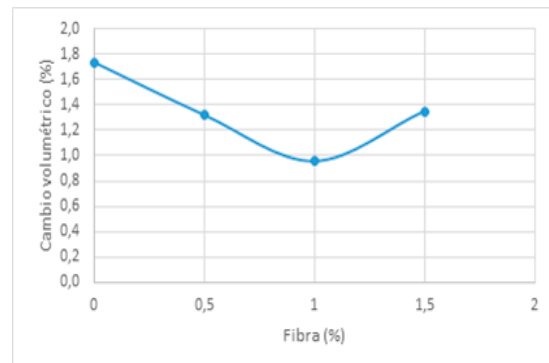


Figura 7. Variación del volumen con diferente cantidad de fibra, con 6.2% de contenido de cemento. Fuente: Autores.

Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de suelo – cemento con adición de fibra de demin

Las probetas de suelo cemento con inclusión de fibra se realizaron con el valor de contenido óptimo de cemento hallado anteriormente, la combinación que presento mejor comportamiento fue la muestra de Suelo Natural + 6.2% cemento +1.0 fibra, la cual tuvo un valor aproximado de resistencia a la compresión simple de de 2.6 MPa, mientras que la probeta que mostró una menor resistencia fue la muestra de Suelo Natural + 6.2% cemento +0 fibra con un valor aproximado de 2.05 Mpa como se puede evidenciar en la figura 8.

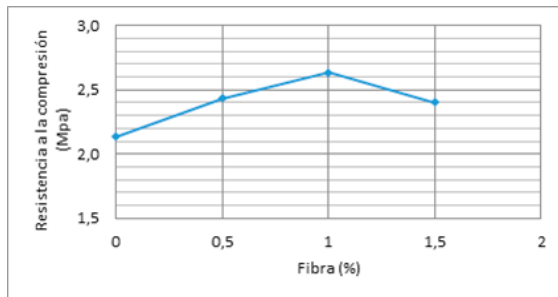


Figura 8. Variación de la resistencia a la compresión para muestras con 6.2% de cemento y diferente cantidad de fibra. Fuente: Autores.

Se puede evidenciar que la inclusión de fibras de demin mejoran las características geomecánicas del suelo – cemento. Cuando se adiciona una fibra a un suelo estabilizado el refuerzo aumenta tanto la resistencia, disminuye la rigidez y cambia el comportamiento frágil del suelo cementado a uno más dúctil [9].

Humedecimiento y secado de mezclas compactadas de suelo – cemento

En la figura 9 se observa el porcentaje de pérdida de material para los ciclos de humedecimiento y secado realizado a las probetas con contenido de cemento de 6.2% y diferente porcentaje de fibra de demin. De la gráfica se puede evidenciar una disminución en el volumen a medida que se va acercando a 1% de inclusión de fibra textil, llegado este punto el aumento el porcentaje de pérdida empieza a aumentar. El valor de adición de fibra del 1% fue el que mejor desempeño arrojando un valor de 9.2% de pérdida de material.

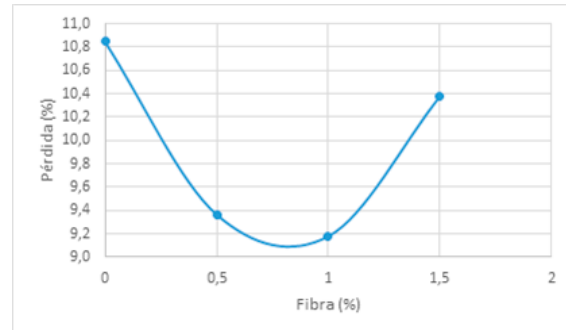


Figura 9. Variación de la pérdida del suelo con diferente cantidad de fibra, con 6.2% de contenido de cemento. Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

El CBR del suelo aumentó de 4.1% a 11.3% con la adición de 9% de cemento, posteriormente con la adición de fibras se observó que el valor de CBR aumenta hasta 27.3% con 1% de fibras que es el valor que mejor se comportó, esta mejora significa un aumento de relacione de soporte de 170% en comparación con el suelo cemento sin adición de fibra.

El comportamiento de la resistencia a la compresión simple del suelo cemento a medida que se adicionan las fibras de demin aumenta hasta el 1% de adición del textil y luego disminuye. Se evidencia la mejoría de resistencia ya que en el punto pico (1.0% de fibra) la resistencia fue de 26MPa, 10% mayor que el suelo cemento sin adición de fibra textil, mostrando una mejora considerable en esta propiedad.

La prueba de durabilidad mediante el ensayo de humedecimiento y secado mostró que con un valor de 1% de inclusión de fibra a una mezcla de suelo cemento (6.2% en peso), el valor de pérdida de material es de 9.2%, contra 10.9% del material si adición del textil, de esta forma se considera una disminución del 15% de desgaste del material

El aumento de porcentaje en peso de fibra, después del 1% de adición, genera efectos adversos, desmejorando las propiedades geomecánicas, una de las causas puede ser que después de este porcentaje hay acumulación de fibras y existe más

contacto entre fibras y menos contacto entre suelo y el cemento, hecho que reduce notoriamente las propiedades evaluadas anteriormente.

Se puede concluir que el porcentaje más óptimo de utilización de fibra es el 1% de adición en peso y el 6,1% de cemento; que arroja un valor de CBR 25,5%, resistencia a la compresión simple de 26MPa y un valor de pérdida de material por ciclos de humedecimiento y secado de 9,2%, mejorando considerablemente estas propiedades en comparación con el suelo cemento sin adición del textil.

[8] G Sivakumar and A Vasudevan. "Strength and Stiffness Response of Coir Fiber-Reinforced Tropical Soil", Journal of Materials in Civil Engineering, United States, 2008

[9] N. Consoli, P Prietto y L Ulbrich. R. Cruz. "influence of Fiber and Cement Addition on Behavior of Sandy Soil". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, United States, 1998.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Vías. "Especificaciones generales de construcción de carreteras", Artículo 341-13 Base estabilizada con cemento. 2013.
- [2] L Gomez. "La ropa también es un factor que contamina", El Tiempo, Bogotá, Colombia, 2012.
- [3] L Gomez. "¿A dónde va a parar la ropa que se bota a la basura?", El Tiempo, Bogotá, Colombia, 2015.
- [4] A Moretta. "los agentes químicos y su incidencia en la salud de los trabajadores del proceso de tinturado de jeans", Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2017.
- [5] M. Salazar. "Purificación del agua", Universidad Nacional, Bogotá, Colombia, 2015.
- [6] Instituto Nacional de Vías. "Especificaciones generales de construcción de carreteras", Artículo 350-13 Suelo cemento. 2013.
- [7] R. Cruz. "Estabilización de suelos con PET", Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia, 2016.