



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

*Mejoramiento de subrasante mediante la estabilización con cemento en obras
viales del cantón Portoviejo*

*Subgrade improvement through cement stabilization in road works in Portoviejo
canton*

*Melhoria do subleito através da estabilização do cimento em obras rodoviárias no
cantão de Portoviejo*

Andrés Arturo Celi Macías^I

aceli9324@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6606-8273>

Jean Pierre Mendoza Alcívar^{II}

jmendoza3158@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-4107-4749>

Eduardo Tejeda Piusseaut^{III}

eduardo.tejeda@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8659-3190>

Correspondencia: jmendoza3158@utm.edu.ec

***Recibido:** 29 de diciembre del 2022 ***Aceptado:** 12 de enero de 2023 * **Publicado:** 11 de febrero de 2023

- I. Investigador Independiente, Portoviejo, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Rocafuerte, Ecuador.
- III. PhD, Docente investigador de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El mejoramiento de la subrasante mediante la adición de cemento como agente estabilizante, produce el incremento de la resistencia. La investigación planteada es de tipo cuantitativo-experimental, concebida en dos fases, la primera, con la caracterización del suelo en su estado natural, clasificado como un suelo ML (Limo de Baja Plasticidad, mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y un suelo A-7-5 mediante el Sistema AASTHO.

La segunda fase la constituye la estabilización del suelo con cemento, que comprende la elaboración, preparación y curado de cilindros de suelo-cemento, utilizando dos porcentajes de cemento, y evaluado mediante el CBR tras inmersión como variable dependiente, y el análisis de las modificaciones en la plasticidad. El procedimiento fue aplicado al suelo extraído del sector La Piñonada, donde se comprobó la mejora en el comportamiento del suelo original, logrando la reducción de la plasticidad y el aumento en la resistencia. El porcentaje adecuado para la estabilización del suelo es de 3 %, respecto al peso seco, modificando la calidad de subrasante de muy pobre a regular.

Palabras Claves: cemento; subrasante; plasticidad; resistencia.

Abstract

The improvement of the subgrade through the addition of cement as a stabilizing agent, produces an increase in resistance. The research proposed is of a quantitative-experimental type, conceived in two phases, the first, with the characterization of the soil in its natural state, classified as a ML soil (Low Plasticity Silt, through the Unified Soil Classification System (SUCS). and an A-7-5 floor using the AASTHO System.

The second phase is constituted by the stabilization of the soil with cement, which includes the elaboration, preparation and curing of soil-cement cylinders, using two percentages of cement, and evaluated by means of the CBR after immersion as a dependent variable, and the analysis of the modifications. in plasticity. The procedure was applied to the soil extracted from the La Piñonada sector, where the improvement in the behavior of the original soil was verified, achieving a reduction in plasticity and an increase in resistance. The appropriate percentage for soil stabilization is 3%, with respect to the dry weight, changing the quality of the subgrade from very poor to regular.

Keywords: cement; subgrade; plasticity; endurance.

Resumo

A melhoria do subleito através da adição de cimento como agente estabilizador, produz um aumento da resistência. A pesquisa proposta é do tipo quantitativo-experimental, concebida em duas fases, a primeira, com a caracterização do solo em seu estado natural, classificado como solo ML (Low Plasticity Silt, através do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS). e um andar A-7-5 usando o Sistema AASTHO.

A segunda fase é constituída pela estabilização do solo com cimento, que inclui a elaboração, preparação e cura de cilindros de solo-cimento, utilizando duas porcentagens de cimento, e avaliada por meio do CBR após imersão como variável dependente, e o análise das modificações na plasticidade. O procedimento foi aplicado ao solo extraído do setor La Piñonada, onde se verificou a melhora no comportamento do solo original, conseguindo uma redução na plasticidade e um aumento na resistência. O percentual adequado para estabilização do solo é de 3%, em relação ao peso seco, alterando a qualidade do subleito de muito ruim para regular.

Palavras-chave: cimento; subleito; plasticidade; resistência.

Introducción

En el Ecuador la red vial se clasifica en vías primarias, secundarias y terciarias, y comunican gran parte del país. Desde hace algunos años el tema de estabilización suelo-cemento ha tomado gran interés en proyectos de mejoramiento de subrasantes y ampliación de vías muy transitadas. La estabilización de suelos persigue el aumento de su capacidad portante ante las cargas generadas por los vehículos, además, con estos procedimientos se reduce la explotación de nuevos materiales en canteras, factores que justifican la necesidad de divulgar e implementar estos métodos en el país.

En la ciudad de Portoviejo, en Ecuador, la mayoría de los suelos de subrasante están conformados por limos y arcillas, con un alto Índice de Plasticidad, además existen vías donde el tráfico es elevado y por ello las condiciones de estos suelos de subrasante no satisfacen las exigencias para estos niveles de cargas, por ello se recurre normalmente al uso de un material de mejoramiento para mejorar la capacidad del cimiento, sin embargo, la mejora mediante su estabilización puede resultar una mejor solución desde los puntos de vista económico y ambiental.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar el comportamiento de un suelo limo-arcilloso, de la ciudad de Portoviejo, cuando se le adiciona cemento, como aglutinante, determinando el

porcentaje de aditivo con el cual se logra una adecuada resistencia en la subrasante. Para ello se le añaden dos porcentajes de cemento diferentes, respecto al peso seco del suelo, para comprobar el efecto que se produce en la plasticidad y en la resistencia a CBR, buscando una mejora del material como subrasante, a pesar de que es un suelo de apreciable plasticidad y muy alto porcentaje de material pasando el tamiz 200.

1. La subrasante de carreteras

Un pavimento normalmente está constituido por la base, subbase y capa de rodadura, colocados sobre la subrasante. La subrasante es el suelo inmediatamente debajo del pavimento, que le sirve de cimiento y que influye en el comportamiento del pavimento. En la planificación de carreteras, la capacidad de carga de la subrasante influye significativamente en el espesor del pavimento. (Hasriana, Samang, Harianto, & Djide, 2018). Para la determinación de la CBR de la subrasante, serán estudiadas las capas superficiales de terreno natural o capa de la plataforma en relleno, constituida por los últimos 1,50 m; su capacidad de soporte en condiciones de servicio, constituye la variable que considera el aporte de la subrasante en el diseño del pavimento. La subrasante correspondiente al fondo de las excavaciones en terreno natural o de la última capa del terraplén, será clasificada en función al CBR representativo para diseño, en una de las cinco categorías mostradas en la tabla 1. (Ministerio de transportes y Comunicaciones, 2008)

Tabla 1. Categorías de subrasante, según el CBR. Manual de diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito

Clasificación	CBR _{diseño}
S ₀ : Subrasante muy pobre	< 3%
S ₁ : Subrasante pobre	3% - 5%
S ₂ : Subrasante regular	6 - 10%
S ₃ : Subrasante buena	11 - 19%
S ₄ : Subrasante muy buena	> 20%

La calidad de los materiales va en función de sus características y de la intensidad de tránsito especificada en términos del número de ejes equivalentes, acumulados durante la vida útil del

pavimento, en ningún caso se usarán materiales netamente orgánicos para la construcción de la subrasante. (Norma Ecuatoriana Vial, 2013)

2. Estabilización de suelos con cemento

La estabilización es un tratamiento que se aplica a los suelos, a los materiales granulares o capas de subrasante, adicionándoles un ligante que puede ser o no bituminoso (productos químicos, aceites, asfalto, emulsión asfáltica, cal, cemento) para mejorar sus características mecánicas, especialmente la capacidad portante, resistencia a los agentes atmosféricos, estabilidad volumétrica, etc. (Rojas, Barrera, & Piracon, 2007). Este proceso se realiza con el fin de generar capas que sean llevadas a condiciones óptimas de densidad y resistencia, de modo que proporcionen mejores propiedades en cuanto a economía, seguridad y durabilidad. (Parra, 2018)

En la actualidad, los costos de construcción vial son muy elevados, por lo que en la subrasante se recurre a procesos constructivos donde exista aprovechamiento de los suelos del lugar, como puede ser la estabilización química con cemento, según (Razali & Che Malek, 2019): “Este procedimiento evita la importación de materiales y el excesivo uso de maquinaria o equipos camineros, lo que ayuda a reducir costos”.

Los procesos de estabilización dependen de diferentes factores, como tipo de suelo, parámetros de resistencia, materiales disponibles en el entorno de la obra a realizarse y las condiciones climatológicas en la ciudad. Con el tratamiento o adición de cemento se busca secar zonas húmedas para facilitar su compactación y proporcionar una plataforma estable de trabajo (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2012)

Según el (Instituto español del cemento y sus aplicaciones, 2012) para estabilizar un suelo, el conglomerante empleado debe ser cemento cuando el suelo es poco plástico, mientras que si es fino y cohesivo debe utilizarse cal aérea; en ocasiones conviene emplear un tratamiento mixto, con la cal se busca disminuir su contenido de humedad y su plasticidad, y con el cemento se busca aumentar la capacidad de soporte. Para la implementación de la estabilización del suelo con cemento es preciso revisar algunas condiciones en el material a estabilizar, ya que este no debe poseer un contenido de materia orgánica superior al 2%, porque esto provocaría una interrupción en el proceso aglutinante del cemento, retrasando el fraguado. (INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO, 2015)

Andrés Arturo Celi Macías, Jean Pierre Mendoza Alcívar, Eduardo Tejeda Piusseaut

En general, los criterios para decidir sobre un tipo o no de estabilización química se basan generalmente en los límites de Atterberg, los cuales permiten caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Algunas normas consideran que el LL no puede superar valores entre 30-40 % y el IP entre el 10-12 %, respectivamente para materiales de subbase y base, y alrededor de 40 y 20 % para materiales subrasantes. La Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto, ha establecido los criterios para la selección del tipo de estabilización en función del porcentaje pasado por el tamiz 200 y de la plasticidad. En la guía (figura 1) se establece que el cemento como agente estabilizador se recomienda en los suelos con menos del 50% de material pasado el tamiz 200. Si el material pasado el tamiz 200 es inferior al 20%, debe tener un IP inferior al 10%; si la cantidad de pasado el tamiz 200 se encuentra entre 20 y 50%, debe menos de 12% de IP, y con una mayor plasticidad se recomienda una estabilización combinada de cal-cemento.

El proceso suelo-cemento es considerado una estabilización química, usada particularmente en caminos no pavimentados, Según (Bonifacio & Sanchez, 2015): “La estabilización química hace referencia principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas, cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso”. La norma (ASTM D4609, 2017), la cual evalúa el potencial de los productos utilizados para mejorar las propiedades ingenieriles de los suelos, indica que: “cualquier producto que consiga un incremento de 345 kPa de la resistencia a compresión del suelo y, además que garantice que, al sumergir las probetas en agua éstas no pierdan significativamente su resistencia, puede considerarse apto para la estabilización”. No obstante, es común que, una vez realizada la estabilización química se apliquen métodos mecánicos para compactar el suelo.

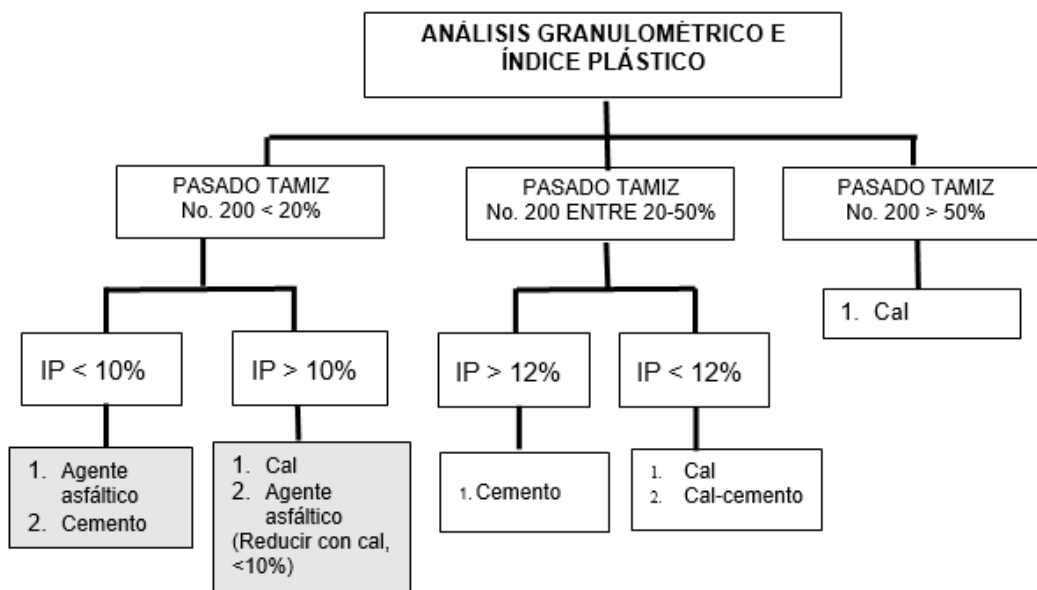


Figura 1. Selección del tipo de estabilización según informe (Ávila & Ulloa, 2017). Tomado de la Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto (Ulloa-Calderón & Múnera-Miranda, 2020)

Dependiendo de la proporción de los componentes en la mezcla entre el suelo y el cemento, se generan varias clases de suelo-cemento: suelo-cemento compactado, suelo-cemento plástico y suelo modificado con cemento. El tipo de mezcla más utilizada es el suelo-cemento compactado llamado comúnmente como suelo-cemento, este contiene una proporción de cemento entre 4-25 % en peso de suelo seco y se compacta para lograr mayor resistencia. (Carpenter, Crovetti, Smith, Rmeili, & Wilson , 1992)

3. Ventajas de estabilización química (suelo – cemento)

La principal ventaja de la **estabilización con cemento** es que se pueden utilizar prácticamente en casi todas las clases de suelos. Como ventajas técnicas se señala la ganancia de resistencia a edades tempranas y el incremento de la durabilidad de los suelos tratados. En aplicaciones viales se pueden reducir los espesores de las capas de las estructuras de los pavimentos, disminuyendo los costos de la obra. En general, son productos ampliamente difundidos y disponibles comercialmente, y su composición química tiene una variabilidad relativamente aceptable ya que sus procesos de producción están ampliamente desarrollados y controlados.

4. Diseño experimental

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo-experimental, ya que su principal objetivo es verificar cuanto se incrementa la resistencia del suelo de subrasante cuando se estabiliza con cemento. La variable independiente es el agente estabilizante, dosificado en diferentes porcentajes.

El suelo de subrasante fue extraído en el Sector la Piñonada, mediante una calicata y sometido para su caracterización a diferentes ensayos de laboratorio: granulometría, humedad natural, límites de Atterberg (Límite Líquido y Límite Plástico), ensayo de Proctor y ensayo de C.B.R.

Luego se realizó un experimento para determinar la variación de la capacidad portante del suelo (CBR) con el incremento del contenido de cemento, considerando tres niveles para la variable independiente, con tres muestras para cada contenido de cemento. Se preparó una muestra patrón, con el suelo natural, sin el aditivo y dos niveles más de la variable, con el 3% y el 6% de cemento, sobre el peso seco del agregado.

Como variables dependientes se emplearon la resistencia a CBR, en condiciones de inmersión y el Índice de Plasticidad en el suelo estabilizado. Las briquetas se compactaron con la humedad óptima del suelo natural, con tres energías diferentes, y teniendo en cuenta un curado previo por 7 días, para obtener el índice CBR tras inmersión por 4 días.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en los ensayos realizados, primero para el suelo natural y después con la incorporación del aditivo en las dos proporciones (3 y 6%).

5.1. Caracterización del suelo natural

En el ensayo de Análisis Granulométrico se utilizaron los tamices #10, #40, #60, #100 y #200. El porcentaje de material pasado el tamiz 200 es de 91,2%, el Límite Líquido es de 48,8% y el Índice Plástico de 17%, por lo que es un suelo limo-arcilloso. En el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), el suelo clasifica como ML (Limo de Baja Plasticidad), mientras que con el Método de la AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) el suelo se clasifica como un A-7-6.

De acuerdo a su clasificación este suelo presenta grandes cambios de volumen y pueden ser perjudicial en época de lluvia o de sequía; cuando se humedece o seca, sufre hinchamientos y contracciones perjudiciales, por lo que es de regular a pésimo como coronación o subrasante de terraplenes, además con elasticidad perjudicial, que impide una buena compactación. Se recomienda

Andrés Arturo Celi Macías, Jean Pierre Mendoza Alcívar, Eduardo Tejeda Piusseaut

añadir material granular y con un buen sistema de drenaje, colocar capas anticontaminantes o geotextiles, o estabilizar con cemento o cal.

El ensayo de CBR se realizó, como establece en el procedimiento de diseño de subrasante, compactando las briquetas con la humedad correspondiente a la óptima del Proctor Modificado, y aplicando diferentes golpes por capa, 11 para la energía Estándar, 27 para Intermedio y 61 para lograr la del Modificado, obteniéndose valores de CBR de 1,4%; 1,9% y de 2,3% respectivamente, después de cuatro días de inmersión.

El valor de CBR para el suelo compactado con el 95% de la máxima del modificado es de 1,89%, indicando que este suelo forma una subrasante muy pobre, ya que su valor es inferior al 3% y es recomendable su mejora mediante la estabilización. En la tabla 2 se muestran los resultados de las pruebas al suelo natural.

Tabla 2. Resultados de la caracterización del suelo natural

Suelo natural	Normas	Resultados
Color		Gris Oscuro claro
Humedad natural (%)	(AASHTO T265, 2022)	25,8
Límite Líquido (LL%)	(AASHTO T89, 2022)	48,8
Límite Plástico (LP%)	(AASHTO T90, 2022)	31,8
Índice de Plasticidad %	(AASHTO T90, 2022)	17,0
Pasado Tamiz No. 200	(ASTM C117, 2020)	91,2
Densidad máxima (kg/m ³)	(ASTM D1557, 2021)	1628

Humedad óptima	(ASTM D1557, 2021)	17,6
Clasificación	SUCS	ML (Limo de Baja Plasticidad)
Clasificación	AASTHO	Suelo A-7-6
Ensayo de CBR (%) Tras inmersión	(ASTM D1883, 2021)	1,89

5.2. Resultados de la estabilización del suelo con cemento

En la figura 2 se representan las relaciones entre la densidad seca y la humedad de compactación, ensayos realizados para las mezclas del suelo con 3% y 6% de cemento, aplicando la energía del Proctor Modificado. No se han obtenido diferencias significativas en las densidades máximas, así como tampoco en las humedades óptimas correspondientes.

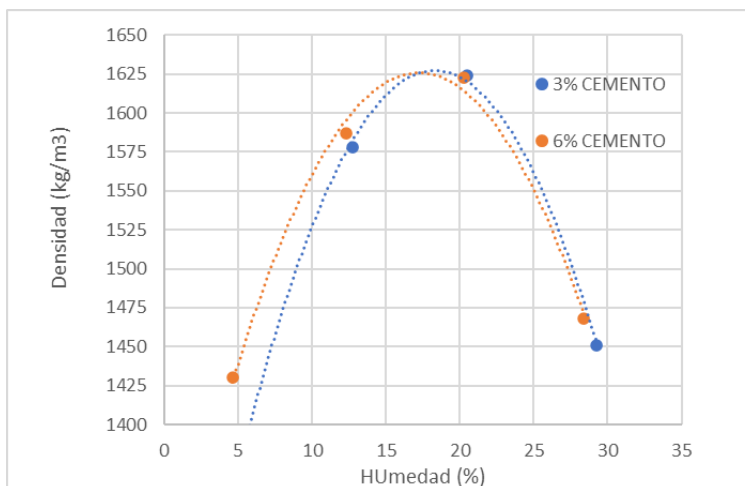


Figura 2. Gráficos de densidad y humedad para las mezclas de suelo cemento con los contenidos de cemento de 3% y 6%, para la energía del Proctor Modificado.

En la figura 3 se han representado los Límites de Consistencia de las mezclas del suelo con el cemento. Se comprobó que el cemento añadido reduce significativamente el Límite Líquido, respecto al suelo sin tratar. El suelo natural tiene un LL promedio de 48,8% y con el 3% de aditivo ha disminuido hasta 43,6% mientras que con el 6% se redujo hasta 37,6%.

Andrés Arturo Celi Macías, Jean Pierre Mendoza Alcívar, Eduardo Tejeda Piusseaut

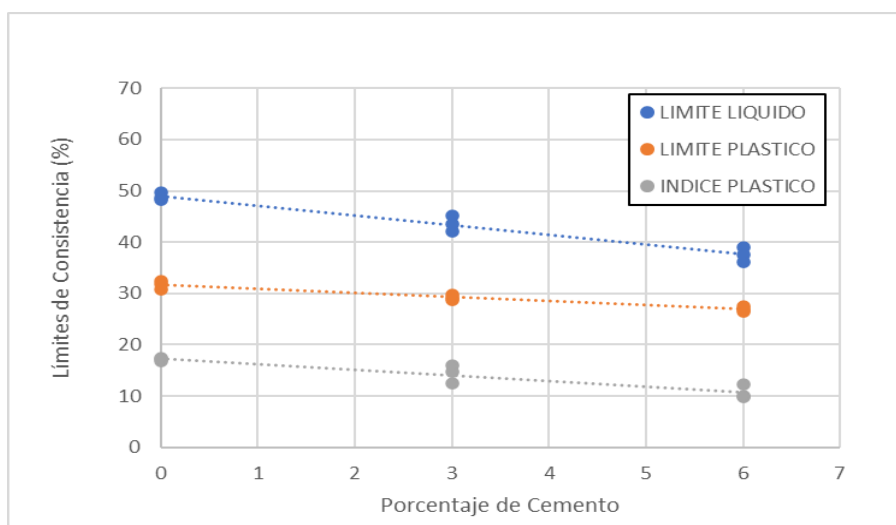


Figura 3. Gráfico de Límites de Consistencia (Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico) para las mezclas de suelo cemento con los contenidos de cemento de 3% y 6%.

El Límite Plástico, sin embargo, presentó muy poca reducción respecto al suelo natural, incluso con el 6% de cemento, por lo cual en el Índice de Plasticidad se aprecia una disminución significativa, lo que demuestra la influencia del aditivo en la disminución de la plasticidad del suelo.

La figura 4 contiene los gráficos que relacionan el CBR con la densidad seca del suelo, obtenida para las tres energías de compactación, tanto para el suelo natural, como el suelo estabilizado con el 3% de cemento. El CBR del suelo estabilizado ha aumentado de forma significativa con la adición del 3% de cemento, incrementando más de 5 veces la resistencia, para los diferentes valores de energía aplicada.

Andrés Arturo Celi Macías, Jean Pierre Mendoza Alcívar, Eduardo Tejeda Piusseaut

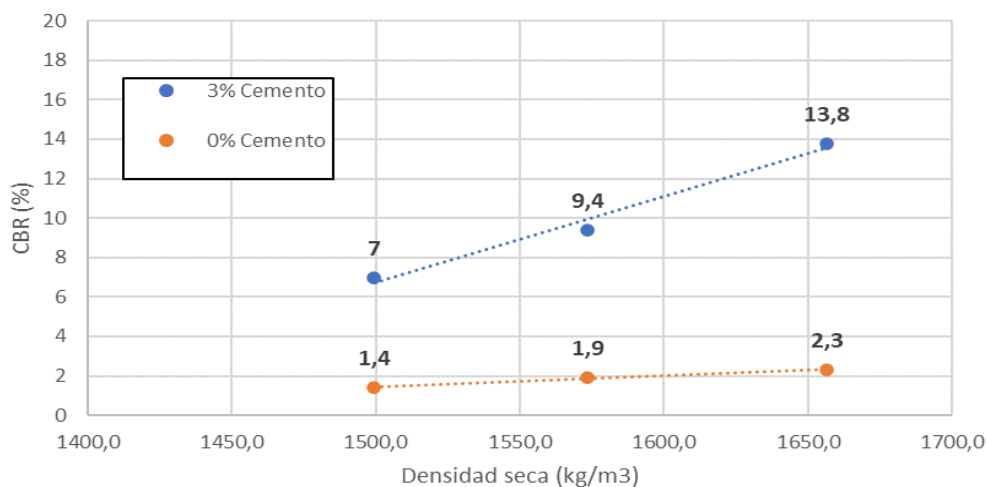


Figura 4. Gráfico comparativo de Densidad del suelo vs CBR, para el suelo natural y el suelo estabilizado con el 3% de cemento.

En la figura 5 se ha representado la relación entre la densidad del suelo, alcanzada con diferentes niveles de energía aplicada y el CBR, aplicando 3% y 6% de cemento. Se observa como la estabilización con el 6% de cemento ha elevado la resistencia de la mezcla hasta valores muy elevados.

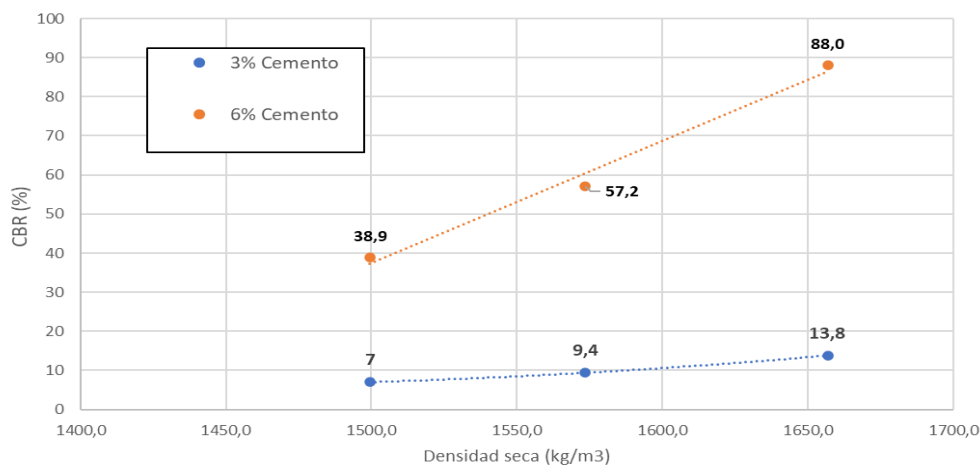


Figura 5. Gráfico comparativo de la Densidad del suelo vs CBR, para el suelo estabilizado con los porcentajes de 3% y 6% de cemento.

6. Conclusiones

Al finalizar la investigación se concluye que:

- Los ensayos de caracterización del suelo natural, lo clasifican como una subrasante muy pobre, ya que el CBR es inferior al 3%, por lo que se recomienda su estabilización química para alcanzar la mínima resistencia como cimientado de un pavimento.
- El suelo presenta un elevado porcentaje de material pasado el tamiz 200 (91,2%), además de un Índice Plástico de 17%, por lo cual el cemento no resulta el aditivo químico más adecuado para su estabilización, según la Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto, sin embargo, se demostró que el cemento puede reducir la plasticidad e incrementar la resistencia en cualquier tipo de suelo.
- Se demuestra en la investigación que el cemento añadido reduce significativamente el Límite Líquido, respecto al suelo sin tratar, mientras que el Límite Plástico tiene menor variación, lo que comprueba que el Índice Plástico disminuye con el aumento de cemento.

El aumento del porcentaje de cemento hasta 6% incrementó el CBR hasta el 62.9%, sin embargo, no es factible utilizar este material como parte del pavimento, a pesar del alto valor alcanzado, porque es un material con excesiva rigidez, por lo cual requiere un espesor de capa que no resulta factible económicamente

Referencias

1. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO. (2015). Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento. ICPA.
2. Instituto español del cemento y sus aplicaciones. (2012). Manual de estabilización de suelos con cemento o cal. Madrid: ANCADE, ANTER, IECA.
3. AASTHO T180. (2022). Standard Method of Test for Moisture-Density Relations of Soils Using a 4.54-kg (10-lb) Rammer and a 457-mm (18-in.) .
4. AASTHO T265. (2022). Standard Method of Test for Laboratory Determination of Moisture Content of Soils.
5. AASTHO T89. (2022). Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.
6. AASTHO T90. (2022). Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.

7. ASTM C117. (2020). Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing. West Conshohocken, PA.: ASTM International: doi: 10.1520/C0117-17.
8. ASTM D1557. (2021). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft (2,700 kN-m/m³)). West Conshohocken, PA.: ASTM International:: doi: 10.1520/D1557-12R21.
9. ASTM D1883. (2021). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. West Conshohocken, PA.: ASTM International: doi: 10.1520/D1883-21.
10. ASTM D4609. (2017). Standard Guide for Evaluating Effectiveness of Admixtures for Soil Stabilization. West Conshohocken, PA.: ASTM International.
11. Bonifacio, W. M., & Sanchez, J. A. (2015). Estabilización química en carreteras no pavimentadas usando cloruro de magnesio, cloruro de calcio y cemento de la región Lambayeque. Pimetel, Peru: Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/3947>.
12. Carpenter, S. H., Crovetti, M. R., Smith, K. L., Rmeili, E., & Wilson, T. (1992). Soil and Base Stabilization and Associated Drainage Considerations, Volume I, Pavement Design and Construction Considerations. United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications: FHWA-SA-93-004.
13. Hasriana, Samang, L., Harianto, T., & Djide, M. (2018). Mejora de la capacidad portante de la capa de subrasante de suelo blando con Bacillus Subtilis Bioestabilizado. MATEC.
14. Ministerio de transportes y Comunicaciones. (2008). MANUAL DE DISEÑO DE CARRETERAS PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles . Lima, Perú.
15. Norma Ecuatoriana Vial. (2013). Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos y Puentes, . Quito: Nevi-12-MTOP.
16. Parra, M. G. (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Bogota, Colombia: Universidad Católica de Colombia. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22856/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20MANUEL%20GERARDO%20PARRA%20GOMEZ%20505587.pdf>.

Andrés Arturo Celi Macías, Jean Pierre Mendoza Alcívar, Eduardo Tejeda Piusseaut

17. Razali, R., & Che Malek, M. S. (2019). The usage of cement for soil stabilisation in construction of low volume roads in Malaysia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/512/1/012006>.
18. Rojas, H., Barrera, J., & Piracon, C. (2007). Análisis comparativo de la estabilización de una base granular, a través de dos elementos químicos como el multienzimático perma Zyme 11X. y cemento en un suelo de Bogotá D.C., Trabajo de grado. Bogota, Colombia: Universidad de la Salle. Obtenido de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15087/40021132.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
19. Ulloa-Calderón, A., & Múnera-Miranda, J. (2020). Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales: LanammeUCR. Universidad de Costa Rica.

©2023 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).