

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL INCREMENTO DE LA RESISTENCIA ENTRE
MEZCLAS DE SUELO ESTABILIZADO CON CAL Y CEMENTO PARA UNA
SUBRASANTE.**

(Resumen Analítico)

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INCREASE IN RESISTANCE BETWEEN
MIXTURES OF SOIL STABILIZED WITH LIME AND CEMENT FOR A
SUBGRADE.**

(Analytical Summary)

Autores (Authors): BURITICA ERAZO Walter Yesid, DE LA CRUZ TATICUAN Cristian Danilo, VILLARREAL ADRADA Angela Sofia, , ZAMUDIO POSSO Mariem Julieth.

Facultad (Faculty): de INGENIERIA

Programa (Program): INGENIERIA CIVIL

Asesor (Support): PHD. GERARDO ANDRÉS DORADO JURADO

Fecha de terminación del estudio (End of the research): MAYO 2024

Modalidad de Investigación (Kind of research): Trabajo de Grado

PALABRAS CLAVE

ESTABILIZACIÓN DEL SUELO, CAL, CEMENTO, RESISTENCIA, SUBRASANTE.

KEY WORDS

SOIL STABILIZATION, LIME, CEMENT, RESISTANCE, SUBGRADE.

RESUMEN: El presente trabajo de grado se realiza con el propósito de evaluar la influencia de aditivos químicos como la cal y el cemento para lograr estabilizar un suelo granular para una subrasante mediante el análisis y comparación del incremento de la resistencia entre mezclas de suelo estabilizado con cal y suelo estabilizado con cemento, centrándose en la evolución de la resistencia del suelo con el mejoramiento de la cal en comparación con el cemento a lo largo del tiempo de curado. Durante la investigación se realizan ensayos de laboratorio que permiten conocer la clasificación del suelo, humedad, propiedades mecánicas de suelo, resistencia a la compresión y resistencia CBR, los resultados permiten concluir que la mezcla de suelo para una subrasante estabilizado con cemento obtiene mayor

resistencia a la compresión y mayor resistencia CBR en comparación a la mezcla suelo estabilizado con cal independientemente del tiempo de curado.

ABSTRACT: *This degree work is carried out with the purpose of evaluating the influence of chemical additives such as lime and cement to stabilize a granular soil for a subgrade through the analysis and comparison of the increase in resistance between mixtures of soil stabilized with lime and stabilized with cement, focusing on the evolution of soil resistance with the improvement of lime compared to cement over the curing time. During the research, laboratory tests are carried out that allow us to know the classification of the soil, moisture, mechanical properties of the soil, compression strength and CBR strength. The results allow us to conclude that the soil mixture for a subgrade stabilized with cement obtains greater compression strength and greater CBR strength compared to the lime-stabilized soil mixture regardless of the curing time.*

CONCLUSIONES: Según el progreso del primer objetivo, durante las pruebas de caracterización, se determinó que el suelo en su estado natural se clasifica según la norma AASHTO como A-2-7: Arena limosa. Asimismo, conforme a la clasificación unificada de suelos (SUCS), se identifica que corresponde a la categoría SP-SM: Arena mal graduada con limo.

Se determinó que el diseño de mezcla óptimo para suelo estabilizado con cal es del 4%, con una humedad óptima de 38.2%, mientras que para suelo estabilizado con cemento es del 5%, con una humedad óptima de 36.5%. Es interesante notar que estas humedades óptimas son muy cercanas a la humedad natural del suelo. Sin embargo, al analizar la densidad seca máxima en la gráfica 5, se observa que la mezcla óptima de suelo-cal permite una mayor densidad seca máxima que la mezcla de suelo-cemento. Esto sugiere que la mezcla suelo-cal logra una mayor compactación, lo que a su vez reduce la permeabilidad al agua.

Esta conexión entre la densidad y la permeabilidad se puede explicar mediante la ley de Darcy, que establece que el flujo de agua a través de un medio poroso es proporcional al gradiente hidráulico y a la conductividad hidráulica, pero inversamente proporcional al área de la sección transversal y a la longitud del flujo. La conductividad hidráulica, a su vez, se ve influenciada por propiedades como la porosidad y la densidad del suelo. En este contexto, una mayor densidad seca máxima en la mezcla suelo-cal indica una menor permeabilidad, lo que sugiere que esta mezcla podría ser más efectiva en la reducción de la infiltración de agua en comparación con la mezcla suelo-cemento.

En función a la gráfica 8 la resistencia a la compresión en un tiempo de curado de 21 días de acuerdo a la tendencia la tasa de aumento es similar para los tres casos, a partir de los 21 días de curado el cemento alcanza una resistencia mayor y de

forma rápida debido a que los compuestos del cemento han tenido el tiempo suficiente para hidratarse, formarse y desarrollar su resistencia.

En un tiempo de curado de 28 días el suelo de estudio estabilizado con cemento mejora su resistencia a la compresión en un 69% respecto al suelo estabilizado con cal y una resistencia CBR de 39%.

La mezcla de suelo estabilizado con cemento independientemente del tiempo de curado siempre obtiene mayor resistencia a la compresión y resistencia CBR, debido a que este aditivo se hidrata de forma rápida, alcanza una mayor capacidad de carga, es resistente a esfuerzos cíclicos y en comparación con la cal contiene una mayor proporción de componentes activos.

Los valores de CBR obtenidos al final del tiempo de curado clasifican de acuerdo a la "tabla 2-13: Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia del manual de diseño de pavimentos de concreto. (Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC)" a la mezcla suelo-cal como tipo S4 una subrasante media o buena, mientras que la mezcla suelo-cemento se clasifica como tipo S5 una subrasante muy buena, condición que es de vital importancia al momento de diseñar un pavimento rígido.

Se registraron unas resistencias máximas en un tiempo de curado de 28 días, en comparación en suelo natural con suelo cal hay un incremento de 44.1% a la resistencia de CBR, en comparación en suelo natural con suelo-cemento hay un incremento de 100.8% a la resistencia a CBR y en comparación en suelo-cal con suelo-cemento hay un incremento de 39.3%, creando un notorio incremento y demostrando que el cemento genera una mayor resistencia independiente al tiempo de curado.

CONCLUSIONS: *According to the progress of the first objective, during the characterization tests, it was determined that the soil in its natural state is classified according to the AASHTO standard as A-2-7: Silty Sand. Likewise, according to the Unified Soil Classification System (USCS), it is identified as belonging to the SP-SM category: Poorly Graded Sand with Silt.*

It was determined that the optimal mix design for lime-stabilized soil is 4%, with an optimal moisture content of 38.2%, while for cement-stabilized soil it is 5%, with an optimal moisture content of 36.5%. It is interesting to note that these optimal moisture contents are very close to the natural moisture content of the soil. However, when analyzing the maximum dry density in Figure 5, it is observed that the optimal soil-lime mix allows for a higher maximum dry density than the soil-cement mix. This suggests that the soil-lime mix achieves greater compaction, which in turn reduces water permeability.

This connection between density and permeability can be explained by Darcy's law, which states that the flow of water through a porous medium is proportional to the hydraulic gradient and hydraulic conductivity, but inversely proportional to the cross-sectional area and flow length. Hydraulic conductivity, in turn, is influenced by properties such as soil porosity and density. In this context, a higher maximum dry density in the soil-lime mix indicates lower permeability, suggesting that this mix could be more effective in reducing water infiltration compared to the soil-cement mix.

Based on Figure 8, the compression strength at a curing time of 21 days shows a similar rate of increase for the three cases. After 21 days of curing, cement achieves higher strength quickly because the cement compounds have had sufficient time to hydrate, form, and develop their strength.

At a curing time of 28 days, the study soil stabilized with cement improves its compression strength by 69% compared to the lime-stabilized soil and achieves a CBR strength of 39%.

The cement-stabilized soil mix, regardless of curing time, always obtains higher compression strength and CBR strength because this additive hydrates quickly, achieves higher load-bearing capacity, is resistant to cyclic stresses, and compared to lime, contains a higher proportion of active components.

The CBR values obtained at the end of the curing time classify the mix according to "Table 2-13: Subgrade Classification according to Strength from the Concrete Pavement Design Manual (Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC)" as follows: the soil-lime mix as type S4, a medium or good subgrade, while the soil-cement mix is classified as type S5, a very good subgrade, a condition that is crucial when designing a rigid pavement.

Maximum strengths were recorded at a curing time of 28 days. Compared to natural soil, the lime-stabilized soil shows a 44.1% increase in CBR strength, the cement-stabilized soil shows a 100.8% increase in CBR strength, and compared to the soil-lime mix, the soil-cement mix shows a 39.3% increase, demonstrating a notable increase and showing that cement provides greater strength regardless of curing time.

RECOMENDACIONES: Se pueden realizar estos tipos de estudios con otros aditivos no tan convencionales como la cal y el cemento como, por ejemplo: residuos industriales (cenizas volantes, escorias, lodos, etc.), aditivos químicos específicos para estabilización del suelo, biopolímeros y materiales biodegradables, materiales fibrosos como paja, cáñamo, o geotextiles, geo polímeros y materiales geo poliméricos, polímeros sintéticos, considerando también otros tipos de suelos como: arcilla, arena, limos, grava, suelos orgánicos, suelos expansivos, suelos colapsables, suelos residuales (por ejemplo, residuos de minería), suelos

contaminados.

Se pueden identificar varios factores variables en este tipo de investigación, entre ellos la temperatura de curado, la cual está vinculada tanto a la temperatura ambiente como a la del suelo. Se sugiere llevar a cabo estos ensayos a diversas temperaturas estándar para comprender mejor cómo la temperatura puede incidir en el proceso de curado.

Sería beneficioso profundizar en el entendimiento de lo que sucede después del tiempo de curado contemplado en este estudio. Además, sería útil explorar otros ensayos de laboratorio y diferentes métodos de curado para obtener una visión más completa del proceso.

En futuras investigaciones donde se requiera llevar a cabo ensayos de laboratorio mencionados en este trabajo de grado, especialmente aquellos que dependan de tiempos de curado establecidos por la norma, es fundamental elaborar un cronograma adecuado que contemple posibles retrasos o imprevistos. Se debe identificar y priorizar los ensayos que se consideren críticos en cuanto al tiempo necesario para obtener resultados dentro del cronograma establecido.

RECOMMENDATIONS: *These types of studies can be conducted with other unconventional additives besides lime and cement, such as industrial residues (fly ash, slags, sludges, etc.), specific chemical additives for soil stabilization, biopolymers and biodegradable materials, fibrous materials like straw, hemp, or geotextiles, geopolymers and geopolymer materials, synthetic polymers, also considering other types of soils such as: clay, sand, silt, gravel, organic soils, expansive soils, collapsible soils, residual soils (e.g., mining residues), contaminated soils.*

Several variable factors can be identified in this type of research, including the curing temperature, which is linked to both the ambient temperature and the soil temperature. It is suggested to conduct these tests at various standard temperatures to better understand how temperature can affect the curing process.

It would be beneficial to deepen the understanding of what happens after the curing time considered in this study. Additionally, it would be useful to explore other laboratory tests and different curing methods to obtain a more comprehensive view of the process.

In future research where it is necessary to carry out laboratory tests mentioned in this thesis, especially those that depend on curing times established by the standards, it is essential to develop an appropriate schedule that considers possible delays or unforeseen events. It is necessary to identify and prioritize the tests that are considered critical in terms of the time required to obtain results within the

established schedule.