

**DOI:** <https://doi.org/10.46296/ig.v5i10edespag.0061>

## **ESTABILIZACIÓN DE UN SUELO DE SUBRASANTE DE CARRETERA CON EL SISTEMA CONSOLID**

### **STABILIZATION OF A ROAD SUBGRADE SOIL WITH THE CONSOLID SYSTEM**

Jácome-Macías Gema Alexandra <sup>1</sup>; Ortiz-Hernández Eduardo Humberto <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniera Civil, Maestrante del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: alexandrajama91@gmail.com.

<sup>2</sup> Departamento de Construcciones Civiles, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador. Correo: eduardo.ortiz@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1885-6005>.

#### **Resumen**

Se efectuó una estabilización de suelo para una subrasante con el sistema Consolid, procediendo a realizar una calicata en el sector de la parroquia Colón, provincia de Manabí, en donde se extrajo muestras inalteradas para desarrollar los ensayos pertinentes basándose en las normativas de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos como son la AASHTO -T.88\_ ASTM D 422, AASHTO-T.89\_ ASTM D4318, AASHTO T-180 \_ ASTM D-1557, AASHTO T-193\_ ASTM D-1883. Estos datos obtenidos establecieron un valor de CBR para el suelo natural de 2.12% y con un esponjamiento de 8.36%. Para posteriormente elaborar 9 cilindros de los cuales se les añadió aditivos en sus diferentes porcentajes, el aditivo Consolid 444 (CD444) con un porcentaje de 0.032% del peso del suelo y el aditivo Solidry con un porcentaje del 1.5% del peso del suelo, estos valores fueron establecidos por el Manual de especificaciones técnicas del aditivo. Los primeros cilindros se les añadió los porcentajes y se lo sumergió de manera directa como lo indica la norma AASHTO T-193\_ ASTM D-1883, una vez realizada la compactación deberá ser sumergido por 72 horas y luego sometido al ensayo de capacidad portante (CBR) dándonos un valor aproximado de 8.3% y un esponjamiento de 2.08%. Los moldes de CBR tuvieron un tiempo de curado en seco de 72 horas, obteniendo un 20% de CBR, los últimos cilindros fueron sometidos a las peores condiciones, se sometió a tiempo de curado en seco por 72 horas y se procedió a colocarlo en inmersión por 72 horas, posteriormente se ensayaron los cilindros dándonos un 12.4% de CBR con un esponjamiento de 1.15%.

**Palabras clave:** Estabilización de suelo, Subrasante, Sistema Consolid, Capacidad de resistente, Esponjamiento.

#### **Abstract**

A soil stabilization was carried out for a subgrade with the Consolid system, proceeding to carry out a pit in the sector of the Colón parish, province of Manabí, where unaltered samples were extracted to develop the pertinent tests based on the regulations of the tests of soil mechanics laboratory such as AASHTO -T.88\_ ASTM D 422, AASHTO-T.89\_ ASTM D4318, AASHTO T-180 \_ ASTM D-1557, AASHTO T-193\_ ASTM D-1883. These data obtained established a CBR value for the natural soil of 2.12% and with a swelling of 8.36%. To later elaborate 9 cylinders of which additives were added in their different percentages, the additive Consolid 444 (CD444) with a percentage of 0.032% of the weight of the soil and the additive Solidry with a percentage of 1.5% of the weight of the soil, these Values were established by the Additive Technical Specifications Manual. The first cylinders were added the percentages and submerged directly as indicated by the AASHTO T-193\_ ASTM D-1883 standard, once the compaction is done, it must be submerged for 72 hours and then subjected to the bearing capacity test (CBR ) giving us an approximate

#### **Información del manuscrito:**

**Fecha de recepción:** 06 de junio de 2022.

**Fecha de aceptación:** 10 de agosto de 2022.

**Fecha de publicación:** 11 de agosto de 2022.



value of 8.3% and an overrun of 2.08%. The CBR molds had a dry curing time of 72 hours, obtaining 20% CBR, the last cylinders were subjected to the worst conditions, they were subjected to dry curing time for 72 hours and proceeded to be placed in immersion. for 72 hours, later the cylinders were tested giving us a 12.4% CBR with a swelling of 1.15%.

**Keywords:** Soil stabilization, Subgrade, Consolid System, Resistant capacity, Swelling.

## 1. Introducción

En Ecuador, ha habido daños continuos en la infraestructura vial debido a riesgo de efectos cosísmico como además los factores climáticos que son causas de colapso de puentes y suspensiones de carreteras. los gobiernos tuvieron que recurrir a soluciones inmediatas, lo que tuvo un alto costo para el país. Esto imposibilita brindar apoyo técnico para garantizar el pleno desarrollo y seguridad de las vías. (NEVI-MTOP., 2013)

Las vías terrestres son factores importantes en la infraestructura física de toda ciudad, porque inciden específicamente en el desarrollo económico, en permitir el acceso a otras ciudades, mejoran la calidad de los servicios públicos y por ende la calidad de vida de la ciudadanía.

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años

atrás ya el suelo se estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad. (Solminihac, 2012)

La estabilización de suelos es el mejoramiento de las propiedades de un suelo que, a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos, se ha mejorado los suelos de subrasante inadecuado o pobre a tener una subrasante con mejores características, en estos casos se ha procedido a estabilizar los suelo con cemento, cal, asfalto y otros productos diversos. (S., 2015).

La estabilización química se puede manejar en todos los tipos de suelos

para el mejoramiento de sus propiedades geotécnicas, cambiando las propiedades físico - químicas del suelo con el objetivo de mitigar los problemas tales como la inestabilidad volumétrica o incrementar algunas de sus propiedades como la resistencia y durabilidad de los suelos tratados. (Rivera, 2020)

La adición de productos químicos al suelo de subrasante se perfila como una solución interesante para estudiar, pues con esta metodología se aprovechan las condiciones iniciales de los terrenos procurando aumentar la capacidad portante del suelo, la densificación de la estructura y las implicaciones que esto llevaría en el ingreso de agua al suelo como él (retardo en la absorción de agua por el conjunto de capas del pavimento). (Diez, 2015)

Los procedimientos de estabilización química de suelos más conocidos y empleados son: suelo- cemento; suelo-cal; suelo-asfalto; estabilización con sales; estabilización con polímeros, enzimas, compuestos resinosos y otros. Cada uno de estos proporcionan modificaciones

mineralógicas en la estructura del suelo. Actualmente, la ingeniería de materiales viales está desarrollando nuevas tecnologías que pueden demostrar cambios en las propiedades del suelo y de los materiales, por lo que la estabilización química del suelo tiene como objetivo agregar una gama de elementos químicos que, sin duda, pueden actuar como modificadores del suelo y por ende de los materiales. (Del Pino, 2011).

En la provincia de Manabí y en especial la ciudad de Portoviejo, se observa un deterioro progresivo en algunas vías, esto se debe en muchas ocasiones por el material de la subrasante, ya que gran parte de nuestro territorio poseen material o suelo arcilloso muy comprensibles y expansivos, lo que causa problemas en cualquiera obra civil presentado fisuras, grietas, deformaciones y socavaciones dando así a la pérdida de resistencia del suelo. Estos acontecimientos han existido toda la vida, se han dado soluciones eventuales de manera momentánea, pero no han podido dar una solución permanente para evitar estos problemas, sobre todo en suelos

altamente plásticos u arcillosos de subrasante de carreteras.

El sistema Consolid, es un sistema de estabilización e impermeabilización de suelos de alta tecnología que se diferencia de los métodos tradicionales porque mantiene la compactación del suelo en un estado absolutamente irreversible, sirve para estabilizar química/físicamente las bases de las carreteras al aumentar la resistencia y reducir tanto la capilaridad como la permeabilidad, esto ayuda a reducir en gran medida los costos de mantenimiento de las carreteras y aumenta el valor del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura. Se compone de dos aditivos: El primero Consolid 444 (CD444) este componente líquido induce la aglomeración irreversible de las partículas finas del suelo y de este modo una reducción de la superficie activa del mismo. Actúa sobre el agua absorbida insertándose entre las partículas del suelo formando complejas estructuras moleculares que actúan mediante procesos catalíticos que reduciendo la tensión superficial de agua que circunda dichas partículas. De tal manera, la película de agua que las cubre se

dispersa permitiendo así su evaporación. Quedando la cantidad suficiente para la lubricación entre las partículas de suelo, promoviendo una mayor capacidad de compactación y la atracción electromagnética entre ellas proveyendo al suelo una mayor resistencia a la deformación. Los contenidos de agua del suelo, especialmente su saturación capilar, son altamente disminuidos logrando así inhibir prácticamente por completo el ascenso capilar. El otro es el Solidry, es un producto complementario al CD444 y refuerza la protección de agua, bloqueando los capilares y permitiendo, además, que el agua de la superficie no penetre en la capa tratada. (D., 2016).

Además se podría evaluar los suelos una vez estabilizado con el empleo de estos aditivos con ensayos de campo entre estos el uso del cono Dinámico de Penetración DCP. (Demera, M. L. A., Romero, C. M. D., Hernández, E. H. O., & Gutiérrez, D. A. D., 2019)

El objetivo al que se quiere llegar con esta investigación, es establecer una nueva técnica de estabilización en suelos de subrasante, que mejore

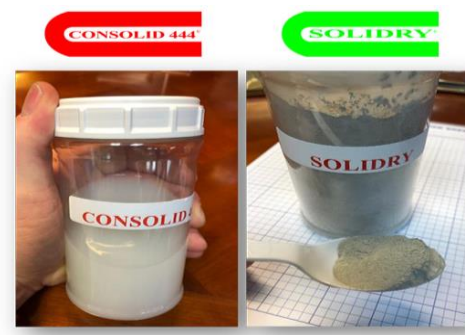
tanto las características del suelo como el aumento significativo de la capacidad resistente y este a su vez conlleva a tener vías con mejor trabajabilidad estructural que garantice mayor tiempo de vida útil y mejore la conexión de una ciudad a otra impulsando el crecimiento económico de los pueblos y ciudades.

## 2. Materiales y métodos

En la presente investigación cuantitativa se empleó el aditivo Consolid 444 (CD444) y el aditivo Solidry, además se utilizó una subrasante del sector Colón parroquia del cantón Portoviejo, provincia de Manabí, el método empleado, conllevó a la realización de la extracción del suelo a cielo abierto de una calicata de un metro de profundidad, la cual posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos de granulometría por lavado, considerando las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN 697, 2010) y (AASHTO-T.88. 2021). También los ensayos de Límites de Atterberg (AASHTO-T.89. 2021), Proctor Modificado (AASHTO T-180.

2021) y California Bearing Ratio (CBR), (AASHTO T-193. 2021). Los resultados de los datos procesados ayudaron a establecer un análisis del tipo de suelo explorativo. Una vez obtenido estos resultados se procede a realizar el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), pero con los porcentajes de cada aditivo, cabe recalcar que la dosificación que se utilizó para el aditivo CD444 es de 0.032% con respecto al peso del suelo, este porcentaje es estandarizado y para el aditivo Solidry indica usar entre el 1% al 2% del peso del suelo, en el que se usó una media entre ellos es decir de 1.5% del peso del suelo.

**Figura 1.** Aditivos Sistema Consolid



**Fuente:** Larry D. (2016).

Esta investigación se basa en el enfoque mixto es decir cualitativo y cuantitativo, su diseño es experimental. Una vez realizada la calicata y ensayadas las muestras e identificado el tipo de suelo mediante



las normas SUCS categorizándolo como un suelo MH (Limo de alta plasticidad y según las normas AASTHO lo categorizó como un suelo A-7-5, es decir un suelo arcilloso de calidad pobre. Como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación del suelo

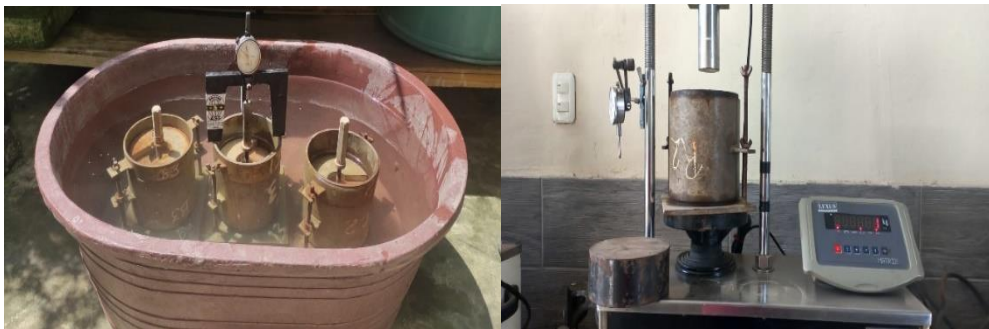
CLASIFICACION DEL SUELO	
SUCS AASTHO	MH A-7-5

Se procedió a pesar el suelo añadiéndole 1440ml de agua, luego se calculó la dosificación de los aditivos en donde el 0.032 % del peso del suelo representa 448 ml para el aditivo de Consolid 444 (CD444) y para el Solidry se utilizó el 1.5% del peso del suelo para obtener una media de 210gr para el aditivo Solidry.

Posteriormente se empezó a combinar los 1440 ml de agua con

los 448 ml de Consolid 444, luego se adhirió los 210 gr de Solidry a los 14000 gr del suelo, una vez todo mezclado se esparció el agua más el porcentaje del Consolid 444 al suelo hasta obtener la humedad óptima del suelo. Subsiguientemente se empezó a realizar el ensayo de (CBR), en donde se confeccionaron doce cilindros, los primeros tres cilindros fueron para establecer la muestra patrón, con los siguientes tres se sumergió de inmediato para poder ver el comportamiento del suelo (esponjamiento), los siguientes tres cilindros no fueron sumergidos ya que se dejó un tiempo de curado de 72 horas, además las tres muestras restantes se les dio el tiempo de curado de 72 horas y posteriormente se las sumergió 72 horas más para luego realizarse el ensayo de compresión como se ilustra en la figura 2.

**Figura 2.** Muestra sumergidas y sometidas a la compresión ensayo CBR



### 3. Resultados y discusión

A continuación, se muestra en la tabla 2 los resultados de los ensayos de laboratorio de suelos de una muestra en estado natural como son

el porcentaje de particular (TN<sup>200</sup>), límites líquido (LL), límite de Plasticidad (LP), ensayo de Proctor y ensayo de capacidad portante (CBR).

**Tabla 2.** Resultados de los ensayos obtenidos en base a las normativas

Calicata suelo natural							
TN200%	LL %	LP %	IP %	Proctor Kg/m3	Humedad Optima %	CBR%	Esponjamiento %
75	53.88	33.59	20.29	1514	24	2.12	8.36

A continuación, se ilustra en la tabla 3 los resultados que se obtuvieron del (CBR) de la muestra de suelo en estado natural con la combinación de los aditivos, alcanzado una mejoría

en la capacidad portante de la subrasante mejorándola considerablemente en la muestra de suelo.

**Tabla 3.** California Bearing Ratio (CBR)

Porcentajes de California Bearing Ratio (CBR)			
Estado natural del suelo	Estado natural del suelo con aditivo en inmersión	Estado natural del suelo con aditivo y tiempo de curado sin inmersión	Estado natural del suelo con aditivo más tiempo de curado en inmersión
2.12%	8.30%	20%	12.40%

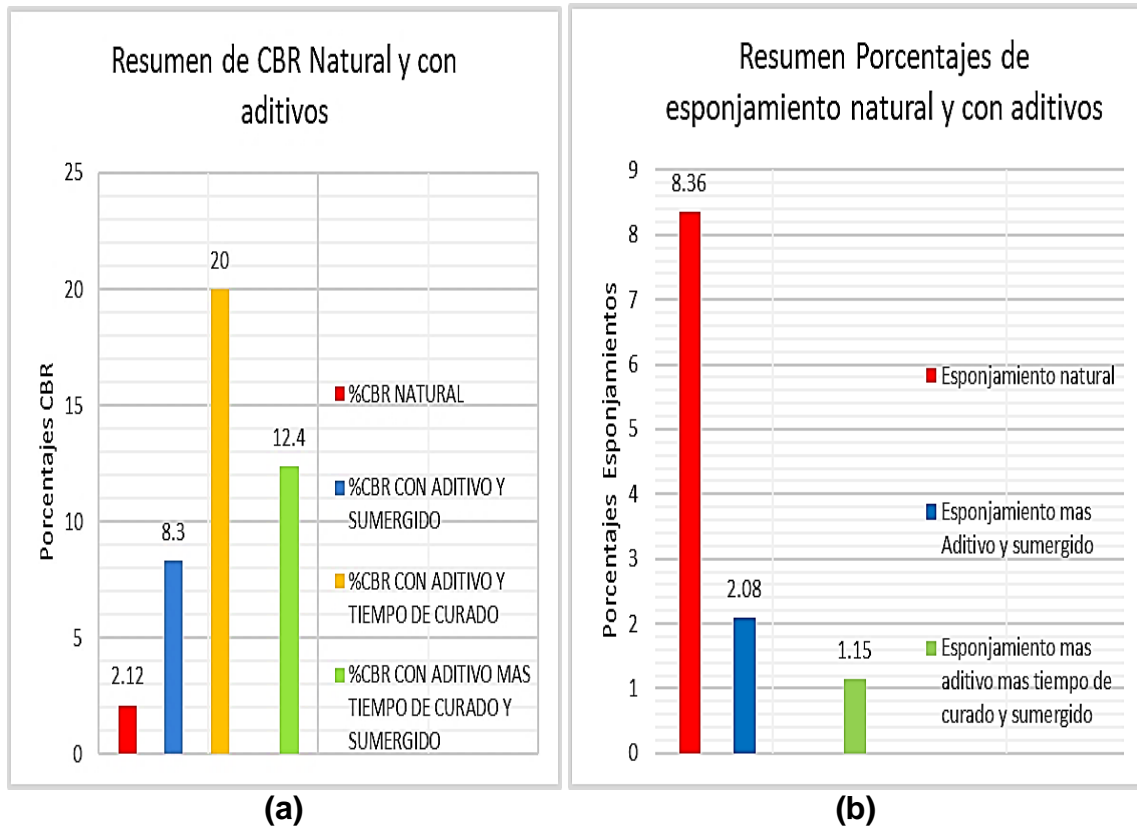
**Tabla 4.** Porcentajes de esponjamiento de cada California Bearing ratio (CBR)

Porcentajes de esponjamiento de cada California Bearing Ratio (CBR)			
Estado natural del suelo	Estado natural del suelo con aditivo en inmersión	Estado natural del suelo con aditivo y tiempo de curado	Estado del suelo con aditivo más tiempo de curado en inmersión
8.36%	2.08%	-	1.15%

En la figura 3 se muestran los resultados de laboratorio de suelos correspondiente a cada muestra analizada, donde se evidencia los

valores de CBR para la figura (a) y de esponjamientos para la figura (b).

**Figura 3.** Resumen de cada muestra, ilustrada en la figura correspondiente a CBR (a) y de esponjamiento (b) de cada muestra



En base a los resultados obtenidos, se aplicará a los proyectos viales de nueva construcción, de rehabilitación, o de reconstrucción total de la estructura de firmes

existentes en carreteras, las especificaciones técnicas para poder calificar una subrasante según la (Norma 6.1 Ic. 2003).

**Tabla 5.** Especificaciones de subrasante según la Norma 6.1 IC. Secciones de firme. España.

CARACTERÍSTICAS	CORONACIÓN (SUBRASANTE)	NÚCLEO	CIMIENTO
Tamaño máximo	Partículas de diámetro menor de 10cm.	< del 25% de piedras de diámetro superior a 15cm	Partículas de diámetro menor de 10cm.
porcentaje pasado por el tamiz 200	inferior al 35%	No está limitado	inferior al 35%
Resistencia CBR	mayor de 5%	mayor de 3%	mayor de 5%
Cambio de volumen por inmersión	menor del 2%		menor del 2%
Límite líquido	LL < 34% o LL < 40% e IP < 0,6(LL)-9	LL < 35% o LL < 65% e IP < 0,6(LL)-9	< 34% o LL < 40% e IP < 0,6(LL)-9
Peso específico	$\gamma_s > 1,75\text{g/cm}^3$	$\gamma_s > 1,45\text{g/cm}^3$	$\gamma_s > 1,75\text{g/cm}^3$



La muestra patrón es decir el suelo natural según los resultados de laboratorio nos muestra un suelo en condiciones muy desfavorables, donde según la norma SUSC lo categoriza como limo de alta plasticidad MH, y según las normas AASTHO en un suelo A-7-5, es decir suelo arcilloso. En el ensayo de (CBR), cada muestra se le estableció

un tiempo de curado y tiempo de inmersión, analizándola con el 90% de su densidad máxima seca, para este caso el porcentaje según lo indicado de las normas (MOP., 2002), menciona para un terreno natural en zonas de relleno. Como se muestra en la siguiente tabla, según la norma antes citada.

**Tabla 6.** Grado de compactación según las superficies o capas (MOP., 2002)

Compactación Relativa (Porcentaje)	Superficies o capas
90%	Terreno natural en zonas de relleno
95%	Terreno natural en zonas de corte
95%	Terraplenes o rellenos
95%	Subrasantes formadas por suelo seleccionado

El valor obtenido de (CBR) en estado natural de la subrasante es del 2.12%, a las cuales se les procedió añadir los aditivos obteniendo para el espécimen en estado de inmersión con un tiempo de curado de 72 horas, dio un valor de 8.30%, después al siguiente testigo con aditivo se prolongó su tiempo de curado de 72 horas en seco obteniendo un valor del 20% y por último para el testigo con aditivo con más tiempo de curado de 72 horas y 72 horas de sumergido, se obtuvo un valor de 12.40%.

En la figura 3(a) se puede observar los resultados de la última muestra que a pesar de encontrarse en condiciones desfavorables se pudo obtener un aumento significativo en la capacidad de resistencia o capacidad portante del suelo con el empleo del aditivo, y este a su vez hubo un decrecimiento notable en el porcentaje de esponjamiento de la muestra como se lo muestra la figura 3(b). También es necesario establecer que la resistencia conservada según la norma (INVIAS, 2012), la cual indica que se calcula como el porcentaje de la resistencia

original que se retiene luego de la inmersión, como se muestra en la siguiente ecuación.

Resistencia conservada ( $R_c$ )  $\geq$  50%,

$$R_c = R_2/R_1 \times 100$$

Donde: R1: Resistencia a compresión de los especímenes secos;

R2: Resistencia a compresión de las probetas sometidas a inmersión en agua.

Se hace una comparación de CBR estabilizado con el aditivo, la primera en estado natural del suelo con aditivo en inmersión directa por 72 horas dándonos un CBR del 8.3% y para la segunda muestra ensayada en estado natural del suelo con aditivo más tiempo de curado de 72 horas y 72 horas en inmersión un CBR del 12.4%, lo que nos da un porcentaje de 66% de resistencia conservada, lo que nos indica que si cumple satisfactoriamente con la normativa. (INVIAS, 2012)

#### 4. Conclusiones

El porcentaje óptimo de Consolid 444 (CD444) recomendado para estabilizar suelo MH (limo de alta

plasticidad) y A-7-5 (suelo arcilloso), es de 0.032% del peso del suelo y el porcentaje óptimo del Solidry para el tipo de suelo antes mencionado es de 1.5% del peso del suelo, el cual aumenta su capacidad resistente de manera significativa de 12.40% con relación a la del suelo natural sin tratar que es de 2.12%, con un tiempo de curado de 72 horas, más el tiempo de inmersión de 72 horas.

Dados los resultados de las pruebas de CBR y teniendo en cuenta las condiciones de las muestras ensayadas, se destaca la importancia de curar la mezcla para que aumente su resistencia.

El sistema Consolid da una respuesta satisfactoria en el suelo de subrasante de carretera, ya que la hace menos susceptible e impermeable a la acción que genera el agua, dando en si una seguridad, que aun estando el suelo en condiciones críticas puede mejorar tanto las propiedades como la resistencia de este suelo.

Los costos de mantenimiento generalmente no están incluidos en el costo inicial de la carretera, sin embargo, pueden ser tan costosos como los originales. Con la estabilización del sistema Consolid

el trabajo de mantenimiento se reduce significativamente, por lo que el costo total de construcción suele ser el costo inicial. Las mejoras en las propiedades del suelo y los valores de resistencia son permanentes, esto se puede observar durante un corto período de tiempo con la influencia del tráfico. Ya que tanto la firmeza y estabilidad añadidas a los suelos tratados dará como resultado una mayor durabilidad y por tanto un mayor ahorro debido a un menor mantenimiento.

Es necesario tomar en consideración aplicar este método en ciertos tramos de subrasante de carreteras, para poder garantizar que esta tecnología de estabilización es satisfactoria. Cabe recalcar que una vez hecha la estabilización in situ se podrá abrir al tráfico luego de 2 horas después de haber terminado la compactación óptima.

## Bibliografía

- AASHTO, T. (2021). Standard method of test for moisture-density relations of soils using a 4.54-kg (10-lb) rammer and a 457-mm (18-in.) Drop. .
- AASHTO, T. (2021). Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.
- AASHTO, T. (2021). Standard Method of Test for The California Bearing Ratio.
- AASHTO, T. 8. (2021). Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.
- D., L. (2016). Engineering Group, Inc.
- Del Pino, J. M. (2011). Aditivo químico obtenido de sales cuaternarias empleado para la estabilización de suelos arcillosos de subrasantes de carreteras. Arquitectura e Ingeniería.
- Demera, M. L. A., Romero, C. M. D., Hernández, E. H. O., & Gutiérrez, D. A. D. (2019). Estudio para determinar la capacidad portante del suelo como parámetro geotécnico, aplicando el ensayo de cono dinámico de penetración (DCP), en los terrenos aledaños a la Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas. (Vol. 4). Portoviejo, Manabi , Ecuador: Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721.
- Diez, L. (2015). Estabilización de subrasantes con productos químicos. Universidad de los Andes. Researchgate.

- Finanzas, M. d. (2015). Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública en Carreteras. Perú.
- Ic, N. 6. (2003). Secciones De Firme, De La Instrucción De Carreteras. Retrieved from [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/1010100.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/1010100.pdf).
- INEN 697, N. (2010). Áridos. determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75mm (No. 200), mediante lavado. ECUADOR.
- INVIAS, I. N. (2012). Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras. Colombia.
- MOP., M. d. (2002). Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes. Sección de movimientos de tierra, capítulo 305-Grado de compactación. Quito.
- NEVI-MTOP., N. E. (2013). Obras Públicas. Retrieved from <https://www.obraspublicas.gob.ec>
- P. Kotler, M. K. (2016). Marketing de ciudades. Chicago. Retrieved from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dFT9DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=Las+v%C3%ADas+terrestres++dentro+de+la+infraestructura+f%C3%ADasica+de+una+ciudad,+estas+influyen+directamente+en+el+crecimiento+de+l+producto+interno+bruto,+agilizan+el+mercado,+comun>
- Rivera, J. F. (2020). Estabilización química de suelos-Materiales convencionales y activados alcalinamente(revisión). 84(2), 202-226.
- S., M. (2015). Pautas Metodológicas para el Desarrollo de Alternativas de Pavimentos en la Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Inversión Pública en Carreteras. Perú.
- Solminihac, H. E. (2012). Estabilización química de suelos:: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos.