



Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas

Chemical stabilization of granular layers with calcium chloride for unpaved roads

Estabilização química de camadas granulares com cloreto de cálcio para estradas não pavimentadas

Carlos Magno Chavarry-Vallejos ^I
cchavarryvallejos@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0512-8954>

Rosario Almendra Figueroa-Merino ^{II}
rosario.almendra.26@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6328-7684>

Rossy Esthefany Reynaga-Tejada ^{III}
esthefany.rt96@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7486-9022>

Correspondencia: cchavarryvallejos@hotmail.com

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

***Recibido:** 14 de mayo de 2020 ***Aceptado:** 8 de junio de 2020 * **Publicado:** 30 de junio de 2020

- I. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- II. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- III. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

Resumen

El artículo tiene como objetivo determinar las mejoras de las propiedades mecánicas del suelo y la empleabilidad del cloruro de calcio (NaCl_2) como mitigador de emisión de polvo en el Malecón Huaycoloro, ubicado en la quebrada Huaycoloro, provincia de Lima. La investigación es de tipo descriptivo, correlacional y explicativo, con diseño experimental, longitudinal, prospectivo y estudio de cohorte (causa-efecto). Se realizó en tres etapas; la primera a través de visitas in-situ a fin de identificar los problemas que existen en la vía, como el desprendimiento de base en la vía, el levamiento de polvo por el tránsito vehicular, encalaminados o serie de huellas espaciadas en intervalos y la desintegración por peladuras. En la segunda etapa, consistió en el desarrollo de ensayos estándares y especiales tales como Relación Soporte de California (CBR), Limite Atterberg, Análisis Granulométrico, entre otros, realizados en el muestreo de cuatro calicatas a lo largo de la vía de 5Km para determinar las propiedades mecánicas de la sub rasante, y ensayos de Equivalente de Arena, Contenido de Sales Solubles, Próctor Modificado, Límite de Consistencia, Material que pasa la malla N° 200, Soporte de California (CBR), Abrasión de Los Ángeles y Análisis Granulométrico para la base inicial. La tercera etapa consistió en la aplicación del estabilizante químico cloruro de calcio (NaCl_2) en 2,5Km de la vía; posteriormente, se realizaron los ensayos especiales para la base estabilizada tales como Densidad y Próctor Modificado.

Con los resultados de los ensayos se empleó la metodología AASHTO 93, a fin de comparar la estructura del pavimento en condiciones iniciales con la estructura ya estabilizada, dando un mejor desempeño en la estructural y una diferencia entre los espesores de la base estabilizada (15cm) y base sin estabilizar (20cm). La incorporación del 40% en volumen por metro cúbico de cloruro de calcio (NaCl_2) aumentó el CBR en 64,52% siendo un incremento considerable de la capacidad de soporte en suelos arenosos y gravosos, comprobándose su efectividad como agente estabilizador de afirmados en carreteras. Asimismo, se verificó visualmente que el cloruro de calcio absorbe su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz como mitigador de la emisión de polvo.

Palabras claves: Estabilización de capas granulares; estabilizante químico cloruro de calcio; vías no pavimentadas; propiedades mecánicas y físicas; mitigador de polvo de emisión.

Abstract

The article aims to determine the improvements in the mechanical properties of the soil and the employability of calcium chloride (NaCl_2) as a dust emission mitigator on the Malecon Huaycoloro, located in the Quebrada Huaycoloro, province of Lima. The research is descriptive, correlational and explanatory, with an experimental, longitudinal, prospective design and a cohort study (cause-effect). It was carried out in three stages; the first through on-site visits in order to identify the problems that exist on the road, such as the detachment of the base on the road, the raising of dust by vehicular traffic, roadbeds or a series of tracks spaced at intervals and the disintegration for peeling. In the second stage, it consisted of developing standard and special tests such as the California Support Ratio (CBR), Limit Atterberg, Granulometric Analysis, among others, carried out in the sampling of four test pits along the 5Km track to determine the mechanical properties of the subgrade, and tests of Sand Equivalent, Soluble Salts Content, Modified Proctor, Limit of Consistency, Material that passes the mesh No. 200, California Support (CBR), Los Angeles Abrasion and Granulometric Analysis for the initial base. The third stage consisted in the application of the chemical stabilizer calcium chloride (NaCl_2) in 2,5Km of the road; Subsequently, special tests were carried out for the stabilized base such as Density and Modified Proctor.

With the results of the tests, the AASHTO 93 methodology was used, in order to compare the pavement structure in initial conditions with the already stabilized structure, giving a better performance in the structural one and a difference between the thicknesses of the stabilized base (15cm) and unstabilized base (20cm). The incorporation of 40% by volume per cubic meter of calcium chloride (NaCl_2) increased the CBR by 64.52%, being a considerable increase in the bearing capacity in sandy and burdensome soils, proving its effectiveness as a stabilizing agent for road surfaces. . Also, it was visually verified that calcium chloride absorbs its own weight when humidity conditions are high in the environment, which makes this salt a very effective product as a mitigator of dust emission.

Keywords: Stabilization of granular layers; chemical stabilizer calcium chloride; unpaved roads; mechanical and physical properties; emission dust mitigator.

Resumo

O artigo tem como objetivo determinar as melhorias nas propriedades mecânicas do solo e a empregabilidade do cloreto de cálcio (NaCl_2) como mitigador de emissão de poeira no Malecon Huaycoloro, localizado na Quebrada Huaycoloro, província de Lima. A pesquisa é descritiva, correlacional e explicativa, com delineamento experimental, longitudinal, prospectivo e estudo de coorte (causa-efeito). Foi realizado em três etapas; a primeira através de visitas no local, a fim de identificar os problemas existentes na estrada, como o destacamento da base na estrada, o levantamento de poeira pelo tráfego de veículos, os leitos de estrada ou uma série de faixas espaçadas em intervalos e a desintegração para descascar. Na segunda etapa, consistiu no desenvolvimento de testes padrão e especiais, como o California Support Ratio (CBR), Limit Atterberg, Granulometric Analysis, entre outros, realizados na amostragem de quatro poços de teste ao longo da trilha de 5km para determinar as propriedades mecânicas do subleito e testes de areia equivalente, teor de sais solúveis, proctor modificado, limite de consistência, material que passa na malha nº 200, suporte da Califórnia (CBR), abrasão de Los Angeles e análise granulométrica para a base inicial. A terceira etapa consistiu na aplicação do estabilizador químico cloreto de cálcio (NaCl_2) em 2,5 km da estrada; Posteriormente, foram realizados testes especiais para a base estabilizada, como Densidade e Proctor Modificado.

Com os resultados dos testes, foi utilizada a metodologia AASHTO 93, para comparar a estrutura do pavimento em condições iniciais com a estrutura já estabilizada, proporcionando melhor desempenho na estrutura e diferença entre as espessuras da base estabilizada (15cm) e base não estabilizada (20cm). A incorporação de 40% em volume por metro cúbico de cloreto de cálcio (NaCl_2) aumentou a RBC em 64,52%, sendo um aumento considerável na capacidade de suporte em solos arenosos e onerosos, comprovando sua eficácia como agente estabilizante para superfícies de estradas. Da mesma forma, foi verificado visualmente que o cloreto de cálcio absorve seu próprio peso quando as condições de umidade são altas no ambiente, o que torna esse sal um produto muito eficaz como mitigador da emissão de poeira.

Palavras-Chave: Estabilização de camadas granulares; estabilizador químico cloreto de cálcio; ruas não pavimentadas; propriedades mecânicas e físicas; mitigador de poeira de emissão.

Introducción

La zona de estudio está ubicada en el Malecón Huaycoloro en las vías de acceso a Bryson Hills S.A.C., en la quebrada Huaycoloro, ubicado en la franja marginal del río Huaycoloro. Durante los meses de enero a marzo se incrementa el caudal del río Huaycoloro, generando desbordes que afectan su composición estratigráfica. El desprendimiento masivo de polvo como consecuencia del tránsito de vehículos pesados, se convierte en la causa de enfermedades respiratorias, gastrointestinales, entre otras, que afectan directamente a las poblaciones aledañas. Según el estudio realizado por Chiroque, C., y Lavado, H. (2016), mencionan que existen factores que puedan afectar la seguridad física de los centros poblados ubicados en los márgenes del Río Seco, Huaycoloro y Jicamarca; por ello, se realizaron estudios de vulnerabilidad social, económica y ambiental de la zona determinando que es media, alta y muy alta respectivamente. Del estudio de la fenomenología de los flujos, se caracterizó los sedimentos encontrados en las geoformas modeladas por antiguos aluviones, el espesor de los depósitos (3 a 8 m de alto) y tamaño de la fracción granular (0.15 a 3 m de diámetro), y la matriz conformada por limos y arcillas (según el Manual para la Evaluación de Riesgos de CENEPRED, 2014), los cuales son considerado suelos finos, que pueden ser reducidos con facilidad por la acción de cargas externas a polvo.

Naeimi, M., y Chu, J. (2017), menciona que el polvo es un peligro ambiental, geotécnico, sanitario y económico. El polvo fugitivo que emana a lo largo de los sistemas de transporte, como carreteras, ferrocarriles y aeropuertos, puede tener impactos significativos en la salud, la seguridad, la pérdida de materiales, el costo de mantenimiento e interferir con las instalaciones. El estudio realizado por Gavilanes, E. (2015), afirmó que la estabilización de suelos ha experimentado un gran desarrollo en el mundo, siendo la más empleada para el mejoramiento de suelos debido a varios factores tales como la necesidad de la elevación de la capacidad de resistencia ante los tráficos que cada vez son mayores y al desarrollo del equipo y maquinaria disponibles para la ejecución de obras civiles, lo que implicaba que la utilización de técnicas de estabilización y mejoramiento de suelos en obras civiles como pavimentos sean apropiadas para el tratamiento de suelo de sub-rasante mediante el uso de algún estabilizante que pueda transformar químicamente el material inestable en utilizable; por ello, era importante realizar los estudios necesarios que permitan la correcta elección del estabilizante adecuado, pues de ello dependerá la obtención de los resultados esperados. Para los investigadores Sonapo, P. y Medaly,

Y. (2019), la problemática de hoy día en los suelos (carreteras) a nivel nacional es la inestabilidad y poca durabilidad, por ello la incorporación de un aditivo para la estabilización de carreteras no pavimentadas con el producto químico cloruro de calcio, brinda al suelo un mejor comportamiento en servicio, soporte y reduce el impacto ambiental.

El IMT (2015), demostró que con la adición de cloruro de calcio disminuyen las fuerzas de repulsión entre las arcillas, pero hay autores que inclusive aseguran que la película de agua que rodea a las partículas se veía eléctricamente reforzada con la adición del cloruro de calcio, a tal grado que se incrementa notablemente la cohesión aparente. Encontró un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5 a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo; sin embargo, existen datos que reportan disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga el cloruro de calcio, así también se tuvo que el cloruro de calcio ayuda a mantener constante la humedad en un suelo, pero esta sal es muy fácilmente lavable. Además, precisó que se reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta diez (10) veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, pudiéndose mantener dicha humedad en sus dos terceras partes durante un día de calor seco, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz cuando se trata de evitar la formación de polvo.

Ponce, D. (2018), planteó que el empleo del cloruro de calcio no influye en la estabilización de suelos arcillosos por el bajo nivel de incremento de CBR obtenido en los ensayos de laboratorio; sin embargo, en suelos granulares se observó que el uso del cloruro de calcio influyó en la estabilización de suelos, incrementado el CBR de 22.89% a 43.01%; es decir, visualizó un mejor comportamiento en suelos granulares; en suelos orgánicos, verificando que el uso del cloruro de calcio no influía en la variación del CBR, pasando de 6.12% a 6.11%. Además, el estabilizante químico posee una presión de vapor más baja que el agua pura, por lo que sus moléculas, en la solución se evaporaban más lentamente, esto debido a que estas propiedades usaron el cloruro como paliativo del polvo. La humedad que impartía la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar, generado al perderse menos áridos. Según Seyed, A. y Khabir, M. (2019), la mayoría de las carreteras asfaltadas tienen arcén de grava y parte de esa arena es tierra de grano fino. El polvo de las carreteras aumenta en el tráfico pesado y afecta a la seguridad, la economía, la calidad y el medio ambiente. Diferentes estabilizadores se utilizan para controlar el polvo en carreteras de grava, uno de ellos es cloruro de calcio que influye sobre las propiedades físicas de la parte de grano fino en diferentes

porcentajes de muestras de cloruro de calcio y en diferentes porcentajes de humedad en dos casos secos.

Morales, E. y Pailacura, C. (2019), indican que los caminos no pavimentados experimentan un deterioro más acelerado que un camino pavimentado, esto se debe a que las partículas finas al juntarse con los agregados gruesos, expuestos al medio ambiente pierden humedad, sumado a la acción abrasiva del tránsito vehicular, generan un disgregamiento superficial del material convirtiéndose en polvo y originando fallas tales como baches, ondulaciones y calaminas, lo cual trae como consecuencia pérdida de confort, seguridad y durabilidad. El cloruro de calcio CaCl_2 se usa como estabilizador de carpetas de rodados en caminos sin pavimentar, porque influye su incorporación en las propiedades mecánicas del suelo. En el estudio que realizaron Rivera, C. y Medina, M. (2017), determinan la influencia de la incorporación de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado. El mal estado de conservación de la red vial vecinal se ve acabada por la incidencia de la topografía accidentada y los factores climáticos; por ello, mejorar las características del material de afirmado sería una gran solución para tener en mejor estado las vías no pavimentadas. Larrea, B. y Rivas, J. (2019), indican que el uso del Cloruro de Calcio y Cloruro de Sodio proporcionarán un mejor desempeño al reducir la plasticidad de un suelo arcilloso destinado a usarse como un material de mejoramiento, por su incidencia en la capacidad de soporte del suelo.

Por los estudios realizados por Ponce, D. (2018), se conoce que el empleo de cloruro de calcio en suelos granulares influye en la estabilización de suelos, pues el CBR se incrementó de 22,89% a 43,01%; además, que la adición de cloruro a la superficie de un camino de tierra mantiene los áridos más estables que en uno sin tratar. La propiedad del cloruro calcio de retener el agua de la solución es beneficiosa durante el proceso de compactación, al evaporarse el agua con más dificultad. Requiere menos pasadas con el tanque regador para mantener la humedad cercana a la óptima para el esfuerzo de compactación usado.

El empleo del estabilizante químico “cloruro de calcio”, mejorará requerimientos que posee el suelo tales como la deformabilidad, entre otros que posee a consecuencia de sus características y la proporción de vehículos de distintos tamaños que circulan en él; asimismo, se conoce que es supresor de polvo.

Variables

Variable independiente: Características del suelo

- Relación de soporte california- CBR: Comparación entre los porcentajes de CBR de la base inicial y la base estabilizada.
- Evidenciar los cambios que se aprecian en las características del suelo con la base estabilizada.

Variable dependiente: Desempeño del pavimento

- Porcentaje de cloruro de calcio: Porcentaje de uso.
- Método AASHTO 93: Evaluar la optimización en el diseño de la estructura del pavimento con el cloruro de calcio como estabilizante.

Metodología

Según la tipología empleada en su estudio de reforzamiento de un hormigón por Chavarry et al, (2020), el método empleado fue el deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño experimental, longitudinal, prospectivo y el estudio de cohorte (causa-efecto). El presente estudio acoge la tipología empleada por Chavarry et. al, dado que el método es el deductivo, dado que reconoce e identifica las variables de estudio, plantea la hipótesis correspondiente para cada uno de sus objetivos, operacionaliza las variables y propone un diseño del pavimento mediante el empleo del estabilizante químico cloruro de calcio, es aplicada porque busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y la empleabilidad del cloruro de calcio (NaCl_2) como mitigador de emisión de polvo, tiene un enfoque cuantitativo, toda vez que los resultados del estudio presenta porcentajes de incorporación del cloruro de calcio (CaCl_2) y la capacidad de soporte del suelo en relación con su capacidad de resiliencia, el instrumento de recolección de datos es retrolectivo, porque la investigación utilizó formatos y/o fichas del laboratorio de materiales de la Universidad Ricardo Palma y/u otras instituciones para organizar, recopilar, resumir, observar y reconocer in-situ el comportamiento del “Cloruro de calcio”, en las propiedades físicas y mecánicas del suelo estabilizado.

El trabajo posee condiciones de tipo descriptivo, correlacional y explicativo porque se describen las variables, se determinan las características del suelo inicial y el suelo estabilizado con cloruro

de calcio y luego se mide la relación y/o asociación que tienen las variables cloruro de calcio y el suelo estabilizado. El diseño es experimental, longitudinal y prospectivo, puesto que se desarrolló una propuesta de mejora del suelo en función a la base estabilizada (variable dependiente). Por último, el estudio del diseño fue de cohorte (causa-efecto), porque tiene causa en el presente (la incorporación del cloruro de calcio) y efecto en el futuro (producto muy eficaz como mitigador de la emisión de polvo).

En su estudio Sonapo, P. y Medaly, Y. (2019), realizaron ensayos de laboratorio, para estudiar el comportamiento del suelo después de la aplicación del aditivo químico cloruro de calcio, también emplearon el ensayo de CBR para determinar la resistencia del suelo. Briones, A. (2018), estudió la influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados, con lo cual desarrollaron tres veces ensayos de laboratorio: Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, en excepción al suelo natural que se realizó los ensayos de contenido de humedad y análisis granulométrico, mediante el tamizado por lavado para tener un resultado patrón y compararlo cuando se le añadió los estabilizantes, con un 2% de cloruro de calcio y 5% de cloruro magnesio. Morales, E. y Pailacura, C. (2019), construyeron un camino de prueba con un tramo estabilizado con CaCl_2 y un tramo menor estabilizado con Bischofita, de forma paralela se realizó un estudio experimental en terreno y laboratorio para evaluar la influencia del CaCl_2 utilizado para la construcción del camino. Rivera, C. y Medina, M. (2017), estudiaron los agregados utilizados para la conformación de un camino, determinando la abrasión, granulometría, límites de Atterberg, compactación y CBR para luego incorporar el cloruro de calcio en diferentes porcentajes (1%, 2%, 3% y 4%), para observar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del pavimento.

Larrea, B. y Rivas, J. (2019), definieron las características del suelo a usar (denominado suelo patrón) mediante ensayos de: Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor Modificado, C.B.R., Colorimetría y pH. A este suelo se varió su plasticidad utilizando los siguientes porcentajes de agentes: 1%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, para hallar la dosificación óptima para cada uno de los agentes con la cual cumpla con lo que se exige en la norma. A este porcentaje óptimo, se le realizaron ensayos como: Límites de Atterberg, Proctor Modificado, C.B.R y pH para conocer la interacción entre el suelo y los agentes. Todos los ensayos se regirán bajo normas ASTM. Cahuana, F. (2016), realizó ensayos de laboratorio en caminos vecinales para poder conocer cuál es la dosificación óptima del cloruro de calcio y de la melaza de caña, para el uso como

estabilizador del material granular-Afirmado. Dichas dosificaciones se han realizaron para el cloruro de calcio en porcentajes de 1%, 4% y 6% en peso del afirmado seco; y para la melaza de caña en porcentajes de 2%, 4% y 6% en peso del afirmado seco, mediante el uso de cuadros comparativos se muestra las dosificaciones óptimas para cada producto con el afirmado. Mendoza, C. y Conan, R. (2018), determinaron la estabilización y durabilidad de la sub base con el uso del agregado con la adición del cloruro de sodio al 2, 4 y 6%, con la finalidad de aumentar el índice CBR con la adición del cloruro de sodio en los diferentes porcentajes mencionados para verificar su durabilidad, modificando sus propiedades físicas y mecánicas.

El estudio evaluó las capas granulares iniciales, según lo establecido en la norma peruana “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”, se realizó el Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM D-422, MTC E 107), para clasificar el suelo con método AASHTO 93; el Índice de Plasticidad, para determinar la magnitud del intervalo de humedades; el Contenido de Sales Solubles Totales (MTC E 219), para establecer el procedimiento analítico de cristalización y el contenido de cloruros y sulfatos solubles, finalmente el ensayo de Abrasión Los Ángeles, para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, planos de debilitamiento, plano de cristalización, forma de las partículas (ASTM C-131, MTC - E 207).

Población y muestra

Se desarrollaron ensayos estándares y especiales en la base inicial de la vía de afirmada con cuatro calicatas a lo largo de los 5 Km de vía. Del análisis granulométrico realizado, se extrajeron muestras alteradas de las calicatas para su clasificación AASHTO; en el ensayo de índice de plasticidad, se moldeó una parte de la muestra alterada, la cual se dividió en cuatro partes que se colocaron en taras para determinar la humedad del suelo de acuerdo a las especificaciones de la norma peruana para el Contenido de Humedad - MTC E108; en los ensayos especiales de CBR, se determinó la relación de peso unitario-humedad midiendo la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas; por último; para el ensayo de proctor modificado, se empleó el material que pasa por la malla N°4; adicionalmente, se diseñó mediante AASHTO 93 para base estabilizada con CBR de 114.77% y para la base sin estabilizar con CBR 50.25%.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de investigación se basó en la observación del fenómeno y la recopilación de datos para su posterior análisis. Se desarrollaron mediante la realización de ensayos de laboratorio para la base:

- ASTM C-131, MTC-E207, Abrasión Los Ángeles es la medida de la degradación de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración.
- ASTM D-1557, MTC-E115, Proctor Modificado, para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos compactados.
- ASTM D-1883, MTC E132, el California Bearing Ratio (CBR), describe el procedimiento de ensayo para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte.
- ASTM D-422, MTC E107, el Análisis Granulométrico por Tamizado determina los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices.
- ASTM D422-63 E2, Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partícula de los suelos (Retirado 2016), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org.
- ASTM D-4318, MTC E110, el Límite Líquido, es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico.
- ASTM D-4318, MTC E111, el Límite Plástico, se determina en laboratorio el límite plástico (L.P.) de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.).
- ASTM D98-05 (2013), Especificación estándar para cloruro de calcio, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org ASTM D345.
- ASTM E449-08, (2008). Métodos de prueba estándar para el análisis de cloruro de calcio, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008, www.astm.org.
- MTC E107-2000, Análisis Granulométrico de suelos por tamizado.
- MTC E1109-2000, Estabilización química de suelos - caracterización del estabilizador y evaluación de propiedades de comportamiento del suelo mejorado.
- MTC E207-2000, Abrasión Los Ángeles (L.A.).
- MTC E219, Contenido Sales Solubles Totales establece el procedimiento analítico de

cristalización; asimismo, determina el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas.

Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos: Los ensayos de laboratorio fueron determinados por las normas técnicas peruanas, que definen las características de los equipos a utilizar. Los laboratorios donde se realizaron los ensayos a la base inicial y base estabilizada fueron ETXCON Proyectos, Consultoría, Obras civiles, Geotecnia y MNS Geotecnia E.I.R.L. los cuales cuentan con equipos calibrados, siendo sus instrumentos confiables.

Procedimiento para la recolección de datos

Procedimiento para la recolección de datos según el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones:

Para el ensayo de Análisis Granulométrico, se empleó la norma ASTM D-422, MTC E107, se separó una porción de muestra retenida en tamiz N° 4 según las especificaciones para la base granular a través de una tamizadora mecánica.

Para el ensayo de Límite Líquido, se empleó la norma ASTM D-4318, MTC E110, se colocó una porción de suelo en el plato de mezclado cubriéndolo con un paño húmedo a fin de retener húmeda la muestra; asimismo, se registró el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Progresivamente, se le añadió agua para aumentar su contenido de humedad el cual se determinó de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127.

Para el ensayo de Límite Plástico, se empleó la norma ASTM D-4318, MTC E111, se moldeó la muestra en forma de elipsoide y se rodó con los dedos para formar cilindros, debiendo desmoronarse a un diámetro de 1/8”.

Para el ensayo de Contenido Sales Solubles Totales, se desarrolló la norma MTC E219, se secó la muestra en horno a 100°C y se colocó en un recipiente en el cual se le agregó agua y se agitó; asimismo, se analizó de forma separada en tubos de ensayo, las sales solubles con los respectivos reactivos químicos.

Para el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), se empleó la norma ASTM D-1883, MTC E132, se le añadió agua a la muestra de suelo a fin de alcanzar la humedad óptima, después se compactó la muestra en moldes CBR estandarizados y se le aplicó la carga del pistón de penetración mediante la prensa CBR y se tomó las lecturas de la curva presión.

Para el ensayo de Abrasión Los Ángeles, se empleó la norma ASTM C-131, MTC-E207, se

colocó la muestra y la carga en la máquina de Los Ángeles y se rotó; luego de ello, se descargó el material en la máquina, se separó por tamizado, se lavó y secó a fin de determinar la masa.

Para el ensayo de Proctor Modificado, se empleó la norma ASTM D-1557, MTC-E115, se seleccionó el molde de compactación “C”, habiéndose determinado y anotado su masa. Se empleó el método de preparación húmeda mediante el cual se tuvo un contenido de agua lo más cercano al óptimo estimado, asimismo, se determinó el contenido de humedad cercano al óptimo.

Resultados

Ensayo de Análisis Granulométrico por tamizado:

El ensayo indicó el porcentaje que pasa en peso para verificar el requerimiento granulométrico ASTM D-1241, a través de tal información recopilada en las fechas indicadas la variación del porcentaje que pasa en peso se presenta en la tabla 1, es mínima y depende de la adecuada extracción de la muestra y se calificó como “Gradación B”.

Tabla 1: Ensayo de análisis granulométricos por tamizado

Tamiz	Requerimientos granulométricos ASTM D1241			Cantera Capala			
	Porcentaje que pasa en peso			01/06/19	27/05/19	13/05/19	22/04/19
	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Porcentaje que pasa en peso			
50 mm. (2")	100			97.5	90.8	100	100
25 mm. (1")	75-95	100	100	80.7	71.1	82	80.7
9,5 mm. (3/8")	40-75	50-85	60-100	56.3	45.1	47.2	50.2
4,75 mm. (N.º 4)	30-60	35-65	50-85	45.1	34.3	35.1	38.7
2,0 mm. (N.º 10)	20-45	25-50	40-70	32.8	26.3	27.4	28.6
425 µm. (N.º 40)	15-30	15-30	25-45	19.1	16.8	15	14.7
75 µm. (N.º 200)	5-15	5-15	8-15	4.3	3.2	2.9	3.8

Elaborado por: los autores

La clasificación por SUCS por la prueba de ensayo granulométrico es GW – grava bien gradada, y por el método AASHTO es A-1-a (0).

Ensayo de contenido California Bearing Ratio (CBR):

El ensayo indica el valor relativo del soporte de terreno, al estar relacionado con el módulo de la resiliencia es importante determinar el CBR de la base estabilizada, puesto que con este valor se infiere su capacidad de deformarse y regresar a su estado natural; en consecuencia, se promediaron los resultados obtenidos de CBR de la base inicial. (tabla 2).

Tabla 2: Resultados del ensayo de CBR

Ensayo CBR (%)	CBR1	CBR2	CBR _{PROM}	
CBR (%)	Mínimo 80%	56.70%	43.80%	50.25%

Elaborado por: los autores

Para el suelo estabilizado, se realizaron dos (02) ensayos de CBR. En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos realizados a la base granular estabilizada:

Tabla 3: Número de ensayos CBR al 95% de la MDS estabilizada

N° Ensayos CBR al 95% de la MDS		
Ensayo 01	Ensayo 02	Promedio
117.54%	112.00%	114.77%

Elaborado por: los autores

Se procedió a comparar los resultados (tabla 4) obtenidos, a fin de determinar las modificaciones en su estructura.

Tabla 4: Comparación entre base sin estabilizar y estabilizada con cloruro de calcio

Descripción de capa	Valor obtenido (CBR)
Base sin estabilizar	50.25%
Base estabilizada	114.77%

Elaborado por: los autores

Se aprecia un incremento de 64.52% (114.77–50.25) % en el CBR, lo que indica que el haber estabilizado el material base elevó su capacidad de resiliencia; es decir, tendrá una mayor vida útil frente a factores como el clima, los esfuerzos de los vehículos que transitan, entre otros.

Ensayo de contenido proctor modificado:

El ensayo del Proctor Modificado nos sirvió como control de la compactación del terreno, a través del mismo se determinó la densidad máxima seca en relación a su grado de humedad. Los valores representativos para densidad máxima seca igual a 2.312gr/cm³ y porcentaje óptimo contenido de humedad 5.47%. Mientras que los valores obtenidos del proctor modificado, realizados a la base estabilizada, la máxima densidad seca 2.332gr/cm³ y el óptimo contenido de humedad 6.4%.

Diseño por el método AASHTO 93:

Se diseñó un pavimento flexible para una carretera cuyas características y EAL se muestran en las tablas 5 y 6 respectivamente:

Tabla 5: Características del pavimento para el diseño

Tipo de vía	Carretera principal
Ubicación	Lima
N° de carriles	2
Periodo de diseño (años)	20
Tasa anual de crecimiento (%)	2

Elaborado por: los autores

Tabla 6: Determinación del número del EAL (*equivalent single axle load*) del diseño

	Veh/año	TF	GF	EAL
Omnibuses (B2)	8760	4.153	24.2973698	883945.1165
Camiones 2 ejes (C2)	39420	4.153	24.2973698	3977753.024
Camiones 3 ejes (C3)	123735	2.703	24.2973698	8126393.946
Semitrayler (T2S1)	21900	7.683	24.2973698	4088219.558
Trayler (T2S2)	21900	6.233	24.2973698	3316656.58
Trayler (T2S3)	7300	6.063	24.2973698	1075399.158
			EAL	21468367.38
				2.15E+07
			EAL	21x10 ⁶

Elaborado por: los autores

Cálculo del módulo resiliente (Mr)

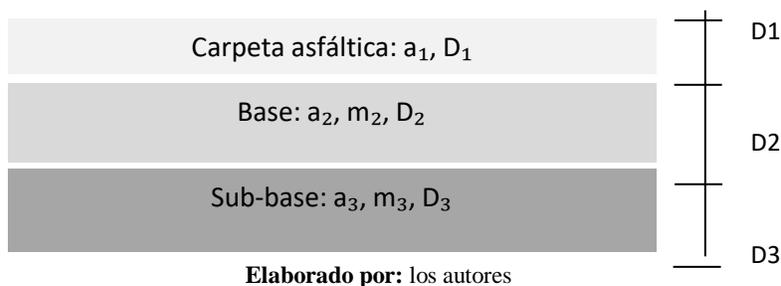
Empleando la fórmula del Manual de carreteras Manual de Carreteras, MC-05-14 (2014) - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, se determinó que el Módulo Resiliente que se traduce en un daño del pavimento igual al que se alcanzaría si se usaran valores modulares estacionales: Se divide el año en periodos con diferente Mr con base en la humedad del suelo o en la variación de las deflexiones medidas en pavimentos construidos sobre el mismo suelo, para el cálculo del módulo resiliente utilizaremos la fórmula (1):

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64} \dots (1)$$

$$Mr = 31053.21959, \text{ psi} \approx 3.11E+04.$$

Estructura del pavimento

Principales elementos que conforman el pavimento flexible: Sub-base, base, juntas y carpeta asfáltica, Asimismo, se determinará los factores o parámetros necesarios para el diseño de pavimentos flexibles según el método AASHTO 93.

Figura 1: Estructura del pavimento**Tabla 7:** Nivel de confiabilidad, desviación estándar y servicialidad del pavimento

Descripción		Cantidad
Nivel de confiabilidad (Arteria principal)	R=	95%
Desviación estándar normal:	ZR=	-1.645
Desviación estándar para pavimentos flexibles:	So=	0.45
Servicialidad inicial:	Po=	4.2
Servicialidad final:	Pt=	3
Variación de la servicialidad:	Δ PSI=	1.2

Elaborado por: los autores.

Con la información anterior, se determinaron los espesores de la base y la carpeta de rodadura; es decir, los valores obtenidos para la base estabilizada con cloruro de calcio y sin estabilizar.

- **Dimensionamiento de espesores con base estabilizada con cloruro de calcio:**

Tabla 8: Dimensionamiento de espesores con base sin estabilizar

Pavimento		Espesores
Carpeta de rodadura	D1 (in)	8.89
	D1 (cm)	22.5806
	D1 (cm)	15
	SN ₁	2.55
Base	D2 (in)	9.53
	D2 (cm)	24.2062
	D2(cm)	20
	SN ₂	1.83

Elaborado por: los autores.

$$D1 \geq \frac{SNb}{a1} = \frac{3.84}{0.44} = 8.89" = 22.58 \text{ cm}, \quad SN1 = \frac{15 \times 0.44}{2.54} = 2.55 \text{ cm}.$$

$$D2 \geq \frac{SNsb - SN1}{a2m2} = \frac{3.85 - 2.55}{0.14 \times 1} = 9.53" = 20.21 \text{ cm}, \quad SN2 = \frac{0.14 \times 1 \times 20}{2.54} + 0.75 = 1.83 \text{ cm}.$$

$$SN \text{ suministrado} = SN1 + SN2 = 2.55 + 1.83 = 4.38 \text{ cm}.$$

Para el diseño del pavimento, se determinó que el número estructural (SN calculado) es 3.84 cm. Para que el pre dimensionamiento de los espesores, se consideró que debe cumplir con lo siguiente:

$$SN \text{ suministrado} > SN \text{ calculada} \quad (1)$$

$$4.38 \text{ cm} > 3.84 \text{ cm}; \text{ por lo tanto, es conforme.}$$

- **Dimensionamiento de espesores con base estabilizada con cloruro de calcio:**

Tabla 9: Dimensionamiento de espesores con base estabilizada

Pavimentos	Espesores	
Carpeta de rodadura	D1 (in)	7.04
	D1 (cm)	17.8816
	D1 (cm)	15
	SN ₁	2.55
	D2 (in)	9.53
Base	D2 (cm)	24.2062
	D2(cm)	15
	SN ₂	1.56

Elaborado por: los autores

$$D1 \geq \frac{SNb}{a1} = \frac{3.04}{0.44} = 7.04" = 17.88 \text{ cm}, \quad SN1 = \frac{15 \times 0.44}{2.54} = 2.55 \text{ cm}$$

$$D2 \geq \frac{SNsb - SN1}{a2m2} = \frac{3.86 - 2.55}{0.14 \times 1} = 9.53" = 24.21 \text{ cm}, \quad SN2 = \frac{0.14 \times 1 \times 15}{2.54} + 0.75 = 1.56 \text{ cm}$$

$$SN \text{ suministrado} = SN1 + SN2 = 2.55 + 1.56 = 4.11 \text{ cm}$$

Se determinó que el número estructural (SN calculado) es 3.84 cm. Para que el pre dimensionamiento de los espesores sea conforme se considera que debe cumplir con la fórmula N° 1.

$$4.11 \text{ cm} > 3.84 \text{ cm}; \text{ por lo tanto, es conforme.}$$

- **Comprobación mediante un programa para el diseño**

En el software “Ecuación AASHTO 93” se introdujeron los valores calculados anteriormente; es decir, el nivel de serviciabilidad inicial y fino; módulo resiliente de la capa, y número de ejes. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: El Número Estructural para un EAL de 21×10^6 es de 3.84.

En la Tabla N° 10, se observa que el dimensionamiento de las capas posee una diferencia de 5 cm en la carpeta de rodadura y de 2 cm en la base; es decir, que los espesores disminuyen al estabilizar la estructura.

Tabla 10: Dimensionamiento final de espesores

Capa		Base sin estabilizar	Base estabilizada
Carpeta Asfáltica	D1 (cm)	15	15
Base	D2(cm)	20	15

Elaborado por: los autores

Por lo tanto: a través del método AASHTO 93, los espesores de las capas granulares proporcionan un mejor desempeño en la estructura estabilizada respecto de la no estabilizada, lo que genera menores espesores de capa.

Discusión

El diseño de pavimento propuesto, evalúa la incorporación de CaCl₂. El uso de este material, sirve para mejorar el CBR de la base de la estructura de la vía. La capacidad de CBR aumentó en 64.52% con el estabilizante; al tener los dos valores de CBR (base estabilizada y sin estabilizar), se procedió a realizar el diseño por el método AASHTO 93, con el cual se identificó la disminución del número estructural de la base estabilizada (incorporación de CaCl₂) con respecto a la base sin estabilizar. El presente artículo optimizó el diseño del pavimento con el uso del estabilizante de cloruro de calcio (CaCl₂), mediante la aplicación del método AASHTO 93, determinando los valores correspondientes de los números estructurales (SN) para la construcción de la vía asfáltica, obteniendo una diferencia entre los espesores de la base estabilizada (15 cm) y base sin estabilizar (20 cm). Para Ponce, D. (2018) en suelos granulares el uso de cloruro de calcio influye significativamente en la estabilización de suelos, hallando un incremento de 22,89% a 43,01% en el valor del CBR, por lo que el Cloruro de calcio muestra un mejor comportamiento en suelos granulares, logrando una mejoría de 20.12%. En suelos arcillosos verificó un incremento en la capacidad de soporte CBR de 11.80% a 16.5%, obteniendo una mejoría de 4.7% con el uso del CaCl₂. Para Rivera, C. y Medina, M. (2017), indicaron que un CBR al 0.1” para cada una de las adiciones (1%,2%,3% y 4%): 103%, 105%, 142%, 150%

respectivamente, estos resultados fueron comparados con un patrón con 0% de cloruro de calcio que tiene un CBR al 0.1” de 74%. De los resultados obtenidos se puede concluir que la incorporación del cloruro de calcio aumenta el CBR hasta en un 5% por cada 1% de adición. Briones, A. (2018), concluyó que el cloruro de calcio al 2% aumenta la resistencia al esfuerzo cortante y mejora sus propiedades físicas y mecánicas de un suelo arcilloso en comparación al cloruro de magnesio al 5%.

En la investigación brindada por el Instituto Mexicano de Transporte (2015), se encontró un incremento en los pesos volumétricos hasta en un 11% con la adición de 0.5 a 3% de cloruro de calcio, según el tipo de suelo; sin embargo, existían datos de la investigación que reportaban disminuciones en el peso volumétrico con respecto a un suelo arcilloso que no contenga el cloruro de calcio, así también mantiene constante la humedad en un suelo, reduce la evaporación y es capaz de absorber hasta diez (10) veces su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, lo que evita la formación de polvo. Para Sonapo, P. y Medaly, Y. (2019), el principal estabilizador que fue estudiado es el producto Cloruro de Calcio, conformado por la reacción química de caliza y ácido clorhídrico, concentrado dicho producto en un 40% para la estabilización ya que por su versatilidad es útil para fenómenos tan distintos como son la estabilización de carreteras.

En el presente estudio la incorporación del cloruro de calcio (CaCl_2) como estabilizante aumentó la capacidad de soporte del suelo en 64,52% en relación a su capacidad de resiliencia; esto es, debido a las características intrínsecas de la base, tales como su granulometría, sales solubles totales y contenido de humedad. La vía de estudio, al ser de gradación B, clasificada como GW-grava bien gradada por el método de SUCS, y tener bajo porcentaje de arcillas, mostró las condiciones óptimas para inclusión de este estabilizante.

Para la estabilización con cloruro de calcio el Manual de Carreteras-MTC, (2014), considera que la capacidad de CBR de los materiales de la base deben estar de acuerdo a valores de máximo beneficio del tratamiento con cloruro de calcio, se requieren pocas cantidades de este producto; es decir, añadir generalmente entre 3 y 10 kg por tonelada métrica de suelo a tratar para la construcción de cimientos (base y sub base) de pavimentos. En aplicaciones superficiales se puede emplear medio kilo por metro cuadrado, repitiendo la aplicación cada vez que se observe excesiva sequedad en la superficie de la carretera y siempre que la humedad relativa sea mayor que la crítica para la temperatura del pavimento durante parte del día. Seyed, A. y Khabir, M. (2019),

establecieron que, al aumentar el porcentaje de cloruro de calcio en el caso seco, la cantidad de absorción de humedad de la parte de grano fino de los materiales de relleno de grava aumenta, por el contrario, las resistencias uniaxiales a tracción y compresión disminuyen con el aumento de cloruro de calcio en más de cierto porcentaje. La cantidad de cloruro de calcio tiene un efecto inverso sobre el límite de líquido, el límite de plasticidad y el índice de plástico, por el contrario, las resistencias uniaxiales de tracción y compresión de tal manera que aumentar la sal de cloruro de calcio en un 6% incrementará el límite de plástico en un 6% y el límite de líquidos en un 12% y el índice de plástico en un 25% y también la resistencia a la tracción uniaxial aumenta un 11% y la resistencia a la compresión uniaxial disminuye un 36%.

Mendoza, C. y Conan, R. (2018), determinaron que la adición del cloruro de sodio en porcentaje de 2% aumentó el CBR en un 3,1% respecto al patrón por lo que se mejoró la resistencia, además en el ensayo de durabilidad se obtuvo los porcentajes de pérdida siendo 9,364% y 5,56% del agregado grueso y fino respectivamente por lo que el material tiene gran resistencia al desgaste, para Morales, E. y Pailacura, C. (2019), los resultados observados en terreno y en laboratorio permitieron concluir que la aplicación de CaCl_2 genera un mejoramiento sustantivo en el comportamiento de las capas de rodadura, debido al efecto cementante que genera sobre la superficie, mejorando las propiedades del camino, además de ser un producto económico y de fácil aplicación, lo que se puede asumir porque en el estudio. El cloruro de calcio absorbe su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el medio ambiente, lo que hace de esta sal un producto muy eficaz como mitigador de la emisión de polvo. En el presente estudio se llegó a determinar que la aplicación del estabilizante de cloruro de calcio (CaCl_2) tuvo como propiedad el actuar como supresor de polvo, actuando como un densificador, con una apariencia uniforme, densa y compactada, obteniendo una efectividad como supresor de polvo

Conclusión

La incorporación del cloruro de calcio (CaCl_2) como estabilizante aumentó la capacidad de soporte del suelo en 64,52%, en relación a su capacidad de resiliencia debido a las características intrínsecas de la base, tales como la granulometría, sales solubles totales y contenido de humedad. La vía de estudio, al ser de gradación B, clasificada como grava bien gradada (GW) por el método de Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), y tener bajo porcentaje de arcillas, mostró las condiciones óptimas para inclusión de este estabilizante. Se optimizó el

diseño del pavimento con el uso del estabilizante de cloruro de calcio (CaCl_2), mediante la aplicación del método AASHTO 93 puesto que se determinaron los valores correspondientes de los números estructurales (SN) para la construcción de la vía asfáltica, mediante el cual se obtuvo como resultado una diferencia entre los espesores de la base estabilizada (15 cm) y base sin estabilizar (20 cm). La aplicación del estabilizante de cloruro de calcio (CaCl_2) también tiene como propiedad el actuar como supresor de polvo, actuando como un densificador. Se pudo observar en la aplicación del cloruro de calcio la apariencia uniforme, densa y compactada, logrando comprobar su efectividad como supresor de polvo.

Limitaciones

Los estudios realizados a la aplicabilidad del NaCl , enfocados al seguimiento de mediciones de polvo como paliativo la humedad relativa debe ser superior al 30% y obtenidos durante parte del día. El nivel freático no debe encontrarse a distancias que provoquen la emigración de la sal. De preferencia que el suelo contenga material fino, porque reacciona mejor con la sal.

Recomendaciones

Tener en cuenta la variación de las características físicas y mecánicas que poseen los suelos inicialmente, así como de las condiciones en las que se encuentra sometido a factores externos como el clima, tráfico, entre otros para su aplicación, a fin de obtener un diseño de base estabilizada. Realizar simultáneamente los ensayos al suelo estabilizado con cloruro de calcio, especialmente el de límites de consistencia, porque al mezclarse con agua capturan la humedad del ambiente generando cambios en los resultados. Hacer estudios y mediciones de las emisiones de polvo producido por los vehículos, además; efectuar la comparación de los resultados obtenidos, a fin de encontrar su eficiencia como mitigador de la emisión de polvo en la vía estudiada. Para Hanegbi, N. y Katra, I. (2020), se deben realizar el control del polvo y la estabilización del suelo aplicando geopolímeros para reducir significativamente los impactos ambientales, y controlar el polvo y la estabilización del suelo. Reemplazar NaOH con cal (CaO) en la solución de para desarrollar estabilizadores naturales del suelo a partir de una base mineral que incluso superar sus capacidades con respecto a los estabilizadores sintéticos existentes. Realizar una revisión exhaustiva de los efectos del agua, como indican Sangsefidi, E., Wilson, D.,

Tam, J. y Black, P. (2019), para determinar si existen deficiencias entre las pruebas empíricas estándar para predecir el efecto del agua sobre el rendimiento de capas granulares no enlazadas en pavimentos.

Referencias

1. AASHTO, (2001). The American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide for desing of pavement structures. 1993. AASTHO, 2001.
2. Briones, A. (2018). Influencia del cloruro de magnesio en comparación con el cloruro de calcio en la estabilización de suelos arcillosos para afirmados.
3. Cahuana, F. (2016). Dosificación optima del cloruro de calcio y la melaza de caña para la estabilización de suelos en caminos vecinales no pavimentadas del distrito de Barranca 2016.
4. CENEPRED (2014). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales – 2da Versión. Publicado por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). Dirección de Gestión de Procesos (DGP) - Subdirección de Normas y Lineamientos (SNL).
5. Chavarry, C., Chavarría, L., Valencia, A., Pereyra, E., Arieta, J., y Rengifo, C. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. *Pro Sciences*, 4(31), 31-41.
6. Chiroque, C., y Lavado, H. (2016). Aspectos geológicos y geodinámicos de flujos aluvionales en la quebrada Jicamarca y análisis de la vulnerabilidad para la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en el centro poblado Cajamarquilla. *Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica*, 19(38), 47-55.
7. Gavilanes, E. (2015). Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur. Quito, Perú: Repositorio de la UIDE.
8. Hanegbi, N., y Katra, I. (2020). A clay-based geopolymer in loess soil stabilization. *Applied Sciences*, 10(7), 2608.
9. IMT (2015). Instituto Mexicano del Transporte: Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres Publicación Técnica Sanfandila.

10. Larrea, B. y Rivas, J. (2019). Estabilización de suelos arcillosos con cloruro de sodio y cloruro de calcio.
11. Manual de Carreteras MC-01-13, (2013). “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013), RD N° 22-2013-MTC/14 (07.08.2013) MTC. Ministerio de transporte y comunicaciones - Tomo 1. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - Dirección de Normatividad Vial. Edición Lima.
12. Manual de Carreteras MC-05-14, (2014). Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos - RD N° 10-2014-MTC/14 (09.04.2014). Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - Dirección de Normatividad Vial. Edición Lima.
13. Manual de Carreteras MC-08-14, (2016): “Mantenimiento o Conservación Vial” RD N° 08–2014–MTC/14 Incorporación de Parte IV RD N° 05–2016–MTC/14. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - Dirección de Normatividad Vial. Edición Lima.
14. Mendoza, C. y Conan, R. (2018). Estabilización y durabilidad de sub-base usando la cantera de Challhua con adición de cloruro de sodio en 2, 4 y 6%-Huaraz-2017.
15. Morales, E. y Pailacura, C. (2019). Estudio del comportamiento de una carpeta de rodado estabilizada con cloruro de calcio. Obras y proyectos, (26), 27-36.
16. Naeimi, M., y Chu, J. (2017). Comparison of conventional and bio-treated methods as dust suppressants. Environmental Science and Pollution Research International, 24(29), 23341-23350.
17. Ponce, D. (2018). Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande – Huancavelica. Huancavelica, Perú: Repositorio Institucional - UNH.
18. Rivera, C. y Medina, M. (2017). Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1%, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado.
19. Sangsefidi, E., Wilson, D., Tam, J., y Black, P. (2019). The role of water in unbound granular pavement layers: A review. Transportation Infrastructure Geotechnology, 6(4), 289-317.
20. Seyed, A. y Khabir, M. (2019). Experimental evaluation of calcium chloride powder effect on the reduction of the pavement surface layer performance. Civil Engineering Journal, (1).

21. Sonapo, P. y Medaly, Y. (2019). Aplicación del cloruro de calcio con material afirmado para mejorar la estabilización de la base en carreteras no pavimentadas.

References

1. AASHTO, (2001). The American Association of State Highway and Transportation Officials. Guide for desing of pavement structures. 1993. AASTHO, 2001.
2. Briones, A. (2018). Influence of magnesium chloride compared to calcium chloride in the stabilization of clayey soils for affirmed.
3. Cahuana, F. (2016). Optimal dosage of calcium chloride and cane molasses for soil stabilization on unpaved neighborhood roads in the Barranca district 2016.
4. CENEPRED (2014). Manual for the Evaluation of Risks Originated by Natural Phenomena - 2nd Version. Published by the National Center for Disaster Risk Estimation, Prevention and Reduction (CENEPRED). Process Management Division (DGP) - Subdirectorate for Standards and Guidelines (SNL).
5. Chavarry, C., Chavarría, L., Valencia, A., Pereyra, E., Arieta, J., and Rengifo, C. (2020). Ground glass reinforced concrete to control cracks and fissures by plastic shrinkage. *Pro Sciences*, 4 (31), 31-41.
6. Chiroque, C., and Lavado, H. (2016). Geological and geodynamic aspects of alluvial flows in the Jicamarca stream and vulnerability analysis for the implementation of an Early Warning System (SAT) in the populated center Cajamarquilla. *Journal of the Research Institute of the Faculty of Geological, Mining, Metallurgical, and Geographical Engineering*, 19 (38), 47-55.
7. Gavilanes, E. (2015). Stabilization and subgrade improvement using lime and cement for a road work in the Santos Pamba neighborhood of the Colinas del Sur neighborhood. Quito, Peru: UIDE Repository.
8. Hanegbi, N., and Katra, I. (2020). A clay-based geopolymer in loess soil stabilization. *Applied Sciences*, 10 (7), 2608.
9. IMT (2015). Mexican Institute of Transportation: Stabilization of soils with sodium chloride for use on land routes. Technical Publication Sanfandila.
10. Larrea, B. and Rivas, J. (2019). Stabilization of clay soils with sodium chloride and calcium chloride.

11. Highway Manual MC-01-13, (2013). “General Technical Specifications for Construction” (EG - 2013), RD N° 22-2013-MTC / 14 (07.08.2013) MTC. Ministry of transport and communications - Volume 1. General Directorate of Roads and Railways - Directorate of Road Regulations. Lima edition.
12. Highway Manual MC-05-14, (2014). Soils, Geology, Geotechnics and Pavements: Soils and Pavements Section - RD No. 10-2014-MTC / 14 (09.04.2014). Ministry of Transport and Communications. General Directorate of Roads and Railways - Directorate of Road Regulations. Lima edition.
13. Highway Manual MC-08-14, (2016): “Road Maintenance or Conservation” RD N ° 08–2014 – MTC / 14 Incorporation of Part IV RD N ° 05–2016 – MTC / 14. Ministry of Transport and Communications. General Directorate of Roads and Railways - Directorate of Road Regulations. Lima edition.
14. Mendoza, C. and Conan, R. (2018). Stabilization and durability of sub-base using the Challhua quarry with the addition of sodium chloride in 2, 4 and 6% -Huaraz-2017.
15. Morales, E. and Pailacura, C. (2019). Study of the behavior of a rolling folder stabilized with calcium chloride. Works and projects, (26), 27-36.
16. Naeimi, M., and Chu, J. (2017). Comparison of conventional and bio-treated methods as dust suppressants. Environmental Science and Pollution Research International, 24 (29), 23341-23350.
17. Ponce, D. (2018). Use of calcium chloride to stabilize the subgrade in clay soils of Ccoripaccha - Puyhuan Grande - Huancavelica avenue. Huancavelica, Peru: Institutional Repository - UNH.
18. Rivera, C. and Medina, M. (2017). Influence of the incorporation of four levels (1%, 2%, 3% and 4%) of calcium chloride on the mechanical resistance of a material for affirmed.
19. Sangsefidi, E., Wilson, D., Tam, J., and Black, P. (2019). The role of water in unbound granular pavement layers: A review. Transportation Infrastructure Geotechnology, 6 (4), 289-317.
20. Seyed, A. and Khabir, M. (2019). Experimental evaluation of calcium chloride powder effect on the reduction of the pavement surface layer performance. Civil Engineering Journal, (1).
21. Sonapo, P. and Medaly, Y. (2019). Application of Calcium Chloride with affirmed material to improve base stabilization on unpaved roads.

Referências

1. AASHTO, (2001). A Associação Americana de Funcionários de Rodovias e Transportes do Estado. Guia para projeto de estruturas de pavimento. 1993. AASTHO, 2001.
2. Briones, A. (2018). Influência do cloreto de magnésio em comparação ao cloreto de cálcio na estabilização de solos argilosos por afirmados.
3. Cahuana, F. (2016). Dosagem ideal de cloreto de cálcio e melaço de cana para estabilização do solo em estradas não pavimentadas do bairro no distrito de Barranca 2016.
4. CENEPRED (2014). Manual de Avaliação de Riscos Originados por Fenômenos Naturais - 2ª Versão. Publicado pelo Centro Nacional de Estimativa, Prevenção e Redução de Riscos de Desastres (CENEPRED). Divisão de Gerenciamento de Processo (DGP) - Subdiretório de Padrões e Diretrizes (SNL).
5. Chavarry, C., Chavarría, L., Valência, A., Pereyra, E., Arieta, J. e Rengifo, C. (2020). Concreto reforçado com vidro fosco para controlar rachaduras e fissuras por contração plástica. *Pro Sciences*, 4 (31), 31-41.
6. Chiroque, C. e Lavado, H. (2016). Aspectos geológicos e geodinâmicos dos fluxos aluviais no córrego Jicamarca e análise de vulnerabilidades para a implementação de um sistema de alerta precoce (SAT) no centro povoado de Cajamarquilla. *Jornal do Instituto de Pesquisa da Faculdade de Engenharia Geológica, Mineração, Metalúrgica e Geográfica*, 19 (38), 47-55.
7. Gavilanes, E. (2015). Estabilização e melhoria do subleito usando cal e cimento para uma obra rodoviária no bairro Santos Pamba, no bairro Colinas del Sur. Quito, Peru: Repositório UIDE.
8. Hanegbi, N. e Katra, I. (2020). Geopolímero à base de argila na estabilização do solo com menor peso. *Ciências Aplicadas*, 10 (7), 2608.
9. IMT (2015). Instituto Mexicano de Transporte: Estabilização de solos com cloreto de sódio para uso em rotas terrestres Publicação Técnica Sanfandila.
10. Larrea, B. e Rivas, J. (2019). Estabilização de solos argilosos com cloreto de sódio e cloreto de cálcio.
11. Manual da estrada MC-01-13, (2013). “Especificações técnicas gerais para construção” (EG - 2013), RD N° 22-2013-MTC / 14 (07.08.2013) MTC. Ministério dos Transportes e

- Comunicações - Volume 1. Direção Geral de Estradas e Ferrovias - Direção de Regulamentos Rodoviários. Edição de Lima.
12. Manual da Rodovia MC-05-14, (2014). Solos, Geologia, Geotecnia e Pavimentos: Seção Solos e Pavimentos - RD N° 10-2014-MTC / 14 (04.04.2014). Ministério dos Transportes e Comunicações. Direção Geral de Estradas e Caminhos de Ferro - Direção de Regulamentos Rodoviários. Edição de Lima.
 13. Manual da Rodovia MC-08-14, (2016): “Manutenção ou Conservação de Rodovias” RD N ° 08-2014 - MTC / 14 Incorporação da Parte IV RD N ° 05-2016 - MTC / 14. Ministério dos Transportes e Comunicações. Direção Geral de Estradas e Caminhos de Ferro - Direção de Regulamentos Rodoviários. Edição de Lima.
 14. Mendoza, C. e Conan, R. (2018). Estabilização e durabilidade da sub-base utilizando a pedra Challhua com a adição de cloreto de sódio em 2, 4 e 6% -Huaraz-2017.
 15. Morales, E. e Pailacura, C. (2019). Estudo do comportamento de uma pasta rotativa estabilizada com cloreto de cálcio. Obras e projetos, (26), 27-36.
 16. Naeimi, M. e Chu, J. (2017). Comparação de métodos convencionais e biotratados como supressores de poeira. Ciência Ambiental e Pesquisa Internacional de Poluição, 24 (29), 23341-23350.
 17. Ponce, D. (2018). Uso de cloreto de cálcio para estabilizar o subleito em solos argilosos da avenida Ccoripaccha - Puyhuan Grande - Huancavelica. Huancavelica, Peru: Repositório Institucional - UNH.
 18. Rivera, C. e Medina, M. (2017). Influência da incorporação de quatro níveis (1%, 2%, 3% e 4%) de cloreto de cálcio na resistência mecânica de um material a ser afirmado.
 19. Sangsefidi, E., Wilson, D., Tam, J. e Black, P. (2019). O papel da água em camadas de pavimento granular não ligadas: uma revisão. Geotecnologia da infraestrutura de transporte, 6 (4), 289-317.
 20. Seyed, A. e Khabir, M. (2019). Avaliação experimental do efeito do pó de cloreto de cálcio na redução do desempenho da camada superficial do pavimento. Revista de Engenharia Civil, (1).
 21. Sonapo, P. e Medaly, Y. (2019). Aplicação de cloreto de cálcio com material afirmado para melhorar a estabilização da base em estradas não pavimentadas.

©2020 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/>).