

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Diseño de base estabilizada para las canteras Mucra y Rosario 02
aplicando aceite sulfonado y cemento**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Luis Clyver Apaza Jara
Rene Edgardo Nina Espirilla

Asesor:

Mg. Gerardo William Pari Quispe

Juliaca, abril de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Gerardo William Pari Quispe, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA PARA LAS CANTERAS MUCRA Y ROSARIO 02 APLICANDO ACEITE SULFONADO Y CEMENTO”** de los autores **Luis Clyver Apaza Jara** y **Rene Edgardo Nina Espirilla** tiene un índice de similitud de 13% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 30 días del mes de abril del año 2025.



Mg. Gerardo William Pari Quispe

Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a... 21... día(s) del mes de... abril... del año 2025, siendo las... 10:00... horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg Leonel Chahueros Paucar, el (la) secretario(a): Mg Herson Duberly Pari Cusi y los demás miembros: Mg Edwin Parillo Escarsena y el (la) asesor(a) Mg Gerardo William Pari Quipe con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Diseño de base estabilizada para las canchales Mucra y Rosario 02 aplicando aceite sulfonado y cemento del(los) bachiller(es): a) Luis Celyver Apaza Jara b) Rene Edgardo Vinos Espirilla c)

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil (Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado. Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Luis Celyver Apaza Jara

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	15	B-	Buena	Muy Buena

Bachiller (b): Rene Edgardo Vinos Espirilla

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	Aceptable	Buena

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidenta

 Asesora

 Bachiller (a)

 Miembro

 Rene N
 Bachiller (b)

 Secretario/a

 Miembro

 Bachiller (c)

Lista de Contenido

Resumen.....	vii
Abstract	viii
1. Introducción.....	9
Metodología.....	12
Tipo de investigación.....	12
Zona de estudio.....	13
Trabajo de campo	14
Ensayos de laboratorio y Diseño de base estabilizada	14
Diseño de base estabilizada	17
Características de los materiales para base estabilizada con aceite sulfonado	18
Análisis e interpretación de resultados	19
2. Resultados.....	20
Resultados de las evaluaciones realizadas a los materiales	20
Cemento Tipo I.....	22
Aceite Sulfonado	23
Reacciones al Mezclar Cemento y Aceite Sulfonado:.....	24
Resultados del diseño de base estabilizada con aditivo químico.....	24
Cálculo óptimo de cemento	26
Cálculo óptimo de aceite	28
3. Resultados Estadísticos.....	31
Contrastación de hipótesis general cantera Mucra	32
Nivel de Significancia	32
Decisión.....	33
Nivel de Significancia	33
Decisión.....	34
4. Discusión	35
5. Limitaciones	40
6. Conclusiones	42
7. Lista de Referencias.....	44
Anexos	¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Análisis de material de cantera para su uso en la base estabilizada con aceite sulfonado</i>	20
Tabla 2.	21
Tabla 3.	22
Tabla 4 Ensayo de Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) . .	24
Tabla 5. <i>Resultado de diseño con el aditivo químico IONICSOIL en relación al CBR:</i> <i>Ensayo de CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I (C) - Aditivo químico IONICSOIL (A)</i>	25
Tabla 6. <i>Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado IONICSOIL en relación al CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I - Aditivo químico IONICSOIL</i>	29
Tabla 7. <i>Verificación de los 7 ensayos con la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado IONICSOIL en relación al CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I - Aditivo químico.</i>	31
Tabla 8.	31
Tabla 9. <i>Prueba de muestra única CANTERA MUCRA</i>	33
Tabla 10. <i>Prueba de muestra única CANTERA ROSARIO 02</i>	34
Tabla 11. <i>Cuadro comparativo de costos según metodologías para un pavimento básico</i>	36

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Cantera Mucra Juliaca, tomado de Google earth y fuente propia</i>	13
Figura 2. <i>Cantera Rosario 02 Huancavelica, tomado de Google earth y fuente propia</i>	14
Figura 3. <i>Sección típica estructural del pavimento</i>	15
Figura 4. <i>Diagrama de flujo de investigación y ensayos de laboratorio</i>	16
Figura 5. <i>Ensayos más resaltantes en laboratorio, a) Granulometría; b) Límites de consistencia; c) Peso específico; d) CBR; e) Abrasión de los ángeles; f) Sulfatos solubles</i>	17
Figura 6. <i>Proporciones óptimas para el diseño de base estabilizada</i>	18
Figura 7. <i>Resultados de diseño con el aditivo químico ionicsoil con 0.15 L/m³+ 1% Y 2% de cemento, teniendo en cuenta la línea tangencial en la cantera Mucra – Juliaca</i> ...	27
Figura 8. <i>Resultados de diseño con el aditivo químico ionicsoil con 0.15 L/m³+ 1% Y 2% de cemento, teniendo en cuenta la línea tangencial en la cantera Rosario 02– Huancavelica</i>	27
Figura 9. <i>Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado ionicsoil con 0.15 L/m³ + 1.60% de cemento en relación al CBR – cantera Mucra – Juliaca</i> ...	28
Figura 10. <i>Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado ionicsoil con 0.15 L/m³ + 1.60% de cemento en relación al CBR – cantera Rosario 02 – Huancavelica</i>	29
Figura 11. <i>Gráfico del análisis con la prueba t de student. Hay suficiente evidencia para aseverar que el diseño de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento mejora significativamente con (p<0.05) las cualidades del suelo de las canteras de Mucra y Rosario 02.</i>	34

Diseño de base estabilizada para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando aceite sulfonado y cemento

Design of a stabilized base for the Mucra and Rosario 02 quarries using sulfonated oil and cement

Resumen

La estabilización de suelos desempeña un papel crucial al mejorar la capacidad de soporte y resistencia de suelos naturales, mitigando los resultados ambientales como la humedad y el agua. Esto es esencial en proyectos de ingeniería civil para fortalecer suelos cohesivos, permitiendo resistir tránsito y condiciones climáticas adversas, y reduciendo costos y riesgos de mantenimiento a largo plazo. Este estudio aborda la problemática de suelos inestables en las canteras Mucra y Rosario 02, con el objetivo de diseñar una base estabilizada mediante la aplicación de aceite sulfonado y cemento. En el diseño del pavimento básico para esta carretera de tercera clase, se recomienda un espesor de 15 cm para la capa de material afirmado. El estudio es de tipo aplicada y experimental, incluyendo pruebas en campo y laboratorio como contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia (líquido y plástico), peso específico, peso unitario, capacidad de soporte (CBR), gravedad específica y absorción de agregados, Proctor modificado, composición química, equivalente de arena, abrasión de Los Ángeles y sulfatos solubles. Las pruebas de CBR se realizaron con diferentes proporciones de cemento y aditivo para aumentar la resistencia del suelo, identificando que la combinación más efectiva fue 1.60% de cemento Andino Tipo I y 0.15 L/m³ de aditivo, logrando un CBR superior al 100%. Esta opción es económica en comparación con las otras dosificaciones que requieren mayor cantidad de aditivo y cumple con el índice de plasticidad necesario para asegurar la estabilidad y durabilidad del suelo. En conclusión, la combinación de cemento Andino Tipo I y el aditivo químico IONICSOIL incrementa significativamente la capacidad de soporte del suelo, recomendándose una dosificación de 1.60% de cemento y 0.15 L/m³ de aditivo debido a su rentabilidad y capacidad para alcanzar un CBR superior al 100%.

***Palabras clave:** Capacidad de soporte (CBR), Dosificación, Estabilización de suelo, Pruebas de laboratorio*

Abstract

Soil stabilization plays a crucial role in improving the bearing capacity and strength of natural soils, mitigating environmental stresses such as moisture and water. This is essential in civil engineering projects to strengthen problematic soils, allowing them to withstand traffic and adverse weather conditions, and reducing long-term maintenance costs and risks. This study addresses the problem of unstable soils in the Mucra and Rosario 02 quarries, with the objective of designing a stabilized base by applying sulfonated oil and cement. The study is applied and experimental, including field and laboratory tests such as moisture content, granulometry, consistency limits (liquid and plastic), specific weight, unit weight, bearing capacity (CBR), specific gravity and aggregate absorption, modified Proctor, chemical composition, sand equivalent, Los Angeles abrasion and soluble sulfates. The CBR tests were carried out with different proportions of cement and additive to increase the strength of the soil, identifying that the most effective combination was 1.60% of Andean Type I cement and 0.15 L/m³ of additive, achieving a CBR greater than 100%. This option is economical in comparison with the other dosages that require a greater amount of additive and complies with the plasticity index necessary to ensure the stability and durability of the soil. In conclusion, the combination of Andean Type I cement and the chemical additive IONICSOIL significantly increases the bearing capacity of the soil, recommending a dosage of 1.60% cement and 0.15 L/m³ of additive due to its cost-effectiveness and capacity to achieve a CBR greater than 100%.

Keywords: *Bearing capacity (CBR), Docification, Soil stabilization, Laboratory tests,*

1. Introducción

La estabilización de suelos es esencial para reforzar la capacidad de carga y la durabilidad de los suelos naturales, además de minimizar los efectos ambientales derivados de la humedad y el agua. Este proceso implica manipulaciones o dosificaciones para aprovechar las cualidades óptimas del suelo, permitiéndole resistir el tránsito y las condiciones climáticas adversas con mayor eficacia. El objetivo de este estudio es realizar diseños de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento en suelo afirmado.

Según Pacheco (2023), los suelos estables resisten el tránsito y los agentes atmosféricos sin deformarse. Algunos son aptos para pavimentación, mientras que otros no. Los ingenieros deben decidir si aceptan, ignoran o estabilizan estos suelos para soportar las cargas del tráfico. Para Pooria & Navid (2018), la edificación en suelos con baja resistencia y alta compresibilidad implica riesgos, por lo que la estabilización es vital para hacer frente a condiciones desafiantes.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad creciente de mejorar la infraestructura vial en diversas regiones del Perú, donde la insuficiente capacidad de carga del suelo para sostener estructuras existentes implica costos adicionales para implementar métodos de estabilización del suelo (Tinedo & Sandoval, 2022). Además, la estabilización de suelos es una solución técnica, económica y ambientalmente sostenible para la construcción de carreteras y caminos rurales, especialmente en áreas con suelos problemáticos que requieren soluciones como eliminación, sustitución u optimización (Llano & Restrepo, 2022; Shah et al., 2022).

Asimismo, Ponce (2018) resalta la creciente importancia de mejorar las vías de comunicación en Perú, lo que requiere explorar alternativas de estabilización de suelos. Por su parte, Romero (2022) enfatiza la necesidad de optimizar carreteras en condiciones deficientes, especialmente en regiones de gran altitud, selva y norte, donde las lluvias afectan la resistencia del

pavimento. Por otro lado, según, Quispe (2020), las áreas con suelos colapsables y poco estables requieren inversión en estabilización o cimientos especializados para evitar riesgos en la construcción.

A nivel global, el uso de aditivos como el aceite sulfonado responde a la demanda de soluciones sostenibles y económicas para estabilizar suelos, disminuyendo el impacto ambiental y los costos a largo plazo en infraestructura vial. La estabilización con cemento Portland y aceite sulfonado mejora notablemente las propiedades mecánicas del suelo. En investigaciones realizadas en distintas partes del mundo; Fujun et al. (2018) desarrollaron un método con aceite sulfonado para solidificar suelos contaminados con Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), mejorando la resistencia y reduciendo la lixiviación de contaminantes. Chunhui et al. (2023) exploraron la estabilización con cemento Portland y nano SiO₂, encontrando que la adición de nano SiO₂ aumentó la resistencia, pero también la fragilidad del suelo. Por su parte, Xue et al. (2023) investigaron el Macadán Estabilizado con Cemento (CSM) y el agente de resistencia temprana (ESA-I) en regiones frías, concluyendo que ESA-I mejoró la hidratación del cemento y la resistencia del suelo, aunque su efectividad disminuyó con temperaturas variables.

En Perú, varios investigadores han analizado métodos de estabilización del suelo con cemento y aceite sulfonado para mejorar la resistencia y durabilidad de carreteras y caminos rurales. Tinedo & Sandoval (2022), encontraron que la combinación de cemento Portland y aceite sulfonado es eficaz para prevenir el colapso del suelo en Piura. Hurtado & Ortega (2021) estudiaron la mejora de propiedades en carreteras no pavimentadas, determinando que la mezcla óptima de aceite sulfonado (0.32 lt/m³) y cemento (65 kg/m³) resultó en un CBR del 270%. Barreto & Taco (2021) concluyeron que esta combinación optimiza la estabilización de la base granular y reduce costos. Gómez & Silva (2020) examinaron su impacto en la vía Huaylillas – Buldibuyo,

encontrando mejoras significativas en las propiedades mecánicas. Manrique (2021) destacó el efecto positivo del aceite sulfonado en la estabilización de subrasantes, mejorando la resistencia al agua y las propiedades mecánicas. Ipanaque (2022) investigó la dosificación óptima de aceite sulfonado y cemento, observando un notable aumento en la estabilidad del suelo subrasante frente al agua y la humedad.

Por otro lado, varios investigadores han analizado métodos de estabilización del suelo para mejorar la resistencia y durabilidad de carreteras y caminos rurales. Ponce (2018) exploró el impacto del cloruro de calcio en suelos arcillosos, notando un incremento en la capacidad de soporte CBR en suelos granulares, aunque su efecto fue limitado en suelos arcillosos y orgánicos. Por otro lado, Almonacid (2019) demostró que la inclusión de cal o ceniza de quinua mejora la capacidad portante de los suelos, manteniendo valores dentro de estándares de calidad en el Proctor Modificado. En estudios llevados a cabo en Juliaca, Guillen (2018) aplicó cal para estabilizar una cantera en la autovía Puno – Juliaca, logrando mejoras en los límites de consistencia y la resistencia del suelo. Pari & Villalba (2022) usaron relave minero en la avenida San Martín, observando reducciones en el IP y aumentos en el CBR, mejorando las propiedades geotécnicas del suelo. Arapa (2023) evaluó la estabilización de la subrasante de la Nueva Circunvalación con piedra chancada $\frac{3}{4}$, demostrando mejoras en la resistencia del suelo y beneficios económicos frente a métodos convencionales.

La técnica de estabilización mejora las características del suelo, fortaleciéndolo y reduciendo su permeabilidad y resistencia química. Es una solución sostenible para suelos duraderos, clave en la estabilidad de estructuras como carreteras, que resisten condiciones adversas y reducen costos de mantenimiento. El uso de aceite sulfonado y cemento es eficaz para aumentar la capacidad de soporte de los suelos, lo cual es crucial en regiones como Perú, donde los suelos

de baja capacidad de carga son un desafío para la construcción vial. Por ese motivo la presente investigación tiene como objetivo “Realizar Diseño de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento en suelo afirmado”.

Metodología

La investigación muestra una hoja de flujo donde se divide en tres fases: trabajos de campo, ensayos de laboratorio sobre suelos y superficies de pavimento, y diseño de suelo estabilizado, con la finalidad de encontrar la óptima cantidad de cemento y estabilizante químico (aceite sulfonado) a ser utilizado (figura 4).

Tipo de investigación

El enfoque de este estudio es de carácter aplicada y experimental. Se denomina aplicada porque se fundamenta en la aplicación práctica de conocimientos científicos para resolver problemas prácticos del mundo real (Ruiz & Valenzuela, 2022). Experimental, ya que se fundamenta en la observación y análisis de fenómenos o comportamientos que surgen como resultado a la manipulación en la variable (Gómez, 2012).

La población y la muestra se compone de: La cantera Mucra y la cantera Rosario 02. Según Ruiz & Valenzuela (2022) la población es "un conjunto de seres sobre el que se investigará" (p. 27); y definen a la muestra como el conjunto más pequeño dentro de la población que posee características similares a las del conjunto completo de la población. Para elegir la muestra, se optó por un enfoque no probabilístico, basado en el juicio subjetivo del investigador (Arias et al. (2022).

El proyecto busca estabilizar la base de una carretera de bajo tránsito, específicamente una vía de tercera clase. La estabilización se refiere al tratamiento del suelo para mejorar sus propiedades de la base estabilizada.

Zona de estudio

Las muestras fueron obtenidas de la cantera Rosario 02 ubicado en el centro poblado Andabamba, Distrito Paucara, Provincia Acobamba, Departamento de Huancavelica - Perú (Figura 1) y de la Cantera Mucra ubicado en el centro poblado de Mucra del Distrito de Juliaca, Provincia San Román, Departamento de Puno - Perú (Figura 2). Su función es proveer material para ejecutar el estabilizado.

Figura 1

Cantera Mucra Juliaca, tomado de Google earth y fuente propia.



Figura 2

Cantera Rosario 02 Huancavelica, tomado de Google earth y fuente propia.



Trabajo de campo

La fase inicial del estudio consistió en tomar muestras de material extraído tras el zarandeo estático en las canteras Mucra y Rosario 2, encontrándose el agregado homogenizado. Las muestras se recolectaron según el manual EM-2016, utilizando técnicas de observación y trabajo de campo. Se realizaron pruebas de humedad, granulometría, límites de consistencia, peso específico y unitario, CBR, gravedad específica y absorción de agregados, Proctor modificado, composición química, equivalente de arena, abrasión Los Ángeles y sulfatos solubles, analizando datos en campo y laboratorio.

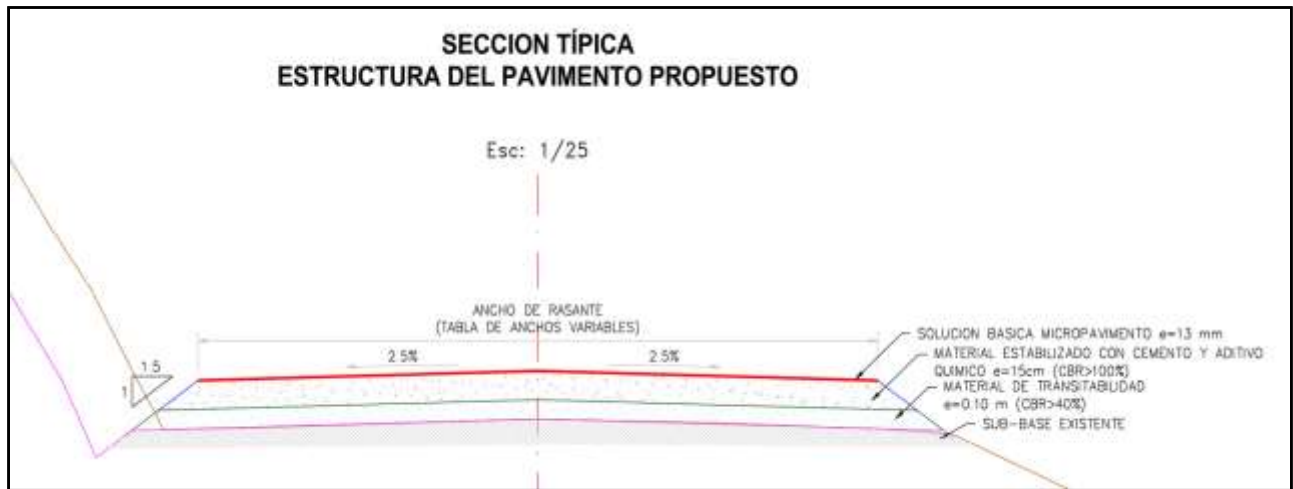
Ensayos de laboratorio y Diseño de base estabilizada

Los diseños de base estabilizada con aceite sulfonado se realizaron con material de las canteras Mucra y Rosario 02, incorporando el aditivo de aceite sulfonado y cemento para crear una base cerrada sin penetración. Este diseño mejora las propiedades mecánicas de la base

mediante el aglomerante hidráulico. El proceso incluye la preparación y mezcla de los materiales con el aglomerante y el aditivo, seguido de la compactación. Se aplicará una capa de micropavimento sobre el suelo estabilizado, lo que aumentará la resistencia al desgaste y a las condiciones climáticas.

Figura 3

Sección típica estructural del pavimento.



Nota: El pavimento básico está diseñado por el método NAASRA, compuesta por un espesor de capa material afirmado.

$$e = \left[219 - 211 \times (\log_{10} CBR) + 58 \times (\log_{10} CBR)^2 \times \log_{10} \left(\frac{N_{rep}}{120} \right) \right]$$

CBR = 25% Tramo 1

ESAL = 3.22+05 Tramo 1

e = 13 cm ⇒ Recomendado 15 cm

La determinación de espesores de pavimento básico, se fundamenta en la obtención de las cargas equivalentes acumuladas para el periodo de diseño de 10 años, para lo cual se realiza un estudio de tráfico que contenga la composición vehicular, IMD anual (menor a 400 vehículos -

carretera de tercera clase), el factor camión, el tráfico acumulado y proyectado en número de ejes equivalentes ESAL obtenido de $3.22E+05$.

No obstante, la estructura del pavimento básico está compuesta por una subrasante existente, una capa granular con aporte de material de cantera que corresponde a la transitabilidad $e=0.10$ m, ejecutado en los 6 primeros meses del proyecto, posterior a este el espesor de base estabilizada con cemento y aditivo líquido $e=0.15$ m, finalmente la capa de rodadura que corresponde a un Micropavimento $e=0.013$ m. Cada capa recibe cargas de la capa superior, las distribuye y las transmite a la capa inferior. De este modo, se reducirán las tensiones, que son máximas en la capa superior y mínimas en la parte superior de la subrasante.

Para evaluar la efectividad del diseño, se realizarán pruebas de Índice de California de Capacidad de Soporte (CBR) con diferentes dosificaciones de materiales, permitiendo determinar la dosificación óptima para maximizar la estabilidad y resistencia del suelo.

Figura 4

Diagrama de flujo de investigación y ensayos de laboratorio

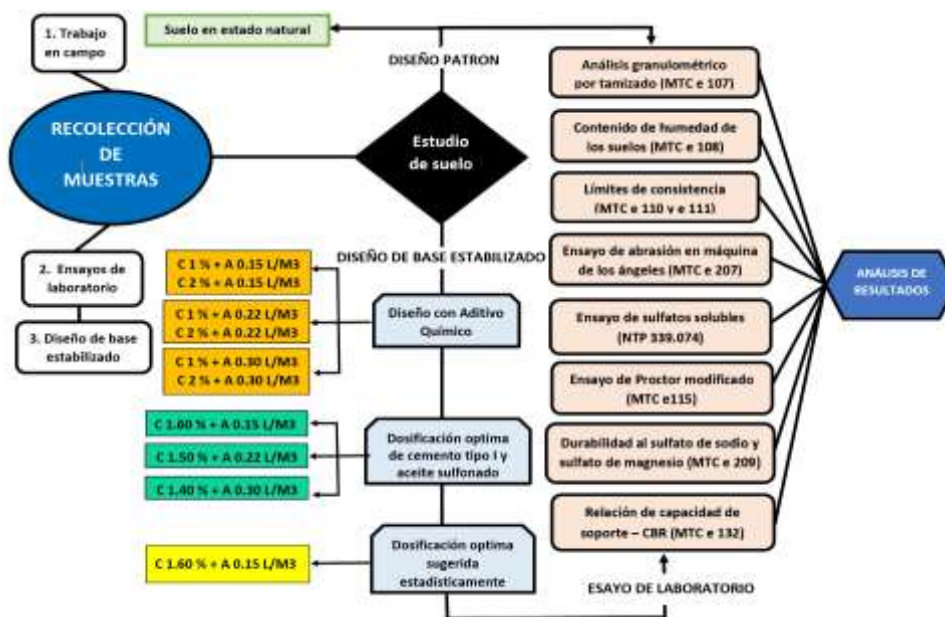


Figura 5

Ensayos más resaltantes en laboratorio, a) Granulometría; b) Límites de consistencia; c) Peso específico; d) CBR; e) Abrasión de los ángeles; f) Sulfatos solubles.

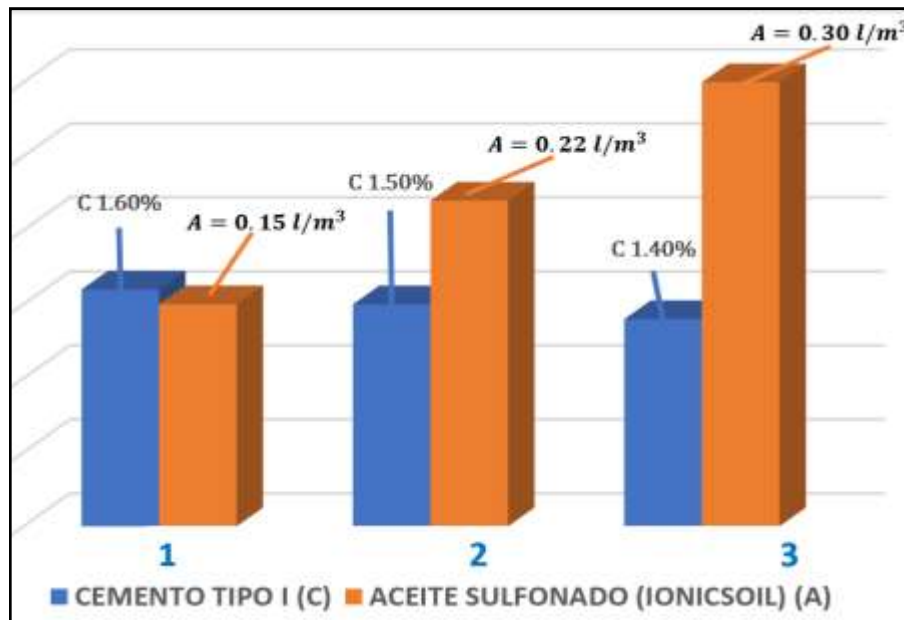


Diseño de base estabilizada

La capa que se desea estabilizar corresponde a la base de una carretera de bajo tránsito, El diseño de una base estabilizada con aceite sulfonado y cemento mejora las propiedades mecánicas del suelo, creando una base cerrada sin penetración. Se mezcla cemento tipo I con aceite sulfonado de la marca IONICSOIL en diferentes proporciones (figura 6). Es crucial que el índice de plasticidad (IP) esté entre 6% y 12%. Para un resultado óptimo, el IP debe disminuir significativamente, sin convertir el material en inerte, manteniendo una cohesión adecuada. Se recomienda que el IP esté entre 5% y 6% para un rendimiento óptimo. La combinación de cemento Portland tipo I y aceite sulfonado mejora notablemente las propiedades mecánicas de la vía Huaylillas – Buldibuyo, (Gómez & Silva, 2020).

Figura 6

Proporciones óptimas para el diseño de base estabilizada



Nota: Se diseñó primeramente con proporciones de cemento de 1 % y 2% y aceite 0.15%,0.22% y 0.30% con las intenciones de bajar el IP dentro de ello obtenemos el resultado óptimo con 3 distintas proporciones tanto en cemento tipo I y aceite sulfonado.

Características de los materiales para base estabilizada con aceite sulfonado

Se detallan las propiedades de los materiales utilizados en la fabricación de base estabilizada con aceite sulfonado, conforme a las directrices técnicas establecidas en el Plan de Gestión Vial (PGV), el cual especifica lo siguiente:

Descripción: El proceso consiste en construir capas de material granular tratado con cemento según las especificaciones del proyecto. Se utiliza un estabilizador fisicoquímico de suelos, un aditivo sólido, para formar la capa estructural de la base.

Materiales

El material debe exhibir una distribución granulométrica uniforme, sin presentar cambios abruptos desde la parte superior de un tamiz hacia la inferior del tamiz adyacente, o viceversa.

Suelos: Los materiales para estabilización con cemento pueden ser afirmado, escarificación de la capa superficial o suelo natural. Deben estar libres de materia orgánica o sustancias perjudiciales para la base.

Cemento: Se utiliza cemento tipo I, conforme a las especificaciones de la Subsección 503.02 del Manual del MTC (EG-2013), para las canteras Mucra y Rosario 02.

Aceite Sulfonado: Es un aditivo que mejora el suelo, haciéndolo más resistente ($CBR > 100\%$) y flexible, y reduce la susceptibilidad al agua. Se usa el aceite sulfonado marca Ionicsoil.

Agua: El agua utilizada en la estabilización debe cumplir con la norma NTP 339.073, que establece un pH entre 5,5 y 8,0. Debe ser pura, sin contaminantes, y preferentemente potable, sin necesidad de pruebas adicionales.

Análisis e interpretación de resultados

Se realizó un análisis detallado de los ensayos de laboratorio para evaluar los resultados obtenidos y determinar las variaciones en las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con aceite sulfonado y cemento. Los ensayos incluyeron análisis de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia (líquido y plástico), peso específico, peso unitario, capacidad de soporte (CBR), gravedad específica y absorción de agregados, proctor modificado, composición química, equivalente de arena, abrasión de Los Ángeles y sulfatos solubles. El análisis detallado de estos ensayos permitió obtener una comprensión completa de cómo estos materiales se comportan bajo condiciones específicas de uso, proporcionando información crucial para optimizar el diseño y la implementación del suelo estabilizado.

2. Resultados

Resultados de las evaluaciones realizadas a los materiales

A partir del análisis de las características físicas de las canteras, se ha determinado el siguiente cuadro de verificación de sus propiedades para la producción de suelo estabilizado con aceite sulfonado.

Tabla 1

Análisis de material de cantera para su uso en la base estabilizada con aceite sulfonado

ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS	RESULTADO	RESULTADOS
			S CANTERA MUCRA	CANTERA ROSARIO 2
Granulometría del material	MTC E 204	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7	GC A-2-4 (0)	GC – GM A-1-b (0)
Índice de Plasticidad	MTC E 111	IP 6% a 12%	8%	6%
Sulfatos SO ₄ =	NTP 339.178	0.2% máx.	0.090%	0.078%
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	50% máx.	34%	22%
Durabilidad al sulfato de magnesio, agregado grueso	MTC E 209	18% máx.	5.1%	2.5%
Durabilidad al sulfato de magnesio, agregado fino	MTC E 206	15% máx.	6.0%	3.4%

Nota. Ensayos relevantes para el diseño de base estabilizada según los parámetros de estabilización con productos Químicos (EG- 2013 sección 301.C pág. 273).

El análisis granulométrico de la Cantera Mucra clasifica el suelo como grava arcillosa con presencia de arena. En la Cantera Rosario 02, el suelo es una mezcla de grava con limo, arcilla y arena.

Según el Índice de Plasticidad: Ambas canteras cumplen con el requisito de un IP inferior al 12%, con Mucra mostrando un IP del 8% y Rosario 2 del 6%. Esto indica que los suelos son relativamente no plásticos.

Sulfatos SO₄=: Ambas canteras cumplen con el límite máximo de sulfatos solubles en el suelo, con Mucra registrando 0.090% y Rosario 2 0.078%. Esto sugiere una baja presencia de sulfatos, lo que es favorable para la durabilidad de las obras construidas con estos materiales.

El ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles muestra que ambas canteras cumplen con el límite del 50%. La cantera Rosario 02 tiene una pérdida de peso del 22%, lo que refleja alta resistencia y durabilidad superior. La cantera Mucra, con una pérdida del 34%, presenta una resistencia aceptable pero menor durabilidad en comparación.

Ambas canteras cumplen con los requisitos de durabilidad al sulfato de magnesio, con valores inferiores al 18% para agregados gruesos y al 15% para finos, lo que indica una buena resistencia a la degradación por sulfatos.

N°	CANTERA	PROGRESIVA	PORCENTAJE DE HUMEDAD
01	Mucra	Salida a Cuzco	6.40%
02	Rosario 02	Km. 18+600	4.60%

Conforme a la Tabla 2, el ensayo del contenido de humedad, en la Cantera Rosario 02, el contenido de humedad es del 4.6%, mientras que en la Cantera Mucra este valor fue notablemente mayor, alcanzando el 6.4%.

Nº	CANTERA	PROGRESIVA	DENSIDAD MÀX. SECA (gr/cm ³)	HUMEDAD ÓPTIMA (%)
01	Mucra	Salida a Cuzco	2.281	6.7
02	Rosario 02	Km. 18+600	2.198	6.2

Conforme a la tabla 3, Conforme al ensayo de Proctor Modificado donde la: Densidad Máx. Seca en la Cantera Mucra (2.281 gr/cm³) es ligeramente mayor que en la Cantera Rosario 02 (2.198 gr/cm³), esto sugiere que, bajo las mismas condiciones de compactación, el suelo de la Cantera Mucra tiene una mayor capacidad de compactación que el suelo de la Cantera Rosario 02. La humedad óptima en la Cantera Mucra (6.7%) es mayor que en la Cantera Rosario 02 (6.2%); esto indica que el suelo de la Cantera Mucra alcanza la máx. densidad seca con un contenido de humedad ligeramente mayor que el suelo de la Cantera Rosario 02.

Cemento Tipo I

Se utilizó cemento Pórtland Tipo I en el diseño de suelo estabilizado para las canteras MUCRA y ROSARIO 02. Composición química: Entre los componentes del cemento se encuentran concentrados el óxido de calcio, el dióxido de silicio, los óxidos de aluminio y hierro, y el trióxido de azufre, este último aportado por el azufre. A excepción del trióxido de azufre, los demás componentes son sometidos a un proceso de sintonización para obtener el Clinker. Los porcentajes aproximados de estos componentes en el cemento son 4,5 % de óxidos de hierro, 2,4

% de óxido de magnesio, 1,6 % de sulfatos, y 1 % de otros materiales, entre los cuales predomina el agua.

Aceite Sulfonado

El aceite sulfonado IONICSOIL es un aditivo químico que convierte el suelo modificado en semi-impermeable, resistente (CBR > 100%) y flexible. Su caracterización química incluye:

Caracterización química: Sulforricinato sódico.

- Aceite de ricino, sulfatados, sal de sodio: Concentración: 50 - < 75%
- Propan-2-ol: Concentración: 1 - < 2.5%
- Dodecibencenosulfonato de sodio: Concentración: 1 - < 2.5%
- Disolución acuosa de amoníaco = 25%: Concentración: 1 - < 2.5%

La composición incluye un aceite base (mineral o sintético), compuestos sulfonados (sulfonatos metálicos) y aditivos (antioxidantes y estabilizantes).

La fórmula general del cemento portland:

La fórmula general del cemento Portland está compuesta por:

- Silicato tricálcico (C_3S): $3CaO \cdot SiO_2$ - Proporciona la resistencia inicial.
- Silicato dicálcico (C_2S): $2CaO \cdot SiO_2$ - Contribuye a la resistencia a largo plazo.
- Aluminato tricálcico (C_3A): $3CaO \cdot Al_2O_3$ - Afecta el fraguado y resistencia inicial.
- Ferraluminato tetracálcico (C_4AF): $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ - Influye en la reducción de temperatura de fraguado y color.

Fórmula Simplificada: $C_xS_yA_zF_t$ (C: CaO, S: SiO₂, A: Al₂O₃, F: Fe₂O₃)

Los valores aproximados son: $C_{2.9}S_{0.8}A_{0.2}F_{0.1}$

Fórmula General del aceite sulfonado: $R-SO_3H$, donde **R** es la estructura del aceite original y **SO₃H** es el grupo sulfonilo añadido.

Reacciones al Mezclar Cemento y Aceite Sulfonado:

La combinación de cemento Portland (C_x S_y A_z F_t) y aceite sulfonado (R-SO₃H) implica una reacción entre el ácido sulfónico (SO₃H) y los óxidos presentes en el cemento, principalmente el óxido de calcio (CaO). Esta reacción es de tipo ácido-base y produce una sal y agua:

Reactivos: $CaO + R-SO_3H$

Productos: $R-SO_3Ca + H_2O$

Fórmula resultante:

- Sulfonato de calcio: **$R-SO_3Ca$**

El sulfonato de calcio es una sal más estable que ayuda a reducir la acidez del sistema, mientras que el agua es un subproducto común en estas reacciones. Esta reacción mejora la compatibilidad entre el aceite sulfonado y el cemento Portland, facilitando su uso en aplicaciones como la estabilización de suelos.

Resultados del diseño de base estabilizada con aditivo químico

Tabla 4

Ensayo de Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

	CANTERA MUCRA			CANTERA ROSARIO 02		
	LL %	LP %	IP %	LL %	LP %	IP %
Suelo natural	23%	15%	8%	25%	20%	6%

Con Aditivo Químico Ionicsoil 0.15 L/M3	22%	15%	7%	21%	17%	4%
Con Aditivo Químico Ionicsoil 0.22 L/M3	21%	15%	6%	20%	NP	NP
Con Aditivo Químico Ionicsoil 0.30 L/M3	20%	15%	5%	19%	NP	NP

Nota: LL: Límite Líquido (%), LP: Límite Plástico (%), IP: Índice de Plasticidad (%). Los valores presentados fueron obtenidos mediante las pruebas de laboratorio realizado a las muestras de la Cantera Mucra y Cantera Rosario 02.

En la tabla 4, se puede apreciar que en la Cantera Mucra, el uso del aditivo en diferentes cantidades ha reducido el IP a valores entre 7%, 6% y 5%, lo que indica una disminución significativa en la plasticidad del suelo. En la Cantera Rosario 02, la reducción del IP al 4% es favorable. Sin embargo, que el suelo se convierta en No Plástico (NP) no es bueno, ya que el suelo necesita un porcentaje de plasticidad para proporcionar la cohesión necesaria para un buen amarre del afirmado. Se observa un impacto notable del aditivo químico Ionicsoil en la disminución del índice de plasticidad (IP) en ambas canteras. Los hallazgos sugieren que este aditivo afecta los límites de consistencia del suelo, manifestando una disminución en su plasticidad, especialmente cuando se emplea una concentración más elevada del mismo.

Tabla 5

Resultado de diseño con el aditivo químico IONICSOIL en relación al CBR: Ensayo de CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I (C) - Aditivo químico IONICSOIL (A)

CANTERA MUCRA			CBR	
Mezcla	Cemento (%)	Aceite Sulfonado l/m^3	AL 100% M.D.S (0.1")	AL 95% M.D.S (0.1")
Suelo natural	-----	-----	49.00%	30.60%

M1	1%	0.15	70.46%	55.00%
M2	2%	0.15	126.08%	92.60%
M3	1%	0.22	76.6%	60.1%
M4	2%	0.22	132.30%	97.10%
M5	1%	0.30	82.70%	63.80%
M6	2%	0.30	135.30%	109.20%
ROSARIO 02			CBR	
Mezcla	Cemento (%)	Aceite Sulfonado l/m^3	AL 100% M.D.S (0.1")	AL 95% M.D.S (0.1")
Suelo natural	-----	-----	58.10%	47.20%
M1	1%	0.15	76.71%	67.80%
M2	2%	0.15	120.06%	106.00%
M3	1%	0.22	82.00%	54.10%
M4	2%	0.22	124.90%	110.60%
M5	1%	0.30	88.50%	66.50%
M6	2%	0.30	129.70%	88.20%

Nota: CBR: Índice de Soporte California (%), M.D.S.: Máxima Densidad Seca (%), Cemento Andino Tipo I, Aditivo químico IONICSOIL (L/M3). Los valores presentados fueron obtenidos mediante pruebas de laboratorio realizadas en muestras de la Cantera Mucra y Cantera Rosario 02, Según los resultados del CBR, con un 1% de cemento el CBR es menor al 100%, mientras que con un 2% de cemento el CBR supera el 100%. Esto condujo a la identificación de la combinación más efectivas.

Cálculo óptimo de cemento

Para el cálculo del contenido óptimo de cemento, se realizaron dos pruebas con 1% y 2% de cemento. Aunque añadir puntos adicionales cada 0.5% habría permitido observar una tendencia más clara, se representaron los datos mediante una línea recta. El ajuste del porcentaje de cemento se hizo hasta obtener un CBR mínimo del 100%, basado en la máxima densidad seca y una penetración de 0.1 pulgadas. Para mayor seguridad, el diseño se hizo con un 105% de la resistencia

requerida, garantizando que cualquier parte del suelo alcanzara al menos un 99-100% de la resistencia necesaria, evitando así problemas de deterioro o deformaciones.

Figura 7

Resultados de diseño con el aditivo químico ionicsoil con 0.15 L/m³+ 1% Y 2% de cemento, teniendo en cuenta la línea tangencial en la cantera Mucra – Juliaca.

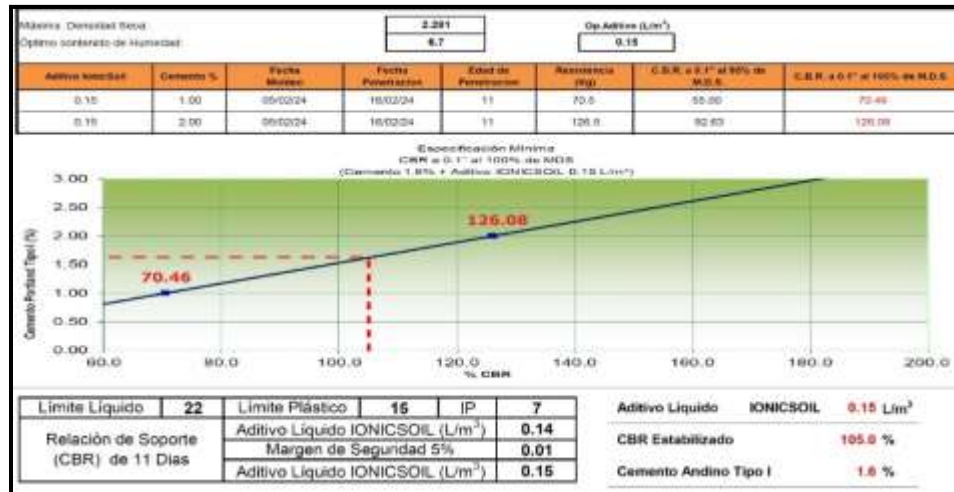
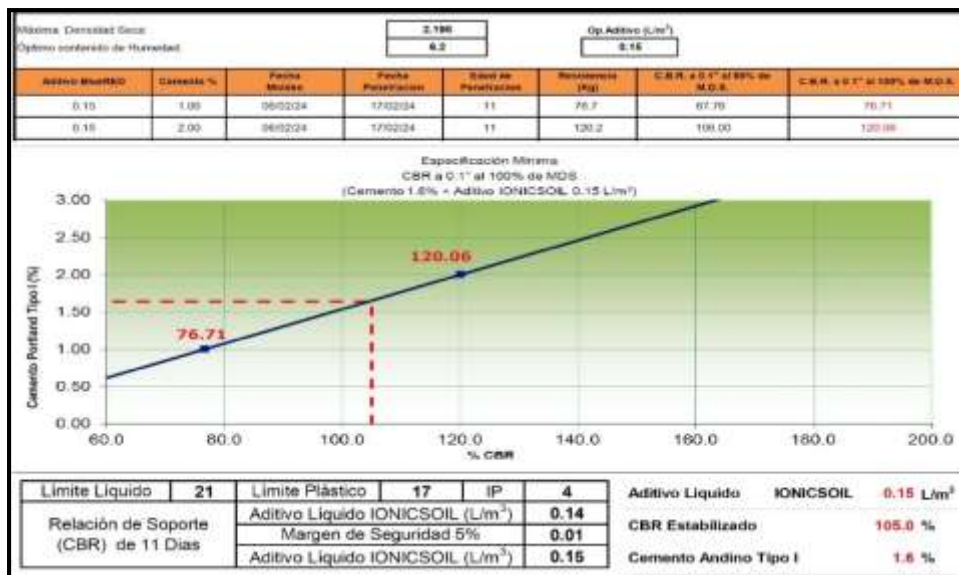


Figura 8

Resultados de diseño con el aditivo químico ionicsoil con 0.15 L/m³+ 1% Y 2% de cemento, teniendo en cuenta la línea tangencial en la cantera Rosario 02– Huancavelica.



Cálculo óptimo de aceite

El cálculo óptimo de aceite sulfonado se basa en mantener la cohesión del suelo sin que se vuelva inerte al reducir el índice de plasticidad (IP). La dosificación mínima recomendada es de 1 litro y la máxima de 3 litros por metro cúbico de agregado suelto. A veces se usan valores promedios como 0.15 o 0.20 litros, pero una dosificación de 0.30 litros puede convertir el material en NP (no plástico), reduciendo la aglomeración de los finos.

El IP del agregado debe estar entre 6 y 12%, con mejores resultados en un IP de 10 o 11%. Para un IP de 8%, se recomienda usar 0.15 litros de aceite. En cuanto al cemento, exceder la cantidad recomendada puede endurecer demasiado la base, provocando fallas cortantes y agrietamientos. Si el IP es mayor a 12%, se deben considerar otros métodos de estabilización, como el uso de sales o cal.

Figura 9

Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado ionicsoil con 0.15 L/m³ + 1.60% de cemento en relación al CBR – cantera Mucra – Juliaca.

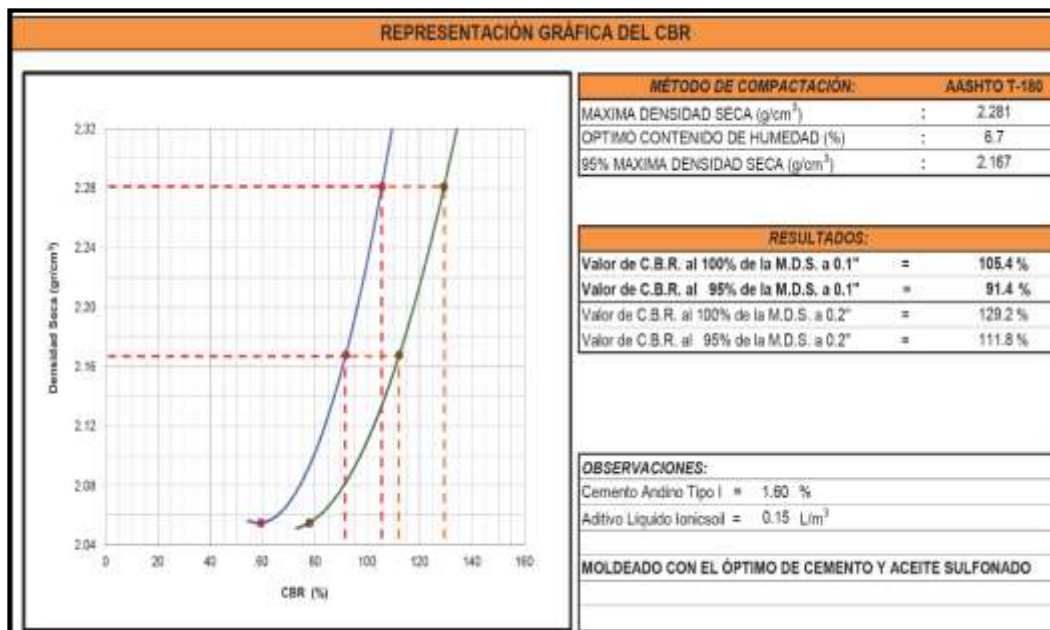


Figura 10

Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado ionicsoil con 0.15 L/m³ + 1.60% de cemento en relación al CBR – cantera Rosario 02 – Huancavelica.

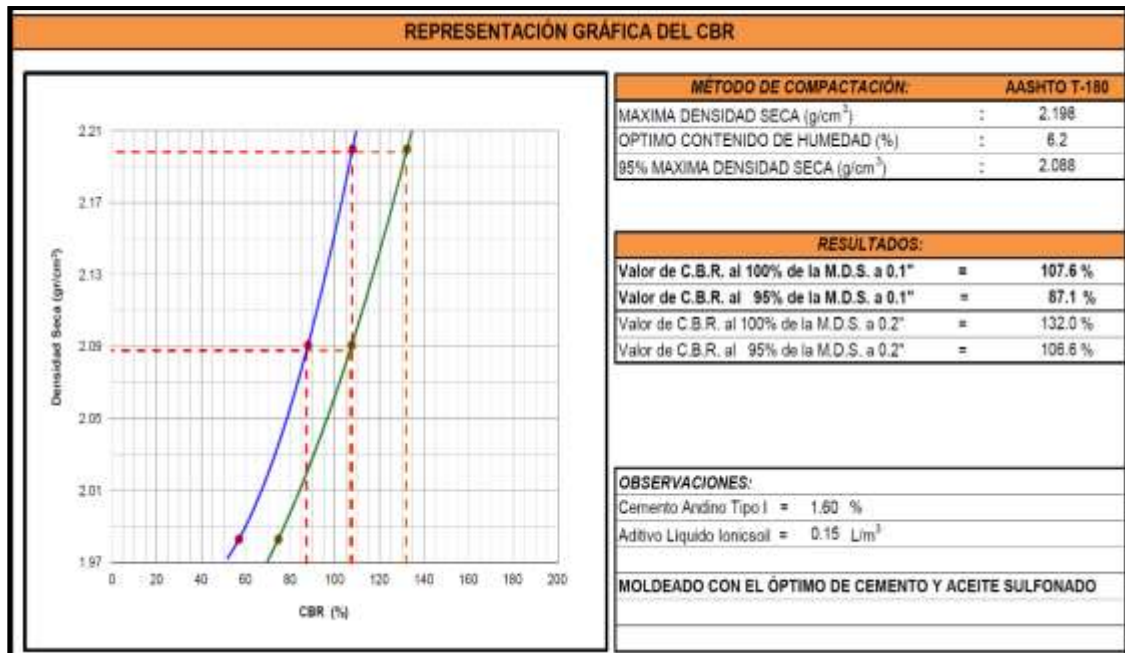


Tabla 6

Verificación de la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado IONICSOIL en relación al CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I - Aditivo químico IONICSOIL

CANTERA MUCRA			CBR	
Mezcla	Cemento (%)	Aceite Sulfonado l/m ³	AL 100% M.D.S (0.1")	AL 95% M.D.S (0.1")
Suelo natural	-----	-----	49.00%	30.60%
M1	1.60%	0.15	105.40%	91.40%
M2	1.50%	0.22	108.00%	92.90%
M3	1.40%	0.30	107.60%	93.40%

ROSARIO 02

CBR

Mezcla	Cemento (%)	Aceite Sulfonado <i>l/m³</i>	AL 100% M.D.S (0.1")	AL 95% M.D.S (0.1")
Suelo natural	-----	-----	58.10%	47.20%
M1	1.60%	0.15	107.60%	87.10%
M2	1.50%	0.22	106.80%	86.20%
M3	1.40%	0.30	109.60%	94.80%

Nota: CBR: Índice de Soporte California (%), M.D.S.: Máxima Densidad Seca (%), C1: Cemento Andino Tipo I, A: Aditivo químico IONICSOIL (L/M3). Los valores presentados fueron obtenidos mediante pruebas de laboratorio realizadas en muestras de la Cantera Mucra y Cantera Rosario 02, utilizando Cemento Andino Tipo I y aditivo químico IONICSOIL en distintas dosificaciones.

Los ensayos de CBR efectuados en muestras de suelo sin alterar de las Canteras Mucra y Rosario 02 revelando una disparidad notable en la resistencia del suelo. Los datos numéricos muestran consistentemente una mayor resistencia en la Cantera Rosario 02 en comparación con la Cantera Mucra, tanto en el CBR al 100% M.D.S. como en el CBR al 95% del M.D.S.; el CBR al 100% del M.D.S en la Cantera Rosario es de 58.1% a 0.1 pulgadas, mientras que en la Cantera Mucra es de 49.0%. Estas diferencias sugieren que la calidad y la resistencia del suelo son superiores en la Cantera Rosario 02. Asimismo, se presenta el CBR con cemento y aditivo, los hallazgos adquiridos de las pruebas de CBR realizados en las Canteras Mucra y Rosario 02 indican que la incorporación de cemento Andino Tipo I junto con el aditivo químico IONICSOIL en diferentes proporciones mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo. Tanto con un contenido de cemento del 1.60%, 1.50 % como del 1.40%, los valores de CBR superan consistentemente el 100%, lo que sugiere una excelente resistencia del suelo a cargas aplicadas. Estos hallazgos respaldan la efectividad de utilizar cemento Andino Tipo I y aditivo químico IONICSOIL como estabilizantes del suelo. La capacidad mejorada del suelo para soportar cargas contribuirá a la resistencia y seguridad de las construcciones sobre este suelo estabilizado.

3. Resultados Estadísticos

Se realizó 07 ensayos de CBR Utilizando de 1.6% de cemento y 0.15 L/M3 de aceite sulfonado, para el análisis estadístico prueba t-Student, sobre el diseño de suelo estabilizado en las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento.

Tabla 7

Verificación de los 7 ensayos con la dosificación óptima de cemento y aceite sulfonado IONICSOIL en relación al CBR, muestra con Cemento Andino Tipo I - Aditivo químico.

ENSAYOS	Cantera MUCRA		Cantera ROSARIO 02	
	CBR al 100% de MDS a 0.1"	CBR al 95% de MDS a 0.1"	CBR al 100% de MDS a 0.1"	CBR al 95% de MDS a 0.1"
1	105.3	91.4	107.5	87.1
2	104.6	83.8	108.9	86.7
3	105.4	88.5	108.2	83.0
4	106.6	92.4	105	84.4
5	104.0	89.9	106.2	88.3
6	103.9	93.3	105.7	84.6
7	104.4	92.0	107.1	83.0

Nota: Los valores presentados se obtuvieron mediante pruebas de laboratorio realizadas en muestras de las Canteras Mucra y Rosario 02.

Tabla 8

ENSAYOS	Cantera Mucra	Cantera Rosario 02
	CBR al 100% de MDS a 0.1"	CBR al 100% de MDS a 0.1"
1	105.3	107.5
2	104.6	108.9
3	105.4	108.2
4	106.6	105.0

5	104.0	106.2
6	103.9	105.7
7	104.4	107.1
DATOS		
ni =	7.0	7.0
Mínimo	103.9	105.0
Máximo	106.6	108.9
\bar{x} =	104.9	106.9
s^2 =	0.91	1.94
s =	0.95	1.39
P-valor	0.000	0.000

Nota: tabla a ser sometido a la prueba de t de student utilizando los resultados de CBR al 100% de MDS a 0.1” al igual se muestra los datos que serán aplicados en las fórmulas del t de student.

Contrastación de hipótesis general cantera Mucra

$H_0 : \bar{x}_{Mucra} < 100$ El valor del CBR de MDS a 0.1 de la cantera Mucra es menor al valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

$H_a : \bar{x}_{Mucra} > 100$ El valor CBR de MDS a 0.1 de la cantera Mucra es mayor al valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

Nivel de Significancia

$\alpha = 0,05$; el nivel de error del 5% y 95% de confianza en la investigación.

Estadístico de prueba para muestras independientes

Tabla 9*Prueba de muestra única CANTERA MUCRA*

	Valor de prueba = 100					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CBR	13,565	6	,000	4,88571	4,0044	5,7670

Nota: En la tabla 9 se muestra la confianza al 95% en la investigación y nivel de error del 5%, encontrándose que existe una relación alta positiva, reflejando así relación alta entre el diseño de suelo estabilizado para las canteras Mucra aplicando el aceite sulfonado y cemento.

Decisión

Hay suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis alterna ($p\text{-valor } 0.000 < 0.05$) lo que nos indica que el valor del CBR de MDS a 0.1 de la cantara Mucra es mayor que el valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

Contrastación de hipótesis general cantera Rosario 02

$H_0 : \bar{x}_{Mucra} < 100$ El valor del CBR de MDS a 0.1 de la cantera Rosario 02 es menor al valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

$H_a : \bar{x}_{Mucra} > 100$ El valor CBR de MDS a 0.1 de la cantera Rosario 02 es mayor al valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

Nivel de Significancia

$\alpha = 0,05$; el nivel de error del 5% y 95% de confianza en la investigación.

Estadístico de prueba para muestras independientes

Tabla 10

Prueba de muestra única CANTERA ROSARIO 02

	Valor de prueba = 100					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
CBR	13,201	6	,000	6,94286	5,6560	8,2298

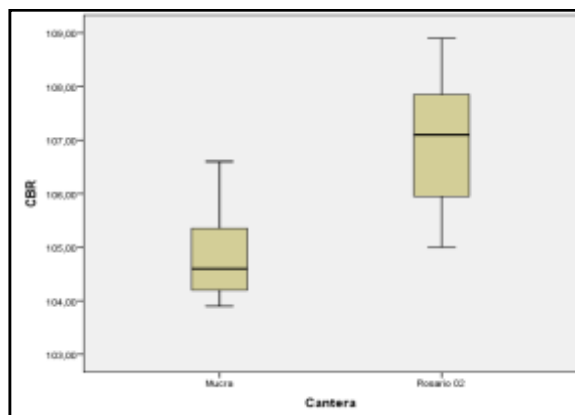
Nota: En la tabla 10 se muestra la confianza al 95% en la investigación y nivel de error del 5%, encontrándose que existe una relación alta positiva, reflejando así relación alta entre el diseño de suelo estabilizado para la cantera Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento.

Decisión

Hay suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis alterna ($p\text{-valor } 0.000 < 0.05$) lo que nos indica que el valor del CBR de MDS a 0.1 de la cantera Mucra es mayor que el valor del CBR al 100% de MDS a 0.1.

Figura 11

Gráfico del análisis con la prueba t de student. Hay suficiente evidencia para aseverar que el diseño de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento mejora significativamente con ($p < 0.05$) las cualidades del suelo de las canteras de Mucra y Rosario 02.



4. Discusión

El análisis t-Student revela que el diseño de suelo estabilizado con 1.6% de cemento y 0.15 L/m³ de aceite sulfonado mejora significativamente las propiedades del suelo en las canteras Mucra y Rosario 02. Hay suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis alterna (p -valor $0.000 < 0.05$) lo que nos indica que el valor del CBR de MDS a 0.1 de la cantera Mucra y Rosario 02 es mayor que el valor del CBR al 100% de MDS a 0.1. Esto evidencia que el diseño de suelo estabilizado muestra la confianza al 95% en la investigación y nivel de error del 5%.

El análisis de los ensayos de CBR en las Canteras Mucra y Rosario 02 indica que la mezcla de cemento Andino Tipo I y el aditivo químico IONICSOIL en varias proporciones incrementa de manera notable la capacidad de soporte del suelo. Con niveles de cemento del 1.40%, 1.50% y 1.60%, los valores de CBR consistentemente superan el 100%. Los resultados obtenidos revelaron mejoras notables en comparación con el estado inicial. El índice del CBR al 100% M.D.S (0.1") en la cantera Rosario 02 aumentó de un 58.1% a un 107.6%, 106.8% y 109.6%.

En la Cantera Mucra, el aditivo redujo el IP a 7%, 6% y 5%, indicando menos plasticidad. En la Cantera Rosario 02, el IP bajó a 4%, pero la conversión a No Plástico puede afectar la cohesión. La combinación más adecuada para incrementar la capacidad de soporte del suelo y mantener un % IP aceptable en ambas canteras parece ser: 1.60% de Cemento Andino Tipo I y 0.15 L/m³ de aditivo químico IONICSOIL, que logra un CBR superior al 100% y un IP dentro de los límites aceptables con costos más bajos. Estos resultados respaldan la efectividad del cemento Tipo I y Aceite sulfonado como estabilizantes del suelo. En conclusión, su uso es altamente efectivo.

Tabla 11*Cuadro comparativo de costos según metodologías para un pavimento básico*

Datos	Cantera Mucra	Cantera Rosario 02	Afirmado	Base Granular
Aditivo Químico l/m^3	0.15 Ionicsoil	0.15 Ionicsoil		
Cemento (%)	1.6	1.6		
CBR al 100% MDS a 0.1"	105.4	107.6	40	100
Espesor (m)	0.15	0.15	0.3	0.2
Ancho C	4.5	4.5	4.5	4.5
Longitud (m)	1	1	1	1
Volumen (m^3)	0.675	0.675	1.35	0.9
Costos (m^3)	85.4	85.4	45.6	80.3
Costos metro lineal	59.913	59.913	61.56	72.27

Nota: Los costos presentados se obtuvieron mediante el análisis de precios unitarios realizadas en el proyecto, del corredor vial 06 A. El costo de la base estabilizada con aceite sulfonado y cemento es un 5.98 % mayor al costo de la base granular, sin embargo, esta alternativa es más económica con respecto al estabilizado únicamente con cemento. Haciéndola así una de las alternativas más convenientes para trabajos de bases estabilizadas.

El análisis del costo de estabilización con aceite sulfonado y cemento es S/ 85.4 por metro cúbico, (analizado para 01 km con ancho de 4.5 mts. y espesor de 0.15 se tiene un volumen total de 675 m^3 .), mientras que solo con material granular procedente de cantera su costo es de S/ 45.6 por metro cúbico, (para una longitud de 01 km con un espesor de 0.30 mts., y ancho de 4.5 mts. Su volumen es de 1350 m^3), resultando en un ahorro de S/ 3.915.00 por una longitud de 01 km., esta diferencia representa un ahorro significativo debido al menor volumen a estabilizar.

Estos hallazgos son similares a los de Barreto & Taco (2021) destacó que el empleo de agentes estabilizadores, tales como el aceite sulfonado y el cemento Portland tipo I, mejoran significativamente en las características físicas y mecánicas del suelo y reduce costos; el uso de agentes estabilizadores como el aceite sulfonado y el cemento Portland tipo I resulta ser una opción más económica para la construcción de carreteras afirmadas. Mientras que estabilizar el afirmado con estos materiales cuesta S/. 87.51 por metro cúbico, hacerlo sin estabilizantes alcanza S/. 125.24 por metro cúbico, lo que muestra una clara diferencia en los costos; cuando se estabiliza un afirmado que no cumple con las especificaciones técnicas y se encuentra cerca del lugar de trabajo, el proceso es más barato que traer un afirmado de mejor calidad, pero ubicado más lejos. Esto se debe a que el transporte de materiales desde lugares distantes implica costos adicionales significativos. Por otro lado, los hallazgos Hurtado & Ortega (2021) revelaron que la combinación de 0.32 lt/m³ de aceite de sulfonado y 65 kg/m³ de cemento generó un CBR del 270%, superando significativamente el estándar del 100%. Concluyeron que esta dosificación es la más efectiva para estabilizar el suelo. Por su parte para Gómez & Silva (2020) resalta la eficacia de la combinación de cemento y aceite sulfonado en la mejora de las características mecánicas de las vías y su importancia en la estabilización de carreteras. Determina que la combinación óptima es de 3.5% de cemento y 0.30 litros por metro cúbico de aceite sulfonado para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

Almonacid (2019) en su investigación utilizando como estabilizante cal y ceniza de quinua logro incrementar el CBR, resultados que coinciden con la presente investigación, se destaca que el Índice de Soporte California (CBR) mostró incrementos significativos en ambos trabajos, indicando mejoras en la capacidad de soporte del suelo tratado. Sin embargo, las diferencias radican en cómo afectaron los estabilizantes al Índice de Plasticidad (IP): mientras que en la

estabilización con cal y ceniza de quinua se observó un aumento en el IP del suelo, en la estabilización con Andino Tipo I y aditivo IONICSOIL se logró una reducción sustancial del IP. Estas variaciones son atribuibles a las diferentes propiedades químicas y modos de acción de los estabilizantes utilizados, así como a las condiciones específicas de los sitios de estudio. Las implicaciones prácticas subrayan la importancia de seleccionar cuidadosamente el tipo de estabilizante según los objetivos del proyecto, optimizar las dosificaciones para equilibrar resistencia y plasticidad controlada, y cumplir con normativas técnicas para garantizar la calidad y durabilidad de las infraestructuras construidas.

Arapa (2023) su estudio evaluó la estabilización de la subrasante con piedra chancada $\frac{3}{4}$, demostrando mejoras en la resistencia del suelo y beneficios económicos frente a métodos convencionales, su análisis costo-beneficio fue tomando en cuenta 998 metros de pavimento. El costo de la mezcla de piedra chancada (25% piedra chancada de $\frac{3}{4}$ " y 75% material propio) para esta longitud fue de S/. 49,480.70. En comparación, el costo de afirmado para subrasante para la misma extensión de pavimento fue de S/. 94,230.08. Esto muestra que la mezcla de piedra chancada es más económica en comparación con el afirmado para la subrasante, con una diferencia de S/. 44,749.38 entre ambos métodos.

Pari & Villalba (2022) en su investigación utilizaron relave minero como estabilizante, obteniéndose resultados variables en el Índice de Plasticidad (IP): Calicata N° 01 mostró valores de 18.26% (suelo natural), 18.17% (5% relave), 17.86% (10% relave), y 16.01% (15% relave), mientras que la Calicata N° 03 presentó 18.52% (suelo natural), 18% (5% relave), 17.58% (10% relave), y 15.35% (15% relave), con la Calicata N° 02 siendo no plástica en todas las condiciones. Sus valores de CBR variaron entre 4.9% y 7.51% para el suelo natural y entre 5.5% y 7.85% con relave. En contraste, con la presente investigación donde se utilizó Cemento Andino Tipo I y

aditivo químico IONICSOIL, el IP: Cantera Mucra reportó reducciones a 7%, 6%, y 5%, y Cantera Rosario 02 alcanzó un IP de 4% y no plástico. El CBR mostró mejoras sustanciales, superando el 100% en algunas muestras, demostrando una capacidad de soporte mejorada. Estas diferencias destacan la efectividad superior del Cemento Andino Tipo I y IONICSOIL en comparación con el relave minero para estabilizar el suelo. Las implicaciones prácticas de estos hallazgos destacan la importancia de seleccionar cuidadosamente los estabilizantes basados en la composición del suelo y los objetivos del proyecto, asegurando así resultados consistentes y optimizados en términos de estabilidad, capacidad de soporte y durabilidad de las estructuras construidas.

El método de estabilización con cemento Andino Tipo I y aceite sulfonado representa una opción intermedia en términos de costos, pero destaca por su efectividad en mejorar el soporte del suelo ($\text{CBR} > 100\%$) y reducir el Índice de Plasticidad. Este balance entre costos y resultados técnicos lo convierte en una alternativa competitiva frente a métodos más económicos, como el uso de relaves, que presentan limitaciones en el rendimiento mecánico.

Se recomienda considerar la combinación de cemento Andino Tipo I y aditivo químico IONICSOIL para la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura en las Canteras Mucra y Rosario 02, lo que posiblemente conduzca a una notable mejora en el desempeño de las obras civiles en esta área.

Es crucial destacar que las condiciones de humedad juegan un papel fundamental en la efectividad de estabilizantes como el aceite sulfonado y el cemento en la construcción de suelo estabilizado. La cantidad adecuada de agua es esencial para la hidratación del cemento y la reacción química con el aceite sulfonado. Un exceso de humedad puede hacer que el suelo sea demasiado plástico o pegajoso, dificultando la mezcla y la compactación, mientras que la falta de humedad puede dificultar la distribución uniforme de los materiales. Además, las condiciones de

humedad durante el proceso de curado impactan significativamente en la resistencia final del material estabilizado, afectando directamente las propiedades mecánicas buscadas. Por lo tanto, controlar cuidadosamente la humedad a lo largo de estos procesos es crucial para asegurar resultados óptimos en la construcción de suelo estabilizado.

La humedad juega un rol determinante por la influencia en el diseño y desempeño del tipo de estabilizante. Debido a ello se debe tener en consideración trabajar con una variación del óptimo contenido de humedad en $\pm 1.5\%$. Adicionalmente, una vez realizado el estabilizado en campo se deberá prestar mucho cuidado con el factor clima, por decir cuando este en una temperatura por debajo de 24°C , se respete las recomendaciones de diseño, sin embargo, cuando la temperatura este por encima de 27°C se debe agregar agua entre 1% a 2% adicional según lo requerido y los controles de humedad en campo.

A pesar de los avances, hay una falta de estudios que analicen a fondo el impacto a largo plazo de esta mezcla en la durabilidad de las estructuras y su resistencia a condiciones ambientales extremas, como variaciones de temperatura y humedad.

5. Limitaciones

Limitaciones en la Aplicabilidad del Método de Estabilización según Condiciones Geográficas y Propiedades del Suelo: Este estudio se desarrolló y aplicó en una zona entre 3000 a 3800 msnm, en la serranía peruana. Teniendo en cuenta la normativa vigente sobre estabilizados, el aceite sulfonado se puede utilizar entre 0 a 4800 msnm, dependiendo de la zona (costa, sierra, selva baja, ceja de selva y selva alta). Sin embargo, se tiene una limitación en referencia al tipo de suelo o agregado a estabilizar; ya que, solo se puede utilizar esta metodología con agregados y/o suelos naturales que tengan un Límite Líquido < 40 y un IP entre 6% a 12%. También, considerar

que de tenerse un agregado o suelo natural con una expansión superior al 0.5% y zonas donde haya excesiva humedad se deba considerar otra alternativa de estabilización, como sales o cal.

Generalización de Resultados: Los resultados obtenidos del uso de cemento Andino Tipo I y el aditivo químico IONICSOIL son relevantes para las condiciones específicas de las canteras Mucra y Rosario 02, pero no se puede garantizar que estos hallazgos se apliquen de la misma manera en otras ubicaciones con características de suelo y clima diferentes. Implicaciones: Esto significa que, aunque los resultados sean prometedores en estas áreas, se requiere más investigación en otras ubicaciones geográficas para verificar la aplicabilidad de la metodología.

Durabilidad a Largo Plazo: Aunque se logró una mejora significativa en la capacidad portante del suelo (CBR superior al 100%) con la dosificación específica de cemento y aditivo, la durabilidad a largo plazo del suelo estabilizado aún no ha sido evaluada. Implicaciones: Se recomienda realizar estudios de seguimiento para evaluar cómo se comportan las estructuras estabilizadas a lo largo del tiempo, ya que factores como las condiciones climáticas extremas o el tráfico pueden afectar la estabilidad estructural.

Impacto Ambiental Completo: Aunque se ha discutido la rentabilidad y eficacia de la estabilización utilizando cemento y aditivos, no se ha realizado una evaluación completa del impacto ambiental. Implicaciones: Es fundamental evaluar el impacto ambiental del proceso, que incluye la extracción de recursos naturales, las emisiones generadas durante la fabricación y transporte de materiales y la gestión de los residuos derivados de la estabilización. Sin una evaluación completa, no se puede garantizar que esta técnica sea completamente sostenible a largo plazo.

Variabilidad de Resultados: Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio y campo en condiciones controladas pueden no reflejar completamente las variaciones naturales en

las condiciones del sitio de construcción. Implicaciones: Factores como variaciones climáticas, condiciones del suelo y aspectos logísticos pueden influir en la efectividad de la estabilización, lo que implica que los resultados no sean consistentes en todas las circunstancias.

Consideraciones Económicas: Aunque se ha señalado que el uso de menores cantidades de aditivos reduce significativamente los costos, las condiciones económicas pueden cambiar con el tiempo y variar según la ubicación. Implicaciones: La viabilidad económica de la estabilización podría verse afectada por fluctuaciones en el costo de los materiales o variaciones en los costos de transporte. Además, factores como la inflación o cambios en los precios del mercado local pueden influir en la economía del proceso a lo largo del tiempo.

Limitaciones de la Metodología: Las técnicas de prueba utilizadas en el estudio, aunque estándar, pueden tener algunas limitaciones en términos de precisión o la representatividad de las muestras seleccionadas. Implicaciones: Existen posibles márgenes de error en los métodos utilizados, lo que podría influir en los resultados y su capacidad para reflejar fielmente el comportamiento real del suelo estabilizado en condiciones más diversas o cambiantes.

6. Conclusiones

En conclusión, mediante la aplicación del cemento y aceite sulfonado la base estabilizada mejora significativamente las propiedades del suelo en las canteras Mucra y Rosario 02. Hay suficiente evidencia estadística con ($p < 0.05$), muestra la confianza al 95% en la investigación y nivel de error del 5%, reflejando así relación alta positiva entre el diseño de suelo estabilizado para las canteras aplicando el aceite sulfonado y cemento. Estos resultados sugieren que la aplicación de cemento y aceite sulfonado no solo optimiza las cualidades del suelo, sino que también

proporciona una base sólida para su utilización en proyectos de ingeniería civil, garantizando mayor durabilidad y rendimiento en las estructuras construidas.

El estudio demuestra que la combinación de Cemento Andino Tipo I y el aditivo químico IONICSOIL mejora significativamente el CBR en muestras tratadas a una profundidad de 0.1". Asimismo, se logró observar que el aditivo químico Ionicsoil tiene un efecto notable en la disminución del IP en ambas canteras; en la Cantera Mucra, el uso del aditivo en diferentes cantidades ha reducido el IP a valores entre 7%, 6% y 5%, lo que indica una disminución significativa en la plasticidad del suelo. En la Cantera Rosario 02, el IP disminuyó a 4% y NP (No Plástico) con el aditivo; un bajo índice de plasticidad puede indicar que el suelo es demasiado arenoso y puede no proporcionar la cohesión necesaria para un buen amarre del afirmado. El uso del aditivo ha tenido un impacto beneficioso en la disminución de IP; pero es importante considerar los límites para evitar que el suelo pierda su capacidad de cumplir con los requisitos del proyecto.

Se recomienda utilizar la combinación de cemento Andino Tipo I y aditivo químico IONICSOIL para mejorar el rendimiento de infraestructuras en las Canteras Mucra y Rosario 02. La dosificación específica de 1.60% de cemento Andino Tipo I y 0.15 L/m³ de aditivo IONICSOIL ha demostrado lograr un CBR superior al 100%, indicativo de una excelente capacidad de soporte y cumplimiento de requisitos de plasticidad. Esta opción es económica debido a que utiliza cantidades menores de aditivo, lo cual reduce significativamente los costos en comparación con las alternativas que requieren mayores cantidades. Además, garantiza la estabilidad necesaria para el pavimento, asegurando así un resultado óptimo y rentable para el proyecto.

En conclusión, El análisis del costo de estabilización con aceite sulfonado y cemento es S/ 85.4 por metro cúbico, (analizado para 01 km con ancho de 4.5 mts. y espesor de 0.15 se tiene un volumen total de 675 m³.), mientras que solo con material granular procedente de cantera su costo

es de S/ 45.6 por metro cúbico, (para una longitud de 01 km con un espesor de 0.30 mts., y ancho de 4.5 mts. Su volumen es de 1350 m³), resultando en un ahorro de S/ 3,915.00 por una longitud de 01 km., esta diferencia representa un ahorro significativo debido al menor volumen a estabilizar.

Estos resultados respaldan la efectividad de esta técnica para mejorar la capacidad de carga y estabilidad de carreteras, sugiriendo su aplicación en proyectos de construcción y mantenimiento de infraestructuras viales. Para futuras investigaciones, se recomienda evaluar más a fondo la integración de esta combinación en diseños de infraestructura para optimizar aún más su rendimiento y durabilidad.

Estas conclusiones sugieren aplicaciones prácticas en proyectos de pavimentación y obras de infraestructura donde se requiera estabilización del suelo. Para futuras investigaciones, se recomienda optimizar las proporciones de cemento y aditivo para mejorar aún más el CBR y realizar estudios a largo plazo sobre el comportamiento del suelo tratado bajo diferentes condiciones ambientales y de carga.

7. Lista de Referencias

Almonacid Roman, I. M. (2019). Estabilización de subrasante mediante cal y ceniza de quinua en suelos del centro poblado Viñas, Tayacaja, Huancavelica. In *Universidad Peruana Los Andes*.

https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/1916/TSP037_45546392_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arapa Jove, B. R. (2023). *Estabilización de la sub rasante de la circunvalación nueva utilizando piedra chancada de 3/4" en la ciudad de Juliaca.*

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/111476/Arapa_JBR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias Gonzáles, J. L., Holgado Tisoc, J., Tafur Pittman, T. L., & Vasquez Pauca, M. J. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis (1ª*

- ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.
<https://doi.org/https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Barreto Garcia, J. M., & Taco Cevallos, J. A. (2021). Estabilizacion de base granular con aceite sulfonado y cemento Portland tipo I del camino Vecinal “Huasahuasi - Hacienda Calla”, Tarma - Junin, KM 3+000 KM 4+000. In *Universidad Ricardo Palma*.
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4934>
- Chunhui, L., Qing, Z., Chaoqun, Z., Lijun, D., & Qinghe, F. (2023). Assessment of strength development of soil stabilized with cement and nano SiO₂. *Construction and Building Materials*, 409, 133889. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133889>
- Fujun, M., Bin, W., Qian, Z., Deshan, C., Qingbing, L., Changsheng, P., Fasheng, L., & Qingbao, G. (2018). An innovative method for the solidification/stabilization of PAHs-contaminated soil using sulfonated oil. *Journal of Hazardous Materials*, 344, 742–748.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.11.015>
- Gómez Avila, A. J., & Silva Navarro, E. E. (2020). Influencia del aceite sulfonado y cemento Portland Tipo I en la estabilización de la vía Huaylillas - Buldibuyo en la Provincia de Pataz, 2020. In *Universidad Privada del Norte*.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25225>
- Gómez Bastar, S. (2012). Metodología de la Investigación. In *Red Tercer Milenio S.C.* (Primera Ed).
http://librodigital.sangregorio.edu.ec/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=9404
- Guillen Quintanilla, M. (2018). *Estabilización con la adición de cal a los suelos de la Cantera “Ventilla” del Km 45+000 de la Construcción de la Autopista Puno - Juliaca* [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_d77931458ee6abb07f29a3a353509949
- Hurtado Pérez, A. A., & Ortega Alhuay, A. (2021). *Estabilización del afirmado con aceite sulfonado y cemento para el diseño vial en Soccos, Ocobamba, - Chincheros, Apurímac - 2021* [Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84320>
- Ipanaque Carrasco, E. D. (2022). Influencia del aditivo aceite sulfonado para estabilización de subrasante en los accesos del puente Santa Rosa, ubicado en el Distrito y Provincia de

- Huanta, Huancavelica, Perú, 2021. In *Universidad Nacional de Piura*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUMP_3b5b66d76cc79727afd3d92176f780f9
- Llano, E., & Restrepo, G. (2022). Efecto del intemperismo sobre las propiedades fisicoquímicas, el desempeño y la durabilidad de suelos viales aditivados con estabilizantes químicos. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 3(1), 2–15. <https://doi.org/10.54021/seesv3n1-001>
- Manrique Reynaga, J. F. (2021). Aplicación de aceite sulfonado para mejorar la subrasante en la Avenida “La Cultura” distrito de Pacucha, Andahuaylas, Apurímac - 2020. In *Universidad César Vallejo*. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_6024b59576d101b07967f2de639f5621
- Pacheco Moya, Y. L. (2023). *Aceite sulfonado con cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante*. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5902>
- Pari Aza, S. V., & Villalba Lopez, L. W. (2022). *Estabilización de la subrasante usando relave de la Mina Rinconada para la Avenida San Martín, Juliaca, Puno - 2022*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92894>
- Ponce Crispín, D. K. (2018). Uso del cloruro de calcio para estabilización de la subrasante en suelos arcillosos de la avenida Ccoripaccha - Puyhuan grande – Huancavelica. In *Universidad Nacional De Huancavelica*. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/cc5379dfd22-480b-b293-8dff0008ec0>
- Pooria, G., & Navid, R. (2018). Clayey soil stabilization using geopolymer and Portland cement. *Construction and Building Materials*, 188, 361–371. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.207>
- Quispe Ponce, H. E. (2020). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un afirmado natural y estabilizado con cemento reciclado al 2%, 4% y 6% para base, Los Olivos - 2020. In *Universidad Privada del Norte*. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25464/Quispe_Ponce%2C_Henry_Eloy.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Romero Villajuan, I. M. (2022). Estabilización de suelos con aditivos químicos para disminuir la infiltración del agua en la capa granular de un pavimento económico. In *Universidad*

Nacional

Federico

Villarreal.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNF_3b639a096baffb160882c22c6b90380f

Ruiz Huaraz, C. B., & Valenzuela Ramos, M. R. (2022). Metodología de la investigación. In *Fondo Editorial* (Primera Ed).

<https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/download/4/5/13?inline=1>

Shah, S. H. A., Habib, U., Mohamed, A., Aziz, M., Rehman, Q. ur, & Saleem, A. (2022). Laboratory and In Situ Stabilization of Compacted Clay through Granite Waste Powder. *Sustainability*, 14(14459). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su142114459>

Tinedo Flores, J. M., & Sandoval Chiroque, J. G. (2022). Estabilización de suelo con cemento portland con adición de aceite sulfonado en vías no pavimentadas en zonas rurales - Piura. In *Universidad César Vallejo*.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/89410/Sandoval_CJG-Tinedo_FJM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Xue, Y., Ge, D., Lv, S., Zihao, J., Peng, L., Liu, D., & Xian, J. (2023). Mechanical Properties and Micro Mechanism of Early Strength Cement-Stabilized Macadam Under Variable Temperature Environment. *Social Science Research Network (SSRN)*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4594109>

Anexos

Anexo 1. Evidencia de sumisión del artículo a una revista indexada



Anexo 2. Resolución de expedito



“AÑO DE LA RECUPERACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA ECONOMÍA PERUANA”

RESOLUCIÓN N° 0075-2025/UPeU-FIA-CF

Lima, Ñaña, 11 de marzo de 2025

VISTO:

El expediente de los (las) bachilleres **Luis Clyver Apaza Jara** identificado(a) con código universitario N° 201612312 y **Rene Edgardo Nina Espirilla** identificado(a) con código universitario N° 201210091, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la sustentación de la tesis en formato artículo;

Que el Comité Dictaminador ha emitido su dictamen aprobando el informe de tesis titulado “Diseño de base estabilizada para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando aceite sulfonado y cemento”, presentado por los (las) bachilleres **Luis Clyver Apaza Jara** y **Rene Edgardo Nina Espirilla**, reuniendo de esta manera las condiciones previas para la declaratoria de expedito para la programación de la sustentación;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 11 de marzo de 2025, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

1. Declarar expedito a los (las) bachilleres **Luis Clyver Apaza Jara** y **Rene Edgardo Nina Espirilla**, para que sustenten la tesis en formato artículo titulada “Diseño de base estabilizada para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando aceite sulfonado y cemento”, conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, el 01 de abril a las 10:00 horas, en la modalidad presencial, en el Salón de Actos Wellesley Muir.
2. Designar el Jurado de Sustentación, encargado de gestionar la sustentación respectiva, el mismo que queda constituido por los siguientes miembros:

Presidente: Mg. Leonel Chahuares Paucar
Secretario: Mg. Herson Duberly Pari Cusi
Asesor: Mg. Gerardo William Pari Quispe
Vocal 1: Mg. Edwin Parillo Escarsena

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc
-Intermedio
-Jurado (04)
-Secretaría General
-Archivo

Anexo 3. Matriz Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
Problema General	Objetivo general	Hipótesis general		Tipo de investigación:
¿El diseño de base estabilizada para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento mejora las cualidades del suelo de las canteras Mucra y Rosario 02?	Realizar diseños de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento.	El diseño de suelo estabilizado para las canteras Mucra y Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado y cemento mejora las cualidades del suelo de las canteras Mucra y Rosario 02.	Estabilización de suelo <ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad • Granulometría • Límites de consistencia - LIMITE LIQUIDO LIMITE PLASTICO • Peso específico • Peso Unitario • CBR • Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados • Proctor Modificado • Estudio químicos • Sulfatos solubles 	Aplicada Enfoque de investigación: Cuantitativo Diseño de la investigación: Experimental Nivel de la investigación: Analítico Línea de Investigación: Diseño de infraestructura vial
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		Población, Muestra y Muestreo
<ul style="list-style-type: none"> • ¿El diseño de base estabilizada para la cantera Mucra; aplicando el aceite sulfonado más cemento, mejora las cualidades del suelo de la cantera Mucra? • ¿El diseño de base estabilizada para la cantera Rosario 02, aplicando el aceite sulfonado + cemento mejora las cualidades del suelo de la cantera Rosario 02? • ¿Cuál es la dosificación de aceite sulfonado más cemento en el suelo estabilizado de las canteras Mucra Y Rosario 02? 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de base estabilizada para la cantera Mucra; aplicando el aceite sulfonado + cemento. • Diseño de base estabilizada para la cantera Rosario 02; aplicando el aceite sulfonado + cemento. • Determinar la dosificación de aceite sulfonado más cemento en el suelo estabilizado de las canteras Mucra y Rosario 02. 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño de base estabilizada para la cantera Mucra; aplicando el aceite sulfonado + cemento, mejora las cualidades del suelo de la cantera Mucra. • El diseño de base estabilizada para la cantera Rosario 02 aplicando el aceite sulfonado + cemento, mejora las cualidades del suelo de la cantera Rosario 02. 		Población: La población está conformada por las canteras Mucra y Rosario 02. Muestra: La muestra está constituida por: La cantera Mucra y Rosario 02. Muestreo: No probabilístico

Anexo 4: Matriz de Operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIONES
Estabilización de suelos	Estabilización	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de humedad • Granulometría • Límites de consistencia <ul style="list-style-type: none"> ▪ Limite Liquido ▪ Limite Plástico • Peso específico • Peso Unitario • CBR • Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados • Proctor Modificado • Estudio químicos • Sulfatos solubles 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación. • Recolección de información (teoría). • Trabajo de Campo (muestras de suelo). • Trabajo de Laboratorio (ensayos). • Análisis de Ficha de Laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación de campo. • Fichas de Laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos de Laboratorio de Suelos.

Anexo 5. Fotografías realizando los ensayos



Muestra de suelo

Materiales para los ensayos





Ensayo análisis granulométrico por tamizado



Ensayo Sulfatos solubles



Equipo Utilizado para el Ensayo de abrasión en máquina de Los Ángeles



Ensayo de CBR, muestras sumergidas en agua



Ensayo de CBR