ATMIRE

Title	Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la av. Jacinto Ibarra, Huancayo
Item Type	http://purl.org/coar/resource_type/c_7a1f
Authors	Alhuay Munive, Juan Jose
Publisher	Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
Rights	http://purl.org/coar/access_right/c_abf2
Download date	2026-11-26 21:22:23
Item License	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Link to Item	https://hdl.handle.net/10757/689456

UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLVO DE RESIDUOS DE CAUCHO Y ESTABILIZADOR IÓNICO ISS2500 EN LA VÍA DE LA AV. JACINTO IBARRA, HUANCAYO

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Alhuay Munive, Juan Jose 0000-0002-5126-4925

ASESOR(ES)

Vásquez Najarro, Jimmy Alexis 0000-0003-4699-9502

Lima, 18 de febrero de 2026

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi madre, Lourdes, por su amor incondicional y apoyo incansable, que me han guiado y fortalecido en todo momento. A mi padre, Juan, por ser ejemplo de perseverancia y esfuerzo, siempre brindándome su ayuda para superar cada reto. A mi hermana Milagros, por su constante compañía y aliento, que han sido mi motor en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el Ing. Jimmy Alexis Vásquez Najarro, quien en su rol de asesor brindó una orientación y un respaldo permanente durante el desarrollo de esta tesis. Su paciencia, vasto conocimiento y disposición para aclarar cada una de mis dudas fueron esenciales para llevar este trabajo a buen puerto.

Extiendo también mi profundo agradecimiento a mi familia, quienes han sido mi mayor pilar y motivación en todo momento. Su confianza inquebrantable y palabras de aliento me impulsaron a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por su continuo respaldo durante el desarrollo de esta investigación. La disponibilidad de sus recursos académicos, su moderna infraestructura y un entorno de aprendizaje que fomenta la excelencia han sido clave para la culminación exitosa de este proyecto. Su compromiso con la formación integral de sus estudiantes ha sido fundamental para mi crecimiento tanto profesional como personal.

Resumen

La presente investigación propone la estabilización de suelos arcillosos mediante la adición de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500, aplicada en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo. Los suelos arcillosos presentan baja plasticidad, baja capacidad de soporte del suelo y sensibilidad a la humedad, lo que genera problemas como asentamientos diferenciales y deformaciones estructurales. Para abordar esta problemática, se realizaron ensayos experimentales que incluyeron análisis granulométricos, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR.

Los resultados indican que la adición de polvo de residuos de caucho mejora la cohesión del suelo y reduce su plasticidad, mientras que el estabilizador iónico ISS2500 incrementa su capacidad portante al modificar la estructura interna del material mediante procesos electroquímicos. La combinación óptima de aditivos permitió aumentar significativamente la resistencia del suelo, haciéndolo adecuado para su uso como subrasante en infraestructura vial.

Esta investigación demuestra la efectividad de estos métodos en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental mediante el aprovechamiento de residuos industriales. Los resultados obtenidos muestran una solución viable y económica para mejorar la durabilidad de carreteras en zonas con suelos problemáticos como Huancayo.

Palabras clave: Estabilización de suelos; polvo de residuos de caucho; ISS2500; arcillas de baja plasticidad; infraestructura vial.

Proposal for the Stabilization of Clay Soils Using Rubber Waste Powder and the Ionic Stabilizer ISS2500 on Jacinto Ibarra Avenue, Huancayo

ABSTRACT

This study proposes the stabilization of clayey soils through the incorporation of waste rubber powder and the ionic stabilizer ISS2500, applied to the roadway of Jacinto Ibarra Avenue in Huancayo. Clayey soils exhibit low plasticity, limited load-bearing capacity, and high moisture sensitivity, leading to issues such as differential settlements and structural deformations. To address these challenges, a series of experimental tests were conducted, including grain size distribution analysis, Atterberg limits, Modified Proctor compaction, and California Bearing Ratio (CBR) tests.

The results indicate that the inclusion of waste rubber powder enhances soil cohesion and reduces plasticity, while the ISS2500 ionic stabilizer increases the bearing capacity by modifying the internal soil structure through electrochemical processes. The optimal combination of these additives significantly improved soil strength, making it suitable for use as a subgrade in roadway infrastructure.

This research validates the effectiveness of these stabilization methods in enhancing the physical and mechanical properties of clayey soils, while also promoting environmental sustainability through the reutilization of industrial waste. The results obtained present a viable and cost-effective solution for improving pavement durability in regions with problematic soil conditions, such as Huancayo.

Keywords: soil stabilization; waste rubber powder; ISS2500; low-plasticity clays; roadway infrastructure.

Ingeniería Civil > u201412056_Alhuay Munive Juan Jose_PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLVO DE RESIDUOS DE CAUCHO Y ESTABILIZADOR IÓNICO ISS2500 EN LA VÍA DE LA AV. JACINTO IBARR

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%	15%	6%	6%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego 2025 Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Trabajo del estudiante	1%

Índice

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **12**

Realidad Problemática 12

Estado Del Arte 14

Formulación Del Problema 17

Justificación 17

Hipótesis 19

Objetivos 19

Objetivo General 19

Objetivos Específicos 19

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO **20**

2.1 Suelo Arcilloso 20

2.1.1 Propiedades Físicas y Químicas 20

2.1.2 Características Físicas del Suelo 21

2.2 Polvo de Residuos de Caucho (PRC) 21

2.2.1 Definición 21

2.2.2 Características 22

2.2.3 Uso del Caucho en la Ingeniería Civil 22

2.3 Estabilizador Iónico (ISS2500) 23

2.3.1 Definición 23

2.3.2 Funcionamiento 23

2.3.3 Aplicabilidad 26

2.3.4 Principales Usos 27

2.3.5 Ventajas y Beneficios 27

2.4 Estabilización de suelos arcillosos 27

2.4.1 Tipos de Estabilización 28

2.4.2 Estabilización de Suelos Arcillosos con Polvo de Residuos de Caucho 29

2.4.3 Estabilización de Suelos Arcillosos con Estabilizador Iónico ISS2500 30

2.5 Carreteras 30

2.5.1 Definición 30

2.5.2 Capas de una Carretera 31

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA 32

3.1 Características de la Investigación 32

3.1.1 Tipo de Investigación 32

3.1.2 Nivel de Investigación 32

3.1.3 Diseño de Investigación 32

3.1.4 Variables 33

3.1.5 Procedimiento de Investigación 33

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 37

4.1 Caracterización del Suelo Arcilloso 37

4.1.1 Ensayos al Suelo Natural 39

4.1.2 Límites de Atterberg 42

4.1.3 Clasificación de Suelos 44

4.1.4 Ensayos Proctor Modificado 44

4.1.5 CBR (California Bearing Ratio) 46

4.2 Determinación de las Dosificaciones de Polvo de Residuos de Caucho y Estabilizador Iónico ISS2500 47

4.2.1 Obtención de Polvo de Residuos de Caucho 48

4.2.2 Obtención de Estabilizador Iónico ISS2500 48

4.2.3 Dosificación de Estabilizador Iónico ISS2500 49

4.2.4 Dosificación de Residuos de Polvo de Residuos de Caucho 51

4.2.5 Dosificación de Mezclas del Suelo Natural con Estabilizador Iónico y Polvo de Caucho 52

4.3 Determinación de los Parámetros Físicos y Mecánicos del Suelo Arcilloso Natural y Estabilizado con Polvo de Residuos de Caucho y Estabilizador Iónico ISS2500 54

4.3.1 Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 3.5% de Polvo de Residuos de Caucho 55

4.3.2 Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 5% de Polvo de Residuos de Caucho 57

4.3.3 Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 10% de Polvo de Residuos de Caucho 59

4.3.4 Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 15% de Polvo de Residuos de Caucho 61
4.3.5 Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 3.5% de Polvo de Residuos de Caucho 63
4.3.6 Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 5% de Polvo de Residuos de Caucho 65
4.3.7 Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 10% de Polvo de Residuos de Caucho 67
4.3.8 Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 15% de Polvo de Residuos de Caucho 69

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 71

5.1 Resultados del Suelo Arcilloso 71
5.1.1 Análisis Granulométrico 71
5.1.2 Análisis Límites de Atterberg 71
5.1.3 Ensayo Proctor Modificado 71
5.1.4 Ensayo CBR (California Bearing Ratio) 72
5.2 Análisis de Resultados del Ensayo Proctor Modificado 72
5.2.1 Análisis del Contenido Óptimo de Humedad (OCH) 72
5.2.2 Análisis del Peso Unitario Seco 74
5.2.3 Análisis del Contenido Óptimo de Humedad (OCH) 77
5.2.4 Análisis Comparativo de los Resultados 79
5.3 Análisis de Resultados del Ensayo CBR (California Bearing Ratio) 80
5.3.1 Resultados del CBR al 95% de PSM 80
5.3.2 Resultados del CBR al 100% de PSM 82
5.3.3 Análisis Comparativo de los Resultados 84

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES 86

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES 88

REFERENCIAS 90

ANEXOS 94

Lista de Tablas

Tabla 1 Categorías de Subrasante 31
Tabla 2 Masa retenida por cada tamiz del suelo natural 39
Tabla 3 Distribución de finos y diámetro de partículas en función al tiempo 41
Tabla 4 Límites de Atterberg del suelo natural 43
Tabla 5 Ensayo de Proctor Modificado del suelo natural 44
Tabla 6 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del suelo natural 45
Tabla 7 Ensayo CBR del suelo natural 46
Tabla 8 Dosificaciones en investigaciones sobre el estabilizador iónico ISS2500 50
Tabla 9 Dosificaciones en investigaciones sobre el polvo de residuos de caucho 51
Tabla 10 Dosificaciones para la investigación 52
Tabla 11 Materiales y pesos utilizados 53
Tabla 12 Proporciones en las Mezclas 53
Tabla 13 Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC 55
Tabla 14 Contenido de Humedad (%) y peso unitario seco (kN/m^3) del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC 55
Tabla 15 Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 3.5 % PRC 56
Tabla 16 Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC 57
Tabla 17 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC 57
Tabla 18 Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC 58
Tabla 19 Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC 59
Tabla 20 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC 59
Tabla 21 Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC 60
Tabla 22 Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC 61
Tabla 23 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC 61
Tabla 24 Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC 62
Tabla 25 Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC 63
Tabla 26 Contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC 63
Tabla 27 Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC 64

Tabla 28 Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC 65
Tabla 29 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC..... 65
Tabla 30 Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC 66
Tabla 31 Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC 67
Tabla 32 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC..... 67
Tabla 33 Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC 68
Tabla 34 Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC 69
Tabla 35 Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC 69
Tabla 36 Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC 70
Tabla 37 Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC. 73
Tabla 38 Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC 75
Tabla 39 CBR al 95% del PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC..... 80
Tabla 40 CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC..... 82

Lista de Figuras

Figura 1 Composición química del Polvo de Residuos de Caucho (PRC) 22
Figura 2 Diagrama de flujo de procesos 34
Figura 3 Avenida Jacinto Ibarra 38
Figura 4 Obtención de muestra del suelo natural 39
Figura 5 Análisis Granulométrico_Tamizado de muestra del suelo natural 40
Figura 6 Análisis Granulométrico_Hidrometría de muestra del suelo natural 41
Figura 7 Ensayo de Límite Líquido de la Muestra Natural 42
Figura 8 Ensayo de Límite Plástico de la Muestra Natural 43
Figura 9 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del suelo natural 45
Figura 10 Ensayo de Proctor Modificado de la Muestra Natural 45
Figura 11 CBR de la Muestra Natural 47
Figura 12 Recipiente de polvo de residuos de caucho 48
Figura 13 Botella de estabilizador iónico ISS2500 49
Figura 14 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC 56
Figura 15 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco máximo (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC 58
Figura 16 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco máximo (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC 60
Figura 17 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC 62
Figura 18 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC 64
Figura 19 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC 66
Figura 20 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC 68
Figura 21 Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC 70
Figura 22 Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC 73

Figura 23 Variación (en porcentaje) del Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural.....74
Figura 24 Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC 75
Figura 25 Variación del Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural.....76
Figura 26 Curva de Compactación de 0.9 ml ISS2500 y Porcentajes Crecientes de PRC 78
Figura 27 Curva de Compactación de 1.2 ml ISS2500 y Porcentajes Crecientes de PRC 79
Figura 28 CBR al 95% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC 81
Figura 29 Variación del CBR al 95% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural.....81
Figura 30 CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC 83
Figura 31 Variación del CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural.....83

CAPÍTULO I:
INTRODUCCIÓN

Realidad Problemática

Los suelos arcillosos representan un desafío significativo en proyectos de ingeniería geotécnica debido a sus propiedades mecánicas y físicas particulares. Estos suelos, caracterizados por su alta plasticidad y comportamiento no lineal, generan dificultades que complican su uso en proyectos de infraestructura y edificaciones en distintos contextos geográficos. A nivel internacional, estudios como los de Mitchell y Soga (2005), desarrollados en Estados Unidos y Reino Unido, destacan que la susceptibilidad de estos suelos a cambios volumétricos, como el hinchamiento y la contracción, constituye un problema global. Dichos cambios dependen de las fluctuaciones en el contenido de humedad y afectan la estabilidad de estructuras en climas diversos.

La baja resistencia al esfuerzo cortante de los suelos arcillosos, ampliamente documentada por Murthy et al. (2002) en su obra escrita en India y revisada para contextos internacionales, subraya la importancia de mitigar este problema, ya que afecta tanto a países en desarrollo como a países desarrollados. Además, los asentamientos diferenciales derivados de la compresibilidad de estos suelos han sido identificados como un factor determinante en la aparición de fallas estructurales en proyectos de infraestructura a nivel global. De igual forma, Wood (1991), con base en investigaciones realizadas en Europa, señala que la baja permeabilidad de los suelos arcillosos incrementa los riesgos asociados a la acumulación de agua y el aumento de la presión de poros, lo que compromete la estabilidad de sistemas de contención y taludes.

En Perú, los suelos arcillosos presentan características geotécnicas que imponen significativas limitaciones en el desarrollo de proyectos de ingeniería civil. Su alta plasticidad, elevada compresibilidad y sensibilidad a las variaciones de humedad los convierten en materiales problemáticos que comprometen la estabilidad de edificaciones y obras de infraestructura (Hernández Aguilar et al., 2023).

En la ciudad de Chachapoyas, región Amazonas, la combinación de suelos arcillosos con formaciones calcáreas provoca fenómenos de subsidencia cárstica, asentamientos diferenciales y fracturas en edificaciones recientes. La falta de estudios geotécnicos detallados

y una planificación urbana desordenada agravan esta problemática, comprometiendo la sostenibilidad de nuevas construcciones (Núñez del Prado, 2018).

En la región de Ucayali, la ciudad de Pucallpa enfrenta problemas similares, donde los suelos arcillosos de alta plasticidad y compresibilidad se encuentran distribuidos en distritos como Yarinacocha y Manantay. Su susceptibilidad a la expansión, contracción y asentamientos diferenciales, agravada por las lluvias intensas de la región amazónica, afecta directamente la funcionalidad de edificaciones y carreteras, lo que hace necesario el uso de técnicas de cimentación especializadas (Hernández Aguilar et al., 2023).

En la región de Pasco, específicamente en el distrito de San Francisco de Yarusyacán, los suelos arcillosos de la carretera Lulicocha–Huancamachay presentan una baja capacidad portante debido a su composición geotécnica. Estas arcillas presentan problemas de compactación y resistencia insuficiente, afectando negativamente la funcionalidad de las infraestructuras construidas sobre ellas. Sin un tratamiento adecuado, los suelos arcillosos en esta región representan un riesgo considerable para la estabilidad de las obras civiles (Canta Chombo, 2023).

En la avenida Jacinto Ibarra, en el distrito de Chilca, Huancayo, se presentan problemas significativos debido a las propiedades geotécnicas del material arcilloso predominante en la zona. Este tipo de suelo, caracterizado por su baja plasticidad, baja capacidad de soporte y susceptibilidad a deformaciones bajo condiciones de humedad, provoca asentamientos diferenciales, dificultades en la compactación y deformaciones en el pavimento, comprometiendo la estabilidad de la vía. Actualmente, aunque parte de la avenida está asfaltada, algunos tramos permanecen sin pavimentar debido a la inestabilidad del suelo, lo que retrasa los trabajos de infraestructura (Quispe Chuquillanqui, 2020).

Las precipitaciones provocan la penetración de agua en las partes sin pavimentar, lo que agrava los problemas del suelo, disminuye la integridad estructural y acelera la degradación de las zonas pavimentadas. El comportamiento irregular del suelo complica su uso como base para el pavimento, lo que eleva los gastos de mantenimiento y reduce la vida útil de la infraestructura. Por lo tanto, es necesario utilizar procedimientos que mejoren las cualidades físicas y mecánicas del suelo, con el objetivo de maximizar su capacidad de carga y limitar las deformaciones. Esto es necesario para terminar de pavimentar la avenida y garantizar que la carretera sea funcional y duradera (Quispe Chuquillanqui, 2020).

Estado Del Arte

Adición de Polvo de Residuos de Caucho

La investigación titulada *"Experimental Study of the Mechanical Effect of a Clay Soil by Adding Rubber Powder for Geotechnical Applications"*, realizada por Álvarez et al. (2020), centrada en evaluar en qué medida la incorporación de polvo de caucho reciclado mejora las características físicas y mecánicas de los suelos arcillosos. El propósito principal del estudio fue investigar la viabilidad de utilizar caucho reciclado para aplicaciones geotécnicas, específicamente en la mejora de la subrasante de carreteras, debido a la necesidad de optimizar el rendimiento de suelos con características deficientes para proyectos viales. Para ello, se realizaron ensayos experimentales con distintas proporciones de polvo de caucho (1.5%, 2.5% y 3.5% del peso seco del suelo arcilloso), sometiendo las muestras a pruebas de laboratorio como el ensayo Proctor modificado, límites de Atterberg, caja de corte y el California Bearing Ratio (CBR), con el objetivo de medir la cohesión, el ángulo de fricción interna y la capacidad de soporte del suelo ante la penetración. Los resultados mostraron que la adición de caucho reciclado aumentó considerablemente la cohesión del suelo y mejoró su capacidad de soporte, alcanzando su mejor desempeño con una adición del 3.5%, donde el CBR incrementó en un 194%, logrando un valor de 9.4% (Álvarez et al., 2020). Este incremento permitió que el suelo arcilloso estabilizado cumpliera con los requisitos de una subrasante adecuada para carreteras según las normas de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), convirtiendo esta mezcla en una opción viable para aplicaciones geotécnicas sostenibles (Álvarez et al., 2020).

La investigación titulada "Stabilization of Expansive Soil Using Tire Rubber Powder and Cement Kiln Dust", realizada por Naseem et al. (2019), evaluó la efectividad del polvo de caucho como estabilizador en suelos expansivos mediante la combinación de 5% de polvo de caucho y 10% de polvo de horno de cemento (CKD) para mejorar propiedades geotécnicas clave como la plasticidad, la resistencia a la compresión y la densidad. Para ello, se llevaron a cabo ensayos de límites de Atterberg, resistencia a la compresión simple (UCS), compactación e índice de soporte California (CBR), además de análisis químicos y microestructurales mediante difracción de rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar los cambios estructurales del suelo tratado. Los resultados indicaron que la integración de polvo de caucho reduce la plasticidad del suelo y mejora su capacidad de carga. En términos

de resistencia, el UCS del suelo sin tratar fue de 379 kPa, aumentando en un 64% (621 kPa) con la integración de 5% de polvo de caucho, mientras que la combinación con 10% de CKD incrementó la resistencia en un 277%, alcanzando 1430 kPa. Asimismo, los ensayos de CBR mostraron que la mezcla de 5% de polvo de caucho y 10% de CKD logró un aumento significativo hasta 17.8%, lo que representa una mejora de casi 17 veces respecto al suelo original (CBR de 1.02%) (Naseem et al., 2019). Estos resultados evidencian que la combinación de polvo de caucho y CKD no solo estabiliza suelos expansivos, sino que también optimiza el diseño estructural de pavimentos al reducir la necesidad de espesores adicionales, ofreciendo una solución más eficiente y económica (Naseem et al., 2019).

La investigación titulada “An Experimental Study on the Effect of Tire Powder on the Geotechnical Properties of Clay Soils”, realizada por Akbarimeh y Aflaki (2018), destinado a evaluar el impacto de la incorporación de polvo de neumáticos en las características geotécnicas de los suelos arcillosos, enfocándose en suelos de baja plasticidad. El estudio analizó mejoras en los límites de Atterberg, la resistencia y la permeabilidad, aspectos fundamentales en ingeniería civil, al tiempo que propuso la reutilización de residuos de neumáticos como una solución ambientalmente sostenible. Se realizaron ensayos experimentales mezclando suelo arcilloso con distintas proporciones de polvo de neumático (5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% en peso), siguiendo la normativa ASTM D4318 para evaluar el límite líquido y el índice de plasticidad (Akbarimeh & Aflaki, 2018). Los resultados demostraron que la incorporación de polvo de neumático reduce significativamente la plasticidad del suelo, mejorando su trabajabilidad. La dosificación óptima se determinó en un 10%, ya que disminuyó el límite líquido y el índice de plasticidad sin afectar negativamente la resistencia del suelo. Aunque el aumento en la cantidad de polvo de neumático redujo la densidad máxima del suelo, el suelo modificado mantuvo una buena cohesión y resistencia en suelos de baja plasticidad, lo que lo hace viable para aplicaciones en construcción. En conclusión, la incorporación de un 10% de polvo de neumático ofrece el mejor equilibrio entre la mejora de la plasticidad y la trabajabilidad, manteniendo la resistencia estructural requerida y promoviendo una alternativa sostenible para la reutilización de residuos de neumáticos (Akbarimeh & Aflaki, 2018).

Adición de Estabilizador Iónico ISS2500

La investigación titulada "Analisis Ionic Soil Stabilizer (ISS2500) Terhadap Nilai Durabilitas Tanah Lempung Plastisitas Rendah Pada Perkerasan Jalan", realizada por Oktavia et al. (2021), tuvo como objetivo analizar los efectos del estabilizador iónico ISS2500 en la durabilidad y capacidad de carga de suelos arcillosos con baja plasticidad, especialmente en su aplicación en pavimentos. Se evaluó la eficacia de este aditivo químico bajo diferentes condiciones de humedad y temperatura, considerando suelos sensibles al agua empleados en la base de pavimentos flexibles. Para ello, se recolectaron muestras de suelos arcillosos de baja plasticidad en Karang Anyar, Lampung, Indonesia, y se trataron con distintas concentraciones de ISS2500 (0,6 ml, 0,9 ml, 1,2 ml y 1,5 ml). Posteriormente, se realizaron pruebas de durabilidad bajo ciclos de inmersión en agua (0, 2, 4 y 6 ciclos), utilizando el método del valor de CBR (California Bearing Ratio) para evaluar la capacidad de carga en condiciones secas y tras la exposición al agua (Oktavia et al., 2021). Los resultados demostraron que el ISS2500 mejora significativamente la capacidad de carga del suelo, permitiendo su uso como base en pavimentos. Aunque el valor de CBR disminuyó con el aumento de los ciclos de inmersión, los suelos estabilizados mantuvieron su durabilidad dentro de los requisitos normativos, superando el umbral del 5%. En particular, con una concentración de 0,9 ml de ISS2500, el CBR del suelo sin tratar, que inicialmente era del 15%, aumentó a 23,5% en condiciones secas, representando una mejora del 56,7% en la capacidad de carga del suelo. Estos hallazgos confirman la efectividad del ISS2500 como un estabilizador adecuado para mejorar la durabilidad y resistencia de suelos en aplicaciones de pavimentación (Oktavia et al., 2021).

La investigación titulada *"Hubungan Batas Cair dan Plastisitas Indeks Tanah Lempung yang Distabilisasi dengan ISS2500 terhadap Nilai Kohesi pada Uji Geser Langsung dan Uji Tekan Bebas"*, realizada por Manik et al. (2015), estudió la relación entre los límites líquidos, el índice de plasticidad y la cohesión en suelos arcillosos estabilizados con ISS2500, un estabilizador iónico. El objetivo del estudio fue determinar cómo estas propiedades influyen en la cohesión y el esfuerzo máximo del suelo al aplicar este aditivo. Se recolectaron muestras de suelo arcilloso en tres localidades de Lampung, Indonesia, las cuales fueron estabilizadas con diferentes concentraciones de ISS2500 (0,6 ml, 0,9 ml y 1,2 ml) y sometidas a pruebas de compresión no confinada y corte directo para evaluar su cohesión y esfuerzo máximo (Manik et al., 2015). Los resultados indicaron que el incremento en la cantidad de ISS2500 mejoró significativamente la cohesión y el esfuerzo máximo del suelo, siendo la dosificación de 1,2 ml

la que obtuvo los mejores valores, con una cohesión de 0,291 kg/cm² y un esfuerzo máximo de 0,509 kg/cm². Además, el límite líquido de las mezclas estabilizadas osciló entre el 42% y el 47% (Manik et al., 2015). Estos hallazgos confirman la efectividad del ISS2500 en la estabilización de suelos arcillosos, destacando que la concentración óptima de 1,2 ml mejora las propiedades mecánicas del suelo, incrementando su cohesión y capacidad de carga, lo que lo hace adecuado para su aplicación en proyectos de construcción sobre terrenos arcillosos (Manik et al., 2015).

Formulación Del Problema

¿Cómo influye el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos en la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo?

Justificación

Esta investigación aborda la problemática asociada a los suelos arcillosos, caracterizados por su baja capacidad de soporte y elevada deformabilidad, lo que representa un desafío significativo para la infraestructura vial en zonas como la Av. Jacinto Ibarra, en Huancayo. La justificación se estructura en tres ejes fundamentales:

Justificación del Problema

Los suelos arcillosos presentes en la Av. Jacinto Ibarra, en Huancayo, presentan una baja capacidad portante y alta sensibilidad a la humedad, condiciones que propician deformaciones y fallas estructurales en la infraestructura vial (Smith & Jones, 2020). Este estudio aboga por la estabilización del suelo a través de la integración de polvo de residuos de caucho y el estabilizador iónico ISS2500, tecnologías destinadas a mejorar la resistencia y la estabilidad del suelo independientemente de su grado de plasticidad. Se espera que esta combinación incremente la capacidad portante del suelo y reduzca su susceptibilidad a deformaciones, optimizando su desempeño en condiciones de carga vehicular (Augustin Fondjo et al., 2021).

Justificación Técnica

La propuesta metodológica se fundamenta en la aplicación combinada de polvo de residuos de caucho y el estabilizador iónico ISS2500, seleccionados por su efectividad en la mejora de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos. El polvo de caucho contribuye a reducir la deformación del suelo y mejorar su resistencia, haciéndolo más apto para soportar

cargas vehiculares y minimizar el desarrollo de patologías estructurales (Alvarez Benites & Gutierrez Gallegos, 2019). Paralelamente, el estabilizador iónico ISS2500 modifica la estructura mineralógica del suelo, disminuyendo su retención de agua y mejorando su compactación, lo que incrementa su estabilidad y durabilidad (Augustin Fondjo et al., 2021).

Investigaciones previas han demostrado que la combinación de estos elementos mejora significativamente las propiedades geotécnicas del suelo, haciéndolo más resistente a la deformación y menos vulnerable a las fluctuaciones ambientales. Además, su implementación es viable tanto técnica como económicamente, lo que permite la adaptación a las circunstancias geológicas y climáticas únicas de Huancayo (Oktavia et al., 2021).

Justificación Social

La estabilización de la vía Av. Jacinto Ibarra generará un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes de Huancayo, al mejorar la durabilidad y funcionalidad de la infraestructura vial, reduciendo los tiempos de traslado, los costos de transporte y los riesgos asociados al deterioro de la vía (Alvarez Benites & Gutierrez Gallegos, 2019). La integración del polvo de residuos de caucho mejora la sostenibilidad ambiental al reducir la acumulación de neumáticos en los vertederos y promover su reutilización en aplicaciones prácticas (Rodríguez Ramos & Patiño, 2017). Este enfoque sostenible, junto con la disminución de la necesidad de mantenimientos frecuentes, permitirá optimizar la asignación de recursos a otras prioridades comunitarias, contribuyendo así al desarrollo económico y social de la región (Oktavia et al., 2021).

Hipótesis

La aplicación de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 mejora el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos en la subrasante del tramo de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo.

Objetivos

Objetivo General

Determinar la influencia de la adición de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en el suelo arcilloso de la subrasante del tramo de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo.

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el suelo arcilloso de la av. Jacinto Ibarra, Huancayo, Junín.
2. Determinar las dosificaciones de las adiciones de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500.
3. Obtener los parámetros físicos y mecánicos del suelo arcillosos natural y estabilizado con adiciones seleccionadas.
4. Analizar los resultados obtenidos para identificar la opción más efectiva en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante del tramo la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo.

CAPÍTULO II:
MARCO TEÓRICO

2.1 Suelo Arcilloso

Los suelos arcillosos, caracterizados por contener partículas muy finas (menores a 0.002 mm), se distinguen por su cohesividad, lo que les confiere una alta plasticidad y capacidad para retener agua, aunque con baja permeabilidad. Estas propiedades hacen que dichos suelos tiendan a expandirse cuando absorben agua y a contraerse al perderla, lo que puede ocasionar asentamientos diferenciales y deformaciones en las estructuras construidas sobre ellos (Das, 2014).

De acuerdo con Das (2013), estos suelos están compuestos mayoritariamente por minerales como la caolinita, ilita y montmorillonita, los cuales influyen en su comportamiento plástico. No obstante, su baja permeabilidad y la tendencia a variar de volumen según el contenido de humedad suponen desafíos para la ingeniería civil, lo que hace necesario el uso de técnicas de estabilización y compactación para asegurar un rendimiento adecuado en proyectos de cimentación y pavimentación.

2.1.1 *Propiedades Físicas y Químicas*

Las arcillas son materiales de textura terrosa y grano muy fino que, al combinarse con agua, adquieren una plasticidad distintiva, lo que permite moldearlas en diversas formas y estructuras. Esta plasticidad se debe a la habilidad de sus partículas para reorganizarse cuando se aplica presión y conservar la forma una vez que la carga se libera.

Las arcillas, con partículas menores a 2 micrones, poseen cohesión, plasticidad y alta retención de agua, fundamentales en cimientos, terraplenes y estructuras impermeables. Químicamente, su composición incluye silicio (SiO_2), que aporta estabilidad estructural; aluminio (Al_2O_3), que refuerza la estructura y reduce la expansibilidad; magnesio (MgO), que aumenta la absorción de agua y la plasticidad; hierro (FeO, Fe_2O_3), que afecta la estabilidad y reactividad; potasio (K_2O), que limita la expansión; y sodio (Na_2O) y calcio (CaO), que favorecen el intercambio iónico. Estas características permiten su uso en estabilización de suelos, diseño de barreras impermeables y construcción de estructuras resistentes (Grim, 1953).

2.1.2 *Características Físicas del Suelo*

Los suelos arcillosos poseen propiedades esenciales que influyen en su comportamiento bajo cargas y cambios ambientales, siendo críticos para garantizar la estabilidad estructural. El peso volumétrico permite calcular la presión ejercida sobre estructuras subterráneas, mientras que el coeficiente de consolidación (Cv) determina la velocidad de reducción de volumen bajo carga, relevante en cimentaciones profundas para evitar asentamientos prolongados. El contenido de humedad afecta directamente la consistencia, resistencia y capacidad de compresión, ya que variaciones en la humedad pueden causar expansión o contracción (Mitchell & Soga, 2005).

El índice de plasticidad (PI) cuantifica la plasticidad, lo que facilita la clasificación de los tipos de arcilla y la predicción de su comportamiento, especialmente en arcillas expansivas como la montmorillonita, que pueden provocar problemas estructurales debido a su capacidad de expansión y contracción. La permeabilidad limitada de las arcillas restringe el drenaje, un factor esencial en el diseño de sistemas de contención de agua y control de aguas subterráneas. Los límites de Atterberg delimitan la uniformidad y la plasticidad en función del contenido de humedad, lo que ayuda a la categorización y a predecir el rendimiento en la construcción. Complementando esta caracterización, el ensayo granulométrico presentado en el Anexo 2 indica que el suelo cuenta con un contenido de arena del 30%. Finalmente, su alta compresibilidad y tendencia a asentarse bajo carga son factores determinantes en el diseño de cimentaciones para asegurar la estabilidad de las estructuras a largo plazo.

2.2 Polvo de Residuos de Caucho (PRC)

2.2.1 *Definición*

Los polvos de residuos de caucho, o gránulos de caucho reciclado, son subproductos del reciclaje de llantas usadas mediante trituración mecánica. Este procedimiento transforma los neumáticos en partículas finas de caucho, reutilizables en diversas aplicaciones, como en la pavimentación de carreteras mediante mezclas asfálticas modificadas. La utilización de este polvo ayuda a abordar la problemática ambiental de la disposición inadecuada de llantas, las cuales pueden tardar hasta un siglo en degradarse de manera natural y generan impactos negativos sobre el medio ambiente (Rodríguez Ramos & Patiño, 2017).

2.2.2 *Características*

El residuo de polvo de caucho cuenta con las siguientes especificaciones químicas identificadas en la Figura 1.

Figura 1

Composición química del Polvo de Residuos de Caucho (PRC)

Composición	Método de ensayo	Contenido (%)	
		Mínimo	Máximo
Extracto acetónico	UNE 53651	7,5	17,5
Cenizas	UNE 53543	-	18,5
Negro de carbono	UNE 53570	20,0	38,0
Azufre	ISO 6528-1 a 3	-	5,0
Caucho natural	ISO 5945	21,0	42,0

Nota. De "Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas", por Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente y CEDEX, 2007 (http://www.carreteros.org/normativa/firmes/pdfs/otros_pdf/si/manualnfu052007.pdf).

Según Espinosa Pilonieta y Quintero Vivas (2020), el tamaño ideal de las partículas del polvo de caucho para fines geotécnicas oscila entre 1 y 4 mm.

2.2.3 *Uso del Caucho en la Ingeniería Civil*

El uso de polvo de caucho derivado de neumáticos fuera de uso (NFU) ha cobrado importancia en la ingeniería civil y la geotecnia, particularmente en la construcción de infraestructura vial. En Perú, esta práctica es especialmente relevante debido a la necesidad de manejar los residuos de NFU de manera eficiente, minimizando su impacto ambiental y empleándolos como materiales en la construcción. En el contexto de carreteras y pavimentos peruanos, el polvo de caucho se utiliza principalmente en mezclas bituminosas, donde actúa como un aditivo que mejora las propiedades de los ligantes asfálticos, contribuyendo a la sostenibilidad de los proyectos de infraestructura vial.

El polvo de caucho se incorpora mediante dos métodos principales: la vía húmeda y la vía seca.

Método de vía húmeda. El caucho se mezcla previamente con el betún, creando un ligante de mayor viscosidad que incrementa la resistencia de las mezclas asfálticas a la fatiga y al envejecimiento, extendiendo así la durabilidad del pavimento en distintas condiciones climáticas y en carreteras con tráfico pesado (Ministerio de Fomento et al., 2007). La viscosidad adicional del ligante aporta cohesión en capas estructurales, mejorando su capacidad para soportar cargas cíclicas y el impacto del tráfico intenso (Ministerio de Fomento et al., 2007).

Método de vía seca. El polvo de caucho se añade directamente al mezclador junto con los agregados y el betún, funcionando parcialmente como agregado. Sus partículas finas se integran en la matriz asfáltica, mejorando las propiedades del pavimento, como su resistencia a la formación de roderas y su capacidad de reducir el ruido de rodadura, siendo ideal para zonas urbanas y carreteras de alta circulación, como las nacionales y regionales en Perú (Ministerio de Fomento et al., 2007).

Además de los beneficios en el rendimiento de los pavimentos, el uso de polvo de caucho en mezclas bituminosas contribuye al cuidado ambiental al reducir la cantidad de NFU que llega a los vertederos, evitando problemas como la contaminación del suelo y el riesgo de incendios. También ayuda a reducir el ruido en áreas urbanas y prolonga la vida útil de las carreteras, disminuyendo los costos de mantenimiento y las interrupciones en el tráfico (Ministerio de Fomento et al., 2007).

2.3 Estabilizador Iónico (ISS2500)

2.3.1 *Definición*

El estabilizador iónico, conocido como ISS2500 (Ionic Soil Stabilizer 2500), es un producto químico soluble en agua empleado en la construcción de carreteras utilizando materiales del lugar. Este estabilizador, completamente orgánico, proviene de azufre orgánico combinado con ácidos amortiguadores que forman bisulfatos. La aplicación de ISS2500 optimiza las propiedades físicas y mecánicas de suelos marginales al liberar el agua adsorbida en las partículas de arcilla. Esto reduce los espacios vacíos, permitiendo una compactación más firme que aumenta la resistencia al corte y la capacidad de carga de la capa estabilizada (Alhassan & Olaniyi, 2013).

2.3.2 *Funcionamiento*

La estabilización iónica de los suelos con ISS2500 inicia una secuencia de procesos químicos que alteran la estructura del suelo arcilloso, aumentando su estabilidad y capacidad

de soporte. Este proceso implica la eliminación del agua adsorbida, el intercambio iónico, la floculación de partículas y la síntesis de nuevos compuestos químicos (DSG SAC, 2015).

Composición Química del ISS2500 y su Acción sobre el Suelo. El ISS2500 es un compuesto químico que contiene resinas de intercambio iónico, resinas sulfonadas de petróleo, bisulfatos y ácidos tamponados en una solución oleosa soluble en agua (DSG SAC, 2015). Su formulación permite generar interacciones químicas con los minerales arcillosos, provocando una modificación estructural en el suelo. Siendo los principales componentes activos de ISS2500:

Ácidos bisulfatados y tamponados. Que reducen el pH del suelo y catalizan las reacciones de intercambio iónico.

Resinas sulfonadas de petróleo. Que facilitan la desagregación de partículas y alteran la hidratación de la arcilla.

Resinas de intercambio iónico. Que inducen el reemplazo de cationes en la estructura cristalina de los minerales arcillosos.

Eliminación del Agua Adsorbida y Reducción de la Expansión. Las partículas de arcilla poseen una estructura laminar con cargas negativas en su superficie, lo que les permite retener agua y expandirse en presencia de humedad (Gómez & Parra, 2015). El ISS2500 actúa alterando la interacción entre el agua y las arcillas mediante la disociación de moléculas de agua adsorbida (DSG SAC, 2015):

$$H2O \rightleftharpoons H + + OH -$$

Los iones hidronio (H_3O^+) generados por la acidez del ISS2500 neutralizan parcialmente las cargas negativas de las partículas de arcilla, reduciendo su capacidad de atracción de moléculas de agua y, por lo tanto, su expansividad (SOSMI SA, 2024).

Este proceso rompe la película de agua adsorbida en la arcilla, permitiendo su liberación y evaporación, lo que conlleva una reducción significativa en la plasticidad del suelo y el límite líquido.

Intercambio Iónico y Reestructuración de la Arcilla. Uno de los principales mecanismos de estabilización química inducidos por ISS2500 es el intercambio iónico. En suelos arcillosos, los cationes monovalentes como el sodio (Na^+) dominan la carga superficial de las partículas, generando una estructura expansiva debido a su alta hidratabilidad.

El ISS2500 introduce iones divalentes y trivalentes (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}) que desplazan a los cationes monovalentes, modificando la estructura de la arcilla. La reacción química se representa como:

$$\text{Arcilla-}Na^+ + Ca^{2+} \rightarrow \text{Arcilla-}Ca^{2+} + Na^+$$

Este reemplazo iónico reduce la capacidad de expansión de la arcilla, ya que los cationes divalentes tienen una menor afinidad por las moléculas de agua en comparación con el sodio. Además, el calcio y el magnesio promueven la aglomeración de partículas, generando una estructura granular más estable y menos plástica (Gómez & Parra, 2015).

Floculación y Formación de una Nueva Matriz Sólida. El ISS2500 induce un proceso de floculación, en el cual las partículas individuales de arcilla, que previamente se repelían debido a sus cargas negativas, se reorganizan en agregados más grandes y estables debido a la neutralización parcial de sus cargas. Este proceso genera una estructura más densa y menos permeable, favoreciendo la compactación del suelo**.**

$$\text{Arcilla floculada)} + Ca^{2+} \rightarrow \text{(Estructura compacta estable)}$$

Adicionalmente, la presencia de bisulfatos y resinas de intercambio iónico cataliza la formación de compuestos cementantes como silicatos, aluminatos y carbonatos de calcio, que refuerzan la matriz del suelo estabilizado.

Estos compuestos incrementan la resistencia mecánica y reducen la permeabilidad del suelo, mejorando su durabilidad frente a cambios ambientales (DSG SAC, 2015).

Irreversibilidad del Proceso Químico y Mejora de las Propiedades del Suelo. El proceso de estabilización química generado por el ISS2500 es permanente e irreversible, ya que la transformación de la estructura del suelo y la precipitación de compuestos cementantes impiden que el suelo retome su estado inicial. Una vez que el agua adsorbida es eliminada y los cationes son reemplazados, la arcilla no puede volver a su fase expansiva (SOSMI SA, 2024).

Los beneficios clave del ISS2500 en suelos arcillosos incluyen:

- Disminución del potencial de expansión y contracción**.**
- Aumento en la capacidad de carga y resistencia mecánica**.**
- Formación de una matriz estable que previene la infiltración de agua.
- Mejora de la compactación y reducción de vacíos estructurales (SOSMI SA, 2024).

El ISS2500 induce la disociación de las moléculas de agua adsorbida, activando iones H^+ y OH^-, lo que modifica la interacción del agua con los minerales del suelo. Este proceso facilita la liberación de iones metálicos, permitiendo su transferencia hacia el agua libre en la matriz del suelo. Como consecuencia, se genera un efecto electroquímico que favorece la aglomeración de partículas, incrementando su cohesión y estabilidad estructural a través de la formación de enlaces iónicos y cementantes. Finalmente, la compactación mecánica del suelo estabilizado resulta en un aumento del índice CBR (California Bearing Ratio), lo que reduce significativamente la formación de barro, baches, polvo y deformaciones en la superficie tratada (DSG SAC, 2015).

2.3.3 *Aplicabilidad*

Clasificación de Suelos Compatibles. En el sistema AASHTO**,** los suelos compatibles con el uso de ISS2500 son los de los tipos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7. Según la clasificación SUCS, los suelos aptos incluyen GM (gravas con limo), GC (gravas con arcilla), SM (arenas con limo), SC (arenas con arcilla), ML (limos de baja plasticidad), CL (arcillas de baja plasticidad), OL (limos orgánicos), MH (limos de alta plasticidad) y CH (arcillas de alta plasticidad). Estos tipos de suelo abarcan una gama de gravas, arenas, limos y arcillas y deben contener entre un 10% y un 90% de partículas finas.

Proceso de Aplicación. El proceso de aplicación del ISS2500 comienza preparando el suelo mediante un escarificado a unos 20 cm de profundidad, lo que facilita una penetración uniforme del estabilizador. Luego, se mezcla el ISS2500 con agua y se aplica en el área tratada para alcanzar la humedad óptima del tratamiento. Este estabilizador actúa disociando las moléculas de agua, lo que libera y activa los iones del suelo, generando una aglomeración electroquímica de las partículas. Esto permite que las partículas se unan, aumentando la estabilidad estructural del suelo.

La compactación posterior asegura que el suelo tratado alcance una densidad y capacidad de soporte más altas, lo que previene deformaciones en suelos altamente sensibles a la humedad, como las arcillas y limos, y optimiza su desempeño a largo plazo (DSG SAC, 2015).

2.3.4 *Principales Usos*

El ISS2500 resultó adecuado para su aplicación en infraestructura, específicamente como material de subrasante, así como en supraestructura, donde pudo emplearse en bases, sub-bases o capas de rodadura.

2.3.5 *Ventajas y Beneficios*

El ISS2500 optimizó la construcción de infraestructuras viales al reducir los movimientos de tierra, permitiendo el uso eficiente de los suelos disponibles y minimizando la necesidad de materiales adicionales para la formación de subrasantes, bases y capas de rodadura. Además, mejoró la impermeabilidad y estabilidad del suelo, proporcionando caminos duraderos y resistentes a deformaciones, baches y erosión, incluso en presencia de filtraciones subterráneas. Su aplicación disminuyó significativamente los costos de mantenimiento al reducir la frecuencia de intervenciones, el consumo de agua y el uso de maquinaria, al tiempo que minimizó la emisión de polvo en las vías. La facilidad de transporte y su alta concentración favorecieron su aplicación, siendo compatible tanto con agua salada como desalinizada. Finalmente, en comparación con los métodos convencionales de estabilización, el ISS2500 permitió un ahorro considerable en costos de materiales, transporte y mantenimiento de caminos (DSG SAC, 2015).

2.4 Estabilización de suelos arcillosos

La estabilización de suelos arcillosos consiste en mejorar las propiedades físicas del suelo mediante técnicas mecánicas o el uso de agentes químicos, ya sean naturales o sintéticos. Este proceso tiene como objetivo principal mejorar la resistencia del suelo y garantizar el mantenimiento de estas características a lo largo del tiempo. En suelos de subrasante que no cumplen con los requisitos necesarios, es común estabilizarlos con materiales como cemento, cal o asfalto. Esto permite obtener suelos más estables y duraderos, capaces de soportar la construcción de estructuras viales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014).

2.4.1 *Tipos de Estabilización*

Método Físico. La estabilización física de suelos arcillosos busca mejorar sus propiedades mecánicas sin el uso de aditivos químicos, enfocándose en optimizar la densidad y disminuir la plasticidad del suelo. Este proceso incrementa la estabilidad estructural frente a cargas y reduce las variaciones volumétricas, siendo esencial en proyectos geotécnicos. Entre los métodos más utilizados se encuentran:

Compactación mecánica. Utiliza maquinaria pesada para mejorar la densidad del suelo, lo que aumenta su resistencia y capacidad de carga, al tiempo que reduce su vulnerabilidad a la expansión y la contracción.

Control de humedad. Consiste en regular el contenido de agua en el suelo mediante técnicas de drenaje, lo que minimiza las deformaciones asociadas a los cambios en la humedad.

Refuerzo con geotextiles y geomallas. Emplea materiales sintéticos que refuerzan el suelo, limitan deformaciones y distribuyen las cargas de manera uniforme, incrementando su estabilidad y resistencia al corte.

Congelación artificial. Método temporal que solidifica el agua en el suelo, mejorando su estabilidad durante la construcción de obras específicas.

Estos métodos se seleccionan según las características del terreno y las necesidades del proyecto, permitiendo mejorar de forma efectiva y sostenible las propiedades del suelo arcilloso (Akbar Frioozi et al., 2017).

Método Químico. La estabilización química de suelos arcillosos es una técnica ampliamente utilizada en ingeniería civil para mejorar sus propiedades geotécnicas, especialmente en infraestructura vial. Consiste en incorporar estabilizantes como cemento, cloruro de sodio y polvo de ladrillo, lo que da a lugar una reacción química que reconfigura la matriz del terreno y mejora resistencia y capacidad de soporte. Este método es crucial en suelos arcillosos, ya que su baja resistencia y alta retención de agua pueden comprometer la estabilidad de subbases y acelerar el desgaste estructural. Además, minimiza los problemas de expansión y contracción causados por cambios en la humedad, permitiendo la construcción de bases sólidas y duraderas. Entre los materiales analizados, el cemento destacó como el estabilizante más eficaz, ya que reduce la plasticidad del suelo y mejora su resistencia a largo plazo. (Obianigwe & Ngene, 2018).

Estabilizadores químicos líquidos. Los aditivos líquidos destacan por su capacidad de penetrar uniformemente en la matriz del suelo, facilitando reacciones electroquímicas que modifican su estructura interna. Al reducir la carga eléctrica de las partículas de arcilla, disminuyen la repulsión entre ellas, promoviendo una mayor compactación y reduciendo la plasticidad del suelo, lo que a su vez aumenta la capacidad de carga del suelo y su resistencia a los efectos de la humedad. Además, estos estabilizadores generan enlaces entre las partículas, aumentando la cohesión interna, impermeabilidad y durabilidad del suelo tratado. Gracias a su rápida acción, resultan especialmente útiles para mejorar de inmediato las propiedades estructurales del suelo.

Estabilizadores químicos sólidos. Los aditivos sólidos también se emplean como estabilizadores químicos, aunque su mecanismo de acción difiere notablemente de los líquidos. Requieren tiempo para disolverse o reaccionar con la humedad del suelo antes de iniciar sus interacciones químicas, lo que hace que su proceso de estabilización sea más gradual y dependiente de la disponibilidad de agua. Actúan tanto mecánica como químicamente: a nivel mecánico, rellenan vacíos y aumentan la fricción interna entre partículas, mejorando la compactación; químicamente, reaccionan con el suelo de manera más lenta y controlada. Estos aditivos resultan particularmente eficaces para mejorar la densidad y resistencia a largo plazo, aunque su efecto inicial es menos inmediato que el de los líquidos (Das, 2010).

2.4.2 **Estabilización de Suelos Arcillosos con Polvo de Residuos de Caucho**

Dado que se trata de una sustancia inerte, el polvo de residuos de caucho se utiliza generalmente como estabilizador físico. Lo hace reforzando la estructura del suelo mediante la adición de partículas elásticas que mejoran la cohesión del suelo y reducen su deformabilidad. Este efecto es especialmente útil en suelos expansivos, que se caracterizan por problemas causados por fluctuaciones en los niveles de humedad que provocan expansión y contracción. El caucho en polvo contribuye a aumentar la resistencia a la compresión y la durabilidad del suelo que ha sido tratado.

Para lograr una estabilización efectiva, el polvo de caucho se dosifica en función del peso seco del suelo, utilizando porcentajes específicos que aseguran una distribución uniforme del aditivo en la mezcla. Esta práctica permite ajustar la cantidad de caucho dependiendo del tipo de suelo y las propiedades que se desean mejorar (Petry & Das, 2001).

2.4.3 **Estabilización de Suelos Arcillosos con Estabilizador Iónico ISS2500**

El estabilizador iónico ISS2500 actúa principalmente como estabilizador químico, utilizado en este estudio, es un aditivo líquido que actúa a través de interacciones electroquímicas con las partículas del suelo, modificando su estructura interna y mejorando su comportamiento mecánico. Estos estabilizadores interactúan principalmente con los cationes presentes en el suelo, logrando modificar las propiedades fisicoquímicas sin necesidad de incrementar proporcionalmente la cantidad de aditivo en función del peso de la muestra (DSG SAC, 2015).

El mecanismo de acción del estabilizador iónico se basa en la capacidad de intercambio catiónico del suelo, que es clave para mejorar su cohesión y reducir su plasticidad. Al alcanzar una saturación adecuada de las partículas del suelo con el estabilizador, se generan los cambios deseados en su estructura interna, lo que explica por qué la dosificación del aditivo líquido puede mantenerse constante, independientemente del peso de la muestra.

Mantener una cantidad constante de estabilizador iónico ISS2500 en las muestras de laboratorio, sin variarla según el peso de la muestra, se basa en el proceso electroquímico que tiene lugar durante la estabilización. El estabilizador interactúa con las partículas del suelo a nivel molecular, y una vez que se alcanza el punto de saturación, el aditivo induce las reacciones necesarias para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, como su capacidad de soporte y resistencia (Petry & Das, 2001).

2.5 **Carreteras**

2.5.1 ***Definición***

Las carreteras son vías diseñadas para el tránsito de vehículos motorizados de al menos dos ejes, cumpliendo con normas técnicas que regulan su inclinación, sección y calidad superficial para garantizar un tránsito seguro y eficiente. Según la demanda y el terreno, se clasifican en autopistas y carreteras de primera, segunda y tercera clase, además de trochas carrozables, adaptadas a distintos volúmenes de tráfico y condiciones geográficas (MTC, 2018). Su construcción sigue criterios geométricos y estructurales rigurosos, considerando la topografía, la seguridad vial y el entorno ambiental desde la planificación. Esto garantiza accesos adecuados y una circulación fluida (Das, 2013).

2.5.2 *Capas de una Carretera*

La estructura de una carretera se compone de varias capas superpuestas, cada una con una función específica para asegurar la durabilidad y el buen funcionamiento del pavimento frente al tráfico vehicular y las condiciones climáticas. Estas capas incluyen la capa de rodadura, base, subbase y subrasante. (MTC, 2018).

Subrasante. Es la capa más baja y consiste en suelo natural compactado o material de relleno compactado. Proporciona el soporte necesario para las capas superiores, y su calidad es fundamental para la vida útil del pavimento, ya que cualquier deformación o asentamiento en esta capa afecta negativamente a las superiores.

Categorías de Subrasante. La subrasante constituye el cimiento base de la estructura del pavimento y su estabilidad depende de la calidad del suelo. Se clasifica según su capacidad de soporte, considerando parámetros como resistencia, índice de plasticidad y granulometría (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2014).

Tabla 1

Categorías de Subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S0 : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1 : Subrasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2 : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3 : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4 : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5 : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

Nota. De "Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos", por MTC, 2014 (https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/mtc%20normas/arch_pdf/man_7%20sggp-2014.pdf).

CAPÍTULO III:
Metodología

3.1 Características de la Investigación

3.1.1 Tipo de Investigación

El presente estudio se clasifica como una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, ya que busca solucionar un problema práctico en el ámbito de la ingeniería civil y la geotecnia mediante la medición objetiva de variables (Hernández Sampieri et al., 2014). Su objetivo es evaluar el efecto de la incorporación de polvo de residuos de caucho y del estabilizador iónico ISS2500 en suelos arcillosos, analizando la mejora de sus propiedades mecánicas y de resistencia a través de ensayos geotécnicos estandarizados. En el proceso de estudiar la estabilización de suelos con baja capacidad portante, los registros de laboratorio permitirán diseñar soluciones sostenibles que puedan utilizarse para la construcción y reparación de infraestructuras viarias.

3.1.2 Nivel de Investigación

El presente estudio se clasifica dentro del nivel explicativo, ya que busca establecer la relación causa-efecto de la incorporación del estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho en suelos arcillosos. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este nivel de investigación nos permite identificar las causas que influyen en un fenómeno y explicar las consecuencias de dicho fenómeno. En el presente estudio, el análisis se centra en la forma en que estas adiciones alteran las características mecánicas y resistivas de la muestra. Esto proporciona información esencial para la implementación de estos aditivos en la infraestructura vial.

3.1.3 Diseño de Investigación

El presente estudio adoptó un diseño experimental, ya que evaluó el efecto de la adición de polvo de caucho reciclado y el estabilizador iónico ISS2500 en suelos arcillosos mediante experimentos controlados. Según Hernández Sampieri et al. (2014), el diseño experimental permite manipular variables para analizar sus efectos en un fenómeno específico. En este caso, se aplicaron distintas dosificaciones de los aditivos y se observaron las variaciones en las propiedades mecánicas del suelo bajo condiciones controladas. Este enfoque permitió establecer relaciones causales entre las variables estudiadas y validar la efectividad de las

técnicas de estabilización propuestas para optimizar la resistencia y estabilidad del suelo en proyectos de infraestructura vial.

3.1.4 **Variables**

Variable independiente. Dosificación de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 aplicado al suelo arcilloso.

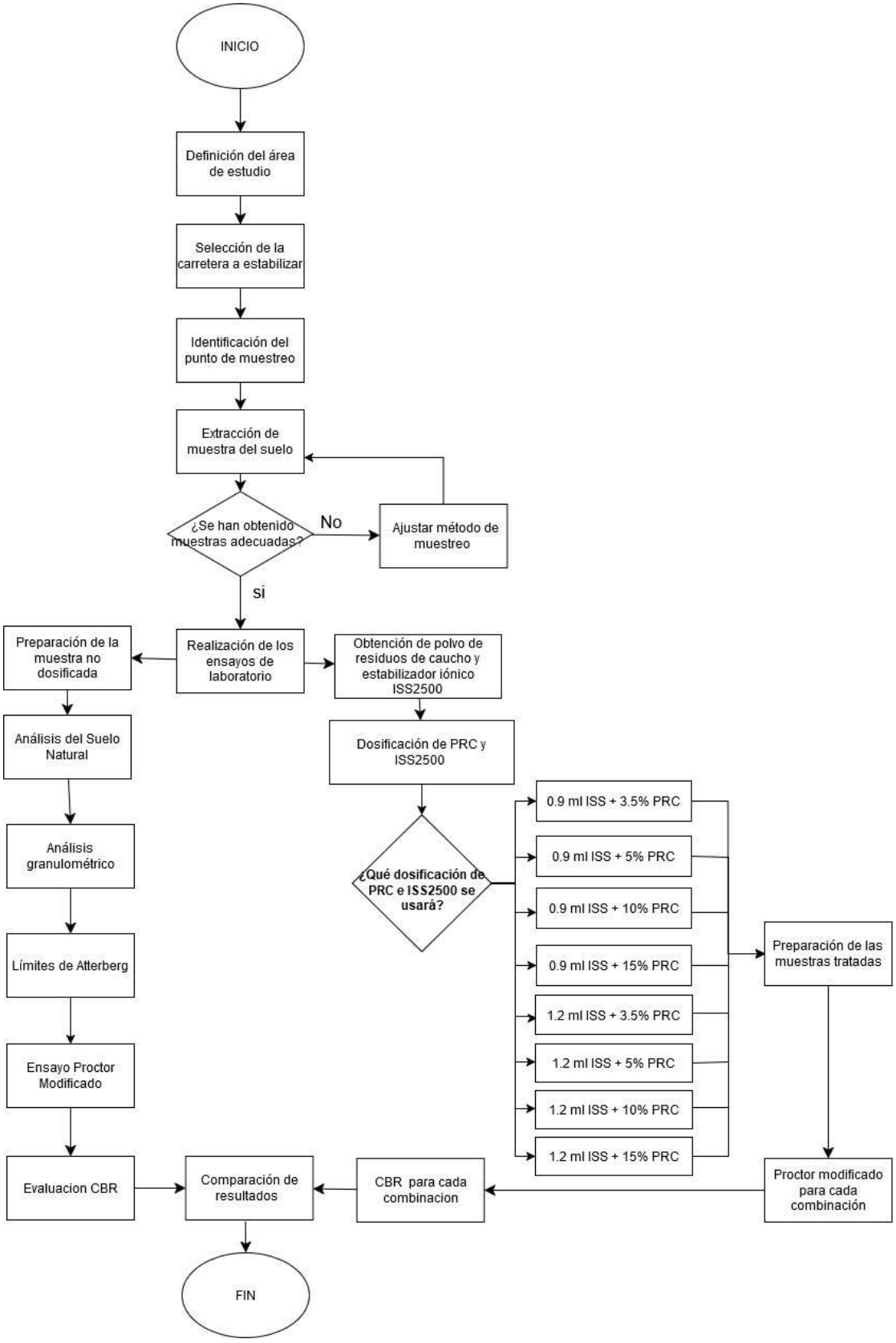
Variable dependiente. El suelo arcilloso y sus propiedades

3.1.5 **Procedimiento de Investigación**

La ruta metodológica del estudio se estructura en las fases que se ilustra en la Figura 2:

Figura 2

Diagrama de flujo de procesos



Obtención y Preparación de la Muestra. Se realizó la excavación de una calicata en la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo, con una profundidad de 1.50 metros, siguiendo los lineamientos establecidos en el Manual de Carreteras y normativas locales. Las muestras de suelo extraídas se transportaron al laboratorio geotécnico en bolsas selladas para evitar contaminación y garantizar la representatividad de las condiciones del suelo en su estado natural.

Caracterización Inicial del Suelo Natural. En el laboratorio, se caracterizaron las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural a través de los siguientes ensayos:

Ensayo de Granulometría (ASTM D6913 y ASTM D7928). Se realizó un análisis granulométrico combinado para determinar la distribución de tamaños de partículas, utilizando el método de tamizado según la norma ASTM D6913 para la fracción gruesa y el método de hidrometría/sedimentación según la norma ASTM D7928 para la fracción fina.

Ensayo de Límites de Atterberg (ASTM D4318). Se determinaron el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad según ASTM D4318.

Ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557). Se evaluaron el peso unitario seco máximo y el contenido óptimo de humedad del suelo natural mediante el método ASTM D1557.

Ensayo CBR (ASTM D1883). Se analizó la capacidad portante del suelo natural según ASTM D1883, obteniendo valores que confirmaron su baja capacidad de soporte.

Preparación de Mezclas Estabilizadas. Para evaluar el proceso de estabilización del suelo, se diseñaron combinaciones experimentales utilizando un material reciclado en diferentes proporciones y un estabilizador químico en dos dosificaciones específicas. Estas proporciones fueron seleccionadas con base en antecedentes técnicos y estudios previos relevantes. Las mezclas se prepararon mediante un proceso de homogeneización, asegurando la distribución uniforme de los componentes con el suelo seco y agua, a fin de garantizar la calidad y consistencia de los resultados experimentales.

Evaluación Mecánica de las Mezclas. Cada mezcla estabilizada, junto con el suelo natural, fue sometida a los siguientes ensayos:

Ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557). Se determinaron el peso unitario seco máximo y el contenido óptimo de humedad para cada combinación.

Ensayo CBR (ASTM D1883). Se evaluó la capacidad portante, permitiendo identificar las dosificaciones que mostraron mayores incrementos en resistencia mecánica en comparación con el suelo natural.

Análisis y Comparación de Resultados. Los resultados registrdos en los ensayos fueron organizados en tablas y gráficos para facilitar la comparación de los parámetros mecánicos, tales como peso unitario seco máximo, contenido óptimo de humedad y capacidad de soporte. Se identificó que una de las combinaciones evaluadas mostró un rendimiento superior, evidenciando un incremento significativo en el peso unitario y la capacidad portante del material en comparación con el suelo sin tratar.

Validación de Resultados y Escalamiento a Campo. Los resultados obtenidos en laboratorio fueron validados mediante un proceso de escalamiento orientado a su aplicación práctica. Para ello, se empleó un factor de escalamiento que considera la relación entre el volumen del ensayo estándar y el volumen proyectado en campo, correspondiente a un área de 1 m^2 con un espesor de 20 cm. Este procedimiento aseguró la consistencia de las proporciones óptimas y permitió extrapolar las dosificaciones, verificando su viabilidad técnica para condiciones reales.

CAPÍTULO IV:
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Caracterización del Suelo Arcilloso

La obtención de la muestra de suelo natural se realizó utilizando el método de calicata, el cual consistió en la excavación en el sitio de estudio. El proyecto se localiza en:

- **Ubicación**: Ciudad de Huancayo
- **Distrito**: Chilca
- **Provincia**: Huancayo
- **Departamento**: Junín

La excavación se llevó a cabo en la Avenida Jacinto Ibarra, entre la Calle La Unión Azapampa y la Avenida Los Incas. La calicata permitió extraer el suelo en su estado natural para su posterior análisis en laboratorio, como se detalla en el Anexo 1, Registro de Excavación. Se tomaron las precauciones necesarias para evitar la contaminación de la muestra y garantizar su representatividad. Una vez extraído, el material fue trasladado al laboratorio, donde se siguieron los procedimientos establecidos para su caracterización geotécnica.

Figura 3

Avenida Jacinto Ibarra



Esta etapa es fundamental, ya que el suelo natural debe caracterizarse y evaluarse mediante diversos ensayos, como el análisis granulométrico, los límites de Atterberg, el Proctor Modificado y el CBR. Con el fin de realizar un análisis geotécnico del suelo, las muestras obtenidas durante el proceso de excavación alcanzaron una profundidad de 1.5 m y proporcionan información esencial.

Figura 4

Obtención de muestra del suelo natural



4.1.1 ***Ensayos al Suelo Natural***

Análisis Granulométrico por tamizado del suelo. Con el fin de realizar el estudio del tamaño de las partículas del suelo natural, primero se tomó una muestra de 1187 gramos. El porcentaje de masa que se retiene en cada Tamiz se muestra en la Tabla 2. Además, los resultados de esta prueba para el suelo natural, junto con la curva granulométrica, se muestran en el Anexo 2 del documento.

Tabla 2

Masa retenida por cada tamiz del suelo natural

Tamiz	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Acumulado que pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	100.0%

3/8"	9.50 mm	0.00 g	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	100.0%
N° 10	2.00 mm	100.00 g	91.6%
N° 20	0.85 mm	62.00 g	86.4%
N° 40	0.43 mm	33.00 g	83.6%
N° 60	0.25 mm	40.00 g	80.2%
N° 100	0.15 mm	79.00 g	73.5%
N° 200	0.08 mm	41.00 g	70.1%
PASA		832.00 g	

Figura 5

Análisis Granulométrico_Tamizado de muestra del suelo natural



Análisis Granulométrico por Hidrometría. Mediante el ensayo de granulometría por hidrometría, realizado de acuerdo con la norma ASTM-D7928, se determinó la distribución de las partículas finas en el suelo. Durante el proceso de sedimentación, las partículas más gruesas se hundieron muy rápidamente, mientras que las más pequeñas permanecieron en suspensión durante todo el proceso. Un indicio de la existencia de arcillas y limos es la reducción de la proporción de finos, que pasó del 92.848% (83.738 µm) en los primeros 0.25 minutos al 54.966% (0.871 µm) después de 2588 minutos. Para generar la curva granulométrica del suelo, que puede verse en el Anexo 3, este estudio es uno de los pasos más importantes.

Tabla 3

Distribución *de finos y diámetro de partículas en función al tiempo*

	Medidas				Constantes		Resultados	
Ítem	**Tiempo transcurrido (min)**	**Suspensión (g/L)**	**Lectura agua + dispensión (g/L)**	**Temperatura (°C)**	**Viscosidad (g-s/cm²)**	**Profundidad efectiva (cm)**	**% de Fino (%)**	**Diámetro (mm)**
1	0.25	1015.4	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.884935	92.848623	0.083738
2	0.50	1015.3	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.911613	92.105834	0.059284
3	1.00	1015.2	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.938292	91.363045	0.041972
4	2.00	1015.2	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.938292	91.363045	0.029678
5	4.00	1015.0	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.991650	89.877467	0.021037
6	8.00	1015.0	1002.9	24.10	9.31882E-06	10.991650	89.877467	0.014858
7	18.00	1014.8	1002.9	24.10	9.31882E-06	11.045007	88.391889	0.009929
8	32.00	1014.3	1002.9	24.20	9.29678E-06	11.178401	84.677944	0.007483
9	64.00	1013.8	1003.0	24.30	9.27481E-06	11.311795	80.221210	0.005316
10	129.00	1013.3	1002.9	24.50	9.23114E-06	11.445188	77.250054	0.003758
11	244.00	1012.9	1003.0	24.80	9.16623E-06	11.551904	73.536109	0.002735
12	576.00	1012.2	1003.0	24.00	9.34094E-06	11.738655	68.336586	0.001812
13	1276.00	1011.4	1002.9	24.00	9.34094E-06	11.952085	63.137064	0.001228
14	2588.00	1010.0	1002.6	24.50	9.23114E-06	12.325588	54.966385	0.000871

De acuerdo con la norma ASTM D7928, el análisis de hidrometría muestra que más del 50% del suelo analizado presenta partículas con diámetros inferiores a 0.002 mm, lo que indica que se trata de un suelo arcilloso. La predominancia de arcillas en la distribución granulométrica confirma que el suelo pertenece a la clasificación de suelos finos.

Figura 6

Análisis Granulométrico_Hidrometría de muestra del suelo natura



4.1.2 *Límites de Atterberg*

Límite Líquido. El 39% es el límite líquido del suelo natural. Como parte de este experimento, se colocaron cuatro contenidos diferentes de suelo en la cuchara de Casagrande, y los resultados mostraron que cada muestra recibió 16, 25, 30 y 34 golpes, respectivamente. Cabe señalar que la curva de fluidez, que se muestra en el Anexo 4, se construyó con el fin de determinar el límite líquido. Esto se hizo basándose en el número de golpes.

Figura 7

Ensayo de Límite Líquido de la Muestra Natural



Limite Plástico. En el Anexo 4 se puede encontrar la determinación del límite plástico del suelo natural, que se sitúa en el 22%.

Figura 8

Ensayo de Límite Plástico de la Muestra Natural



Índice de Plasticidad.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico es el índice de plasticidad, que es igual al 17 %. El índice de plasticidad se puede ver en la Tabla4.

Tabla 4

Límites *de Atterberg del suelo natural*

Límites de Atterberg	Porcentaje
Limite Liquido	39%
Limite Plástico	22%
Índice de Plasticidad	17%

4.1.3 *Clasificación de Suelos*

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS o USCS - ASTM D2487). Se utilizó la norma ASTM D-2487 para la clasificación del suelo y la carta de plasticidad de Casagrande para la clasificación de suelos finos. Cabe señalar que se utilizaron el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad recopilados anteriormente para determinar el tipo de suelo. Este es un punto crucial a tener en cuenta. Los valores del límite líquido y el límite plástico son del 39% y el 22%, respectivamente, lo que da como resultado un índice de plasticidad del 17%.

De acuerdo con el límite líquido y el índice de plasticidad, el suelo se clasificó como “CL”, lo que indica que contiene arcilla de baja plasticidad. La clasificación SUCS se puede consultar en el Anexo 4.

Clasificación según AASHTO (ASTM D3282). De manera similar, se utilizaron los valores del límite líquido y del índice de plasticidad, que eran del 39% y del 17% respectivamente, para clasificar el suelo de acuerdo con el sistema AASHTO. La clasificación obtenida fue del tipo “A-6 (9)”, que es una clasificación aplicable a los suelos arcillosos.

Este suelo es una arcilla de baja plasticidad con arena que, bajo el sistema de clasificación SUCS, se clasifica como CL, indicando su naturaleza arcillosa con baja plasticidad, mientras que bajo el sistema AASHTO se clasifica como A-6 (9).

4.1.4 **Ensayos Proctor Modificado**

El objetivo del ensayo Proctor Modificado, que se llevó a cabo de conformidad con la norma ASTM D1557, era determinar en qué medida el contenido óptimo de humedad influye en el peso unitario seco máximo.

Tabla 5

Ensayo de Proctor Modificado del suelo natural

	Proctor Modificado	
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
SN	16.97	16.85

Los resultados del ensayo Proctor Modificado se muestran en la Tabla 5. Esta prueba permitió identificar el peso unitario seco máximo, así como el contenido óptimo de humedad. El mayor peso unitario seco que se pudo alcanzar para el suelo natural de la Av. Jacinto Ibarra fue de 16.97 kN/m^3, y se detectó que el contenido óptimo de humedad para este suelo era del 16.85%. Los cálculos del ensayo se describen en detalle en el Anexo 5. Como se puede observar en la Figura 9, la curva de compactación se obtuvo utilizando los datos presentados en la Tabla 6.

Tabla 6

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco *(kN/m³) del suelo natural*

Contenido de Humedad (%)	Peso Unitario Seco (kN/m³)
10.06	16.19
15.33	16.97
19.45	16.87
22.56	16.28

Figura 9

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del suelo natural

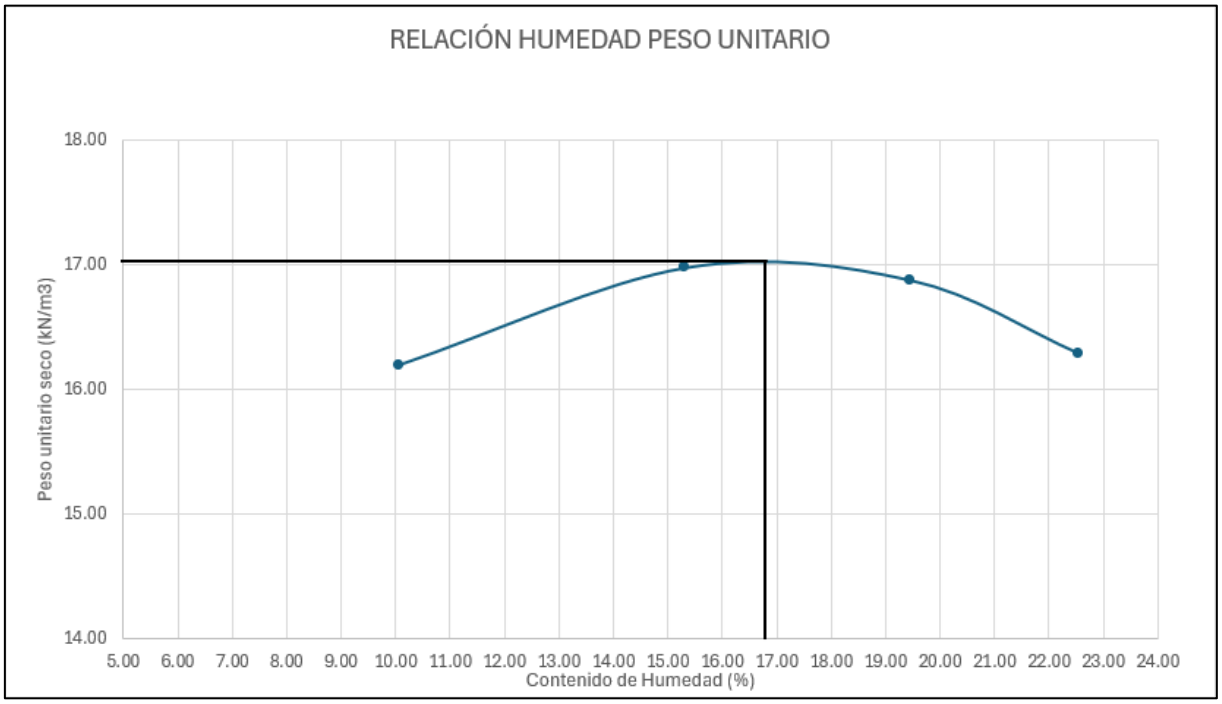


Figura 10

Ensayo de Proctor Modificado de la Muestra Natural



4.1.5 *CBR (California Bearing Ratio)*

Con el fin de determinar la capacidad de carga del suelo natural de la Av. Jacinto Ibarra, se realizó el ensayo CBR. Los resultados del estudio permitirán determinar si el material utilizado para la subrasante es adecuado. Las instrucciones detalladas de la técnica se encuentran en el Anexo 6, y los resultados de la operación se recogen en la Tabla 7.

Tabla 7

Ensayo CBR del suelo natural

	CBR			
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
SN	16.97	16.85	3.60%	4.70%

Figura 11

CBR de la Muestra Natural



4.2 Determinación de las Dosificaciones de Polvo de Residuos de Caucho y Estabilizador Iónico ISS2500

Durante el estudio, se mejoró el suelo utilizando diferentes proporciones de estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho. El objetivo era mejorar las propiedades geotécnicas de la subrasante. Se utilizó un estudio previo, en el que se evaluó tanto el uso individual como combinado de estos aditivos para maximizar la estabilidad y la resistencia del suelo, con el fin de determinar las dosificaciones de estos materiales.

4.2.1 *Obtención de Polvo de Residuos de Caucho*

Contribuyendo a la mejora del medio ambiente, se implementa la trituración de caucho reciclado como un proceso de producción más sostenible. Las llantas de caucho se adquieren a través de empresas recicladoras que clasifican distintos tipos de neumáticos, como los de automóviles, bicicletas, motocicletas, tractores, carretillas y maquinaria industrial.

El reciclaje de neumáticos se realiza mediante trituración mecánica, que consiste en cortar y desgarrar los neumáticos con trituradoras equipadas con cuchillas rotativas de diferentes tamaños. Este proceso permite obtener una amplia variedad de productos finales para diversos mercados potenciales.

El polvo de residuos de caucho utilizado en este estudio se obtuvo en la empresa DecorPeru, la cual se encarga de procesar los residuos de caucho para obtener partículas finas elaborado mediante un proceso de tratamiento que convierte los residuos de caucho en polvo.

El tamaño del polvo de residuos de caucho es un factor clave en la modificación de las propiedades mecánicas del suelo. Su intervalo óptimo para la estabilización se encuentra entre 1 y 4 mm, determinado a través de procesos de trituración y tamizado.

Figura 12

Recipiente de polvo de residuos de caucho



4.2.2 *Obtención de Estabilizador Iónico ISS2500*

Para la estabilización del suelo en este proyecto, se utilizó el estabilizador iónico ISS2500, el cual fue adquirido a través de un distribuidor autorizado de "ROAD MATERIAL STABILIZERS SPA". Esta empresa se dedica a la comercialización de productos innovadores para la mejora de suelos y pavimentos, garantizando la calidad y eficiencia en sus

estabilizadores. El producto se presentó en formato líquido, lo que facilitó su dosificación en las proporciones necesarias para los ensayos realizados.

Figura 13

Botella de estabilizador iónico ISS2500



4.2.3 ***Dosificación de Estabilizador Iónico ISS2500***

En primer lugar, es de suma importancia utilizar el suelo natural como línea base. Según esta referencia, se determinará si la combinación del estabilizador iónico ISS2500 con diversos porcentajes de polvo de residuos de caucho da lugar a un aumento del CBR. Mediante el uso de esta metodología, se examinaron una serie de estudios y proyectos de investigación que se tomaron como referencia en el contexto del estudio.

Tabla 8

Dosificaciones en investigaciones sobre el estabilizador iónico ISS2500

Nombre de la Investigación	Mejor Resultado de Aditivo	Resumen de investigación
Analisis Ionic Soil Stabilizer (ISS2500) Terhadap Nilai Durabilitas Tanah Lempung Plastisitas Rendah Pada Perkerasan Jalan	0.9 ml	Esta investigación evaluó el uso de ISS2500 en suelos arcillosos de baja plasticidad, probando dosificaciones de 0.6 ml, 0.9 ml, 1.2 ml y 1.5 ml. La mejor dosificación fue 0.9 ml, incrementando el valor CBR del 15% al 23.5%, mejorando la capacidad de carga en un 56.7%, incluso bajo condiciones variables de humedad.
Hubungan Batas Cair Dan Plastisitas Indeks Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan ISS2500 Terhadap Nilai Kohesi Pada Uji Geser Langsung Dan Uji Tekan Bebas	1.2 ml	La investigación evaluó tres dosificaciones de ISS2500: 0.6 ml, 0.9 ml y 1.2 ml. A medida que aumentaba la concentración, mejoraban tanto la cohesión como el esfuerzo máximo del suelo. La dosificación de 1.2 ml obtuvo los mejores resultados, con una cohesión de 0.291 kg/cm² y un esfuerzo máximo de 0.509 kg/cm². Las dosificaciones de 0.6 ml y 0.9 ml también mostraron mejoras, pero fueron superadas por la de 1.2 ml, que optimizó significativamente la estabilidad del suelo arcilloso.

Nota. Elaborado a partir de Manik et al. (2015) y Oktavia et al. (2021).

Para la presente investigación, se utilizó los mejores resultados de dos estudios clave: una dosificación de 0,9 ml de estabilizador iónico ISS2500 que mejoró el CBR en un 56,7%, y otra de 1,2 ml que optimizó la cohesión y estabilidad del suelo.

4.2.4 *Dosificación de Residuos de Polvo de Residuos de Caucho*

Tabla 9

Dosificaciones en investigaciones sobre el polvo de residuos de caucho

Nombre de la Investigación	Mejor Resultado de Aditivo	Resumen de investigación
Experimental Study Of The Mechanical Effect Of A Clay Soil By Adding Rubber Powder For Geotechnical Applications	3.5%	La investigación evaluó tres dosificaciones de polvo de caucho reciclado (1.5%, 2.5% y 3.5%) en suelos arcillosos para mejorar su subrasante. El mejor resultado fue con el 3.5%, logrando un incremento del 194% en el CBR, cumpliendo con los estándares AASHTO. Las dosificaciones menores mejoraron el suelo, pero no alcanzaron el rendimiento óptimo.
Stabilization Of Expansive Soil Using Tire Rubber Powder And Cement Kiln Dust	5%	El estudio evaluó el polvo de caucho reciclado para estabilizar suelos expansivos, destacando el uso de 5% de polvo de caucho reciclado combinado con 10% de polvo de horno de cemento. Esta mezcla mejoró la resistencia a la compresión en un 277%, siendo el mejor resultado del estudio. Además, el uso de solo 5% de polvo de caucho reciclado también incrementó la resistencia en un 64%, demostrando la efectividad del polvo de caucho reciclado para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo.
An Experimental Study On The Effect Of Tire Powder On The Geotechnical Properties Of Clay Soils	10%	La investigación probó varias dosificaciones de polvo de neumático (5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%) en suelos arcillosos de baja plasticidad. La dosificación óptima fue del 10%, ya que redujo significativamente la plasticidad y mejoró la trabajabilidad sin afectar la resistencia.

Nota. Elaborado a partir de Álvarez et al. (2020), Naseem et al. (2019) y Akbarimeh y Aflaki (2018).

Para la presente investigación, se utilizó las mejores dosificaciones de polvo de residuos de caucho de estudios previos: 3.5% para mejorar el CBR en un 194%, 5% con 10% de polvo de horno de cemento para aumentar la resistencia en un 277%, y 10% para reducir la plasticidad y mejorar la trabajabilidad del suelo. Estas dosificaciones optimizan las propiedades de los suelos arcillosos.

4.2.5 Dosificación de Mezclas del Suelo Natural con Estabilizador Iónico y Polvo de Caucho

Los ensayos se llevaron a cabo con suelo arcilloso natural y suelo mejorado mediante la adición de estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho en cantidades variables. La primera fórmula contiene 0.9 ml de estabilizador iónico ISS2500 con porcentajes del 3.5%, 5%, 10% y 15% de polvo de residuos de caucho. La segunda formulación utiliza 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 con porcentajes del 3.5%, 5%, 10% y 15% de polvo de residuos de caucho. Ambas formulaciones se consideran las formulaciones principales. La incorporación del porcentaje del 15% se lleva a cabo con el fin de ampliar el alcance del análisis y, mediante las pruebas que se realizan, determinar cuál de las combinaciones es la más eficaz en términos de mejora de las propiedades del suelo. Estas proporciones se determinaron tomando como referencia estudios anteriores que se recogen en la presente investigación.

Tabla 10

Dosificaciones para la investigación

Simbología	Suelo Natural (SN)	Estabilizador Iónico ISS2500 (ISS2500)	Polvo de Residuos de Caucho (PRC)
SN	100%	0	0
0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	96.5%	0.9 ml	3.5%
0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	95%	0.9 ml	5%
0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	90%	0.9 ml	10%

0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	85%	0.9 ml	15%
1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	96.5%	1.2 ml	3.5%
1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	95%	1.2 ml	5%
1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	90%	1.2 ml	10%
1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	85%	1.2 ml	15%

Las mezclas experimentales se diseñaron variando las proporciones de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 para evaluar su impacto en las propiedades mecánicas del suelo. Las respectivas proporciones se presentan en la siguiente Tabla 11:

Tabla 11

Materiales y pesos utilizados

Ítem	Leyenda	Código	Peso
1	Suelo natural [SN]	Arcilla	191.6 kg
2	Polvo de residuo de Caucho [PCR]	PCR	15.4 kg
3	Estabilizador Iónico [ISS2500]	ISS2500	16.8 ml

La distribución de las proporciones en las mezclas se detalla en la Tabla 12:

Tabla 12

Proporciones en las Mezclas

Ítem	Descripción	Código	Proporción	Ensayos		Total
				Proctor	CBR	
N	Suelo natural [SN]					
N01	SN	Arcilla		8.0 kg	15.0 kg	23.0 kg
R	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC					
R01	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	Arcilla	96.5%	7.7 kg	14.5 kg	22.2 kg
		PCR	3.5%	0.3 kg	0.5 kg	0.8 kg
		ISS2500	0.9 ml	0.9 ml	0.9 ml	1.8 ml

S	0.9 ml ISS2500 + 5.0% PRC					
S01	0.9 ml ISS2500 + 5.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	95.0% 5.0% 0.9 ml	7.6 kg 0.4 kg 0.9 ml	14.3 kg 0.8 kg 0.9 ml	21.9 kg 1.2 kg 1.8 ml
T	0.9 ml ISS2500 + 10.0% PRC					
T01	0.9 ml ISS2500 + 10.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	90.0% 10.0% 0.9 ml	7.2 kg 0.8 kg 0.9 ml	13.5 kg 1.5 kg 0.9 ml	20.7 kg 2.3 kg 1.8 ml
U	0.9 ml ISS2500 + 15.0% PRC					
U01	0.9 ml ISS2500 + 15.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	85.0% 15.0% 0.9 ml	6.8 kg 1.2 kg 0.9 ml	12.8 kg 2.3 kg 0.9 ml	19.6 kg 3.5 kg 1.8 ml
V	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC					
V01	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	Arcilla PCR ISS2500	96.5% 3.5% 1.2 ml	7.7 kg 0.3 kg 1.2 ml	14.5 kg 0.5 kg 1.2 ml	22.2 kg 0.8 kg 2.4 ml
X	1.2 ml ISS2500 + 5.0% PRC					
X01	1.2 ml ISS2500 + 5.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	95.0% 5.0% 1.2 ml	7.6 kg 0.4 kg 1.2 ml	14.3 kg 0.8 kg 1.2 ml	21.9 kg 1.2 kg 2.4 ml
Y	1.2 ml ISS2500 + 10.0% PRC					
Y01	1.2 ml ISS2500 + 10.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	90.0% 10.0% 1.2 ml	7.2 kg 0.8 kg 1.2 ml	13.5 kg 1.5 kg 1.2 ml	20.7 kg 2.3 kg 2.4 ml
Z	1.2 ml ISS2500 + 15.0% PRC					
Z01	1.2 ml ISS2500 + 10.0% PRC	Arcilla PCR ISS2500	85.0% 15.0% 1.2 ml	6.8 kg 1.2 kg 1.2 ml	12.8 kg 2.3 kg 1.2 ml	19.6 kg 3.5 kg 2.4 ml

4.3 Determinación de los Parámetros Físicos y Mecánicos del Suelo Arcilloso Natural y Estabilizado con Polvo de Residuos de Caucho y Estabilizador Iónico ISS2500

Mediante ensayos de laboratorio, se llevó a cabo una investigación exhaustiva sobre las características físicas y mecánicas del suelo arcilloso, tanto en su estado natural como

estabilizado. El objetivo de esta investigación era analizar el impacto de diversas dosificaciones de polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500.

4.3.1 *Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 3.5% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 0.9 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 3.5% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 13

Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	15.67

Según lo mostrado en la Tabla 13, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 3.5% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 17.46 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 15.67%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 7. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 14, se encuentra representada en la figura 14:

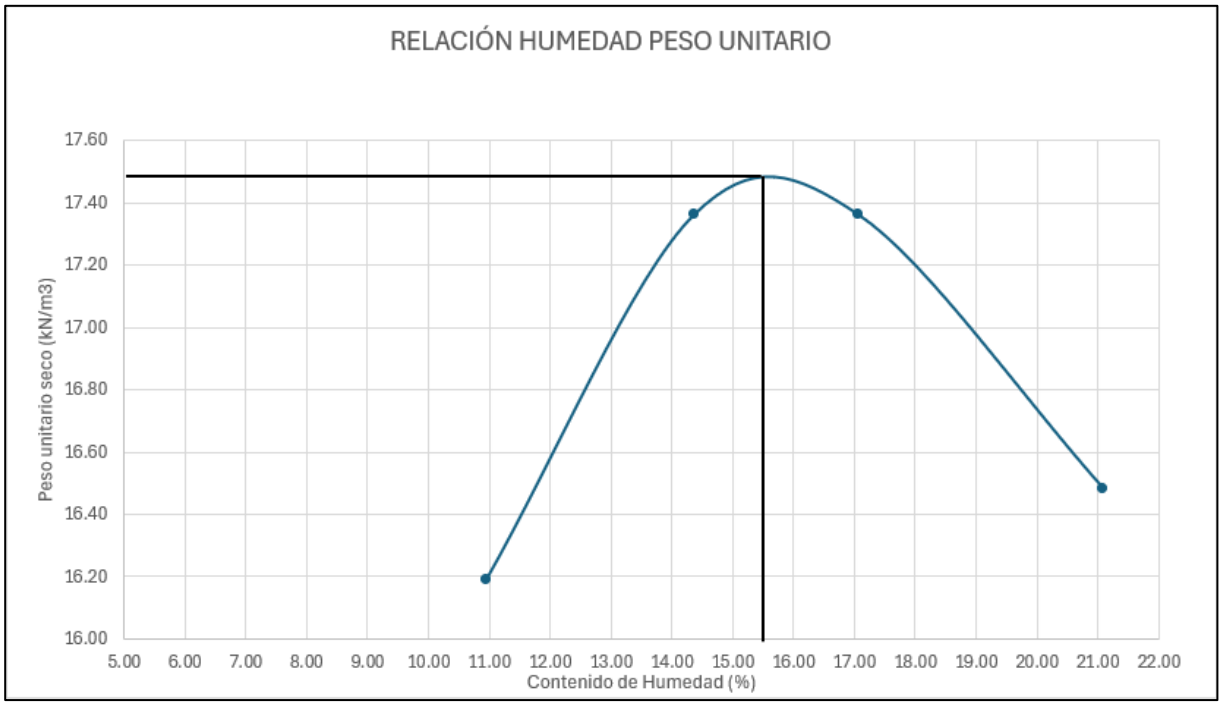
Tabla 14

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
10.96	16.19
14.37	17.36
17.07	17.36
21.10	16.48

Figura 14

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 3.5% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 8, y los resultados finales están presentados en la Tabla 15:

Tabla 15

Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	15.67	6.80%	9.60%

4.3.2 **Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 5% de Polvo de Residuos de Caucho**

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 0.9 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 5% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 16

Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	17.66	14.75

Según lo mostrado en la Tabla 16, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario máximo seco junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 5% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario máximo seco alcanzado fue de 17.66 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 14.75%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 9. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 17, se encuentra representada en la figura 15:

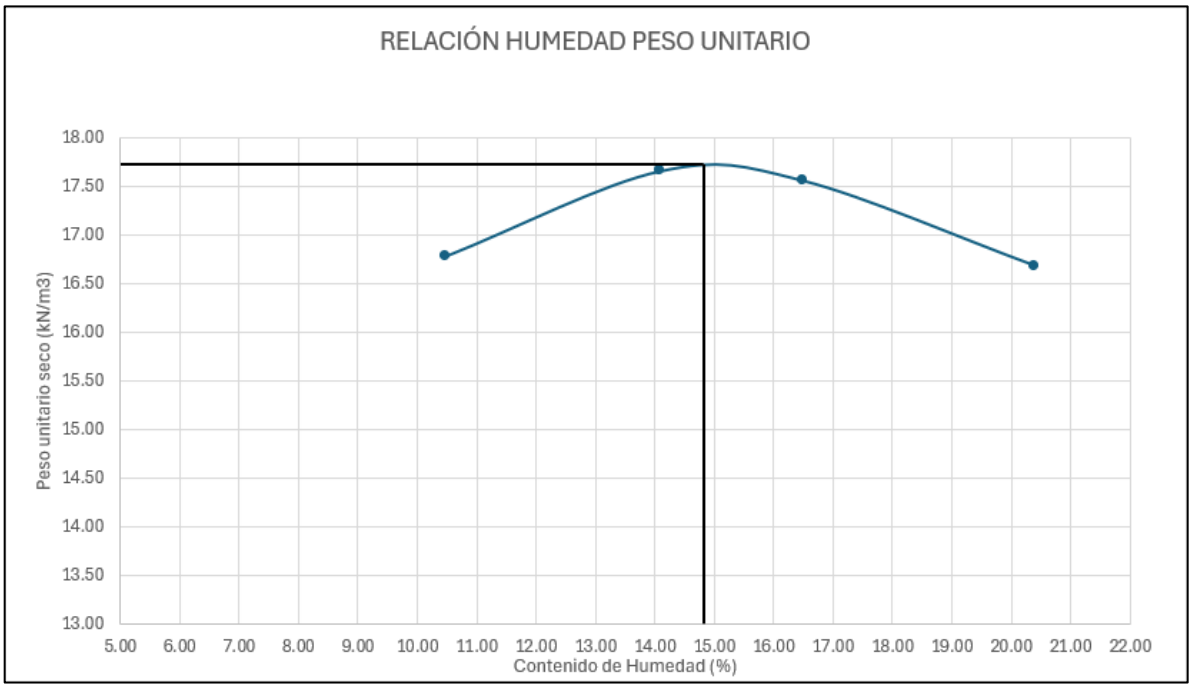
Tabla 17

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
10.49	16.78
14.10	17.66
16.49	17.56
20.40	16.68

Figura 15

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco máximo (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 5% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 10, y los resultados finales están presentados en la Tabla 18.

Tabla 18

Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 5% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	17.66	14.75	7.80%	11.20%

4.3.3 *Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 10% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 0.9 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 10% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 19

Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	14.48

Según lo mostrado en la Tabla 19, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 10% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 18.05 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 14.48%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 11. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 20, se encuentra representada en la figura 16:

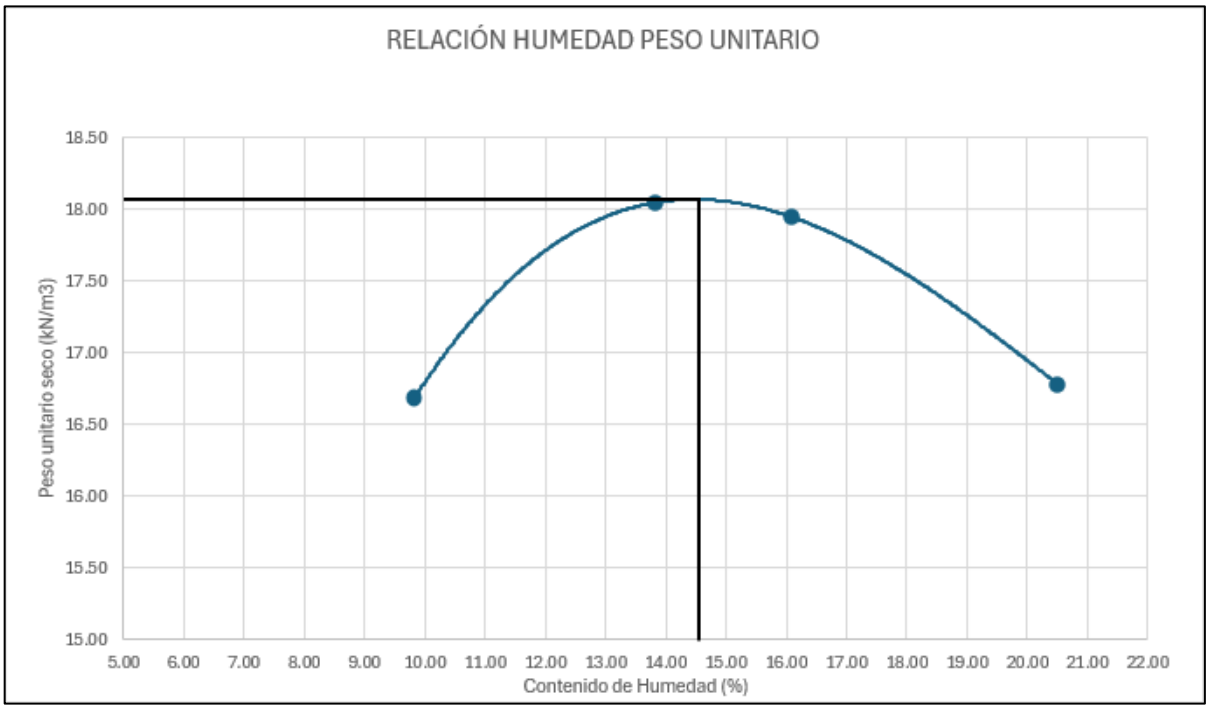
Tabla 20

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
9.82	16.68
13.83	18.05
16.08	17.95
20.51	16.78

Figura 16

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco máximo (kN/m³) del del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 10% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 12, y los resultados finales están presentados en la Tabla 21.

Tabla 21

Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	14.48	9.10%	12.80%

4.3.4 *Análisis del Suelo Estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 15% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 0.9 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 15% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 22

Ensayo de Proctor Modificado del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	17.66	14.14

Según lo mostrado en la Tabla 22, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 15% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 17.66 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 14.14%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 13. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 23, se encuentra representada en la figura 17:

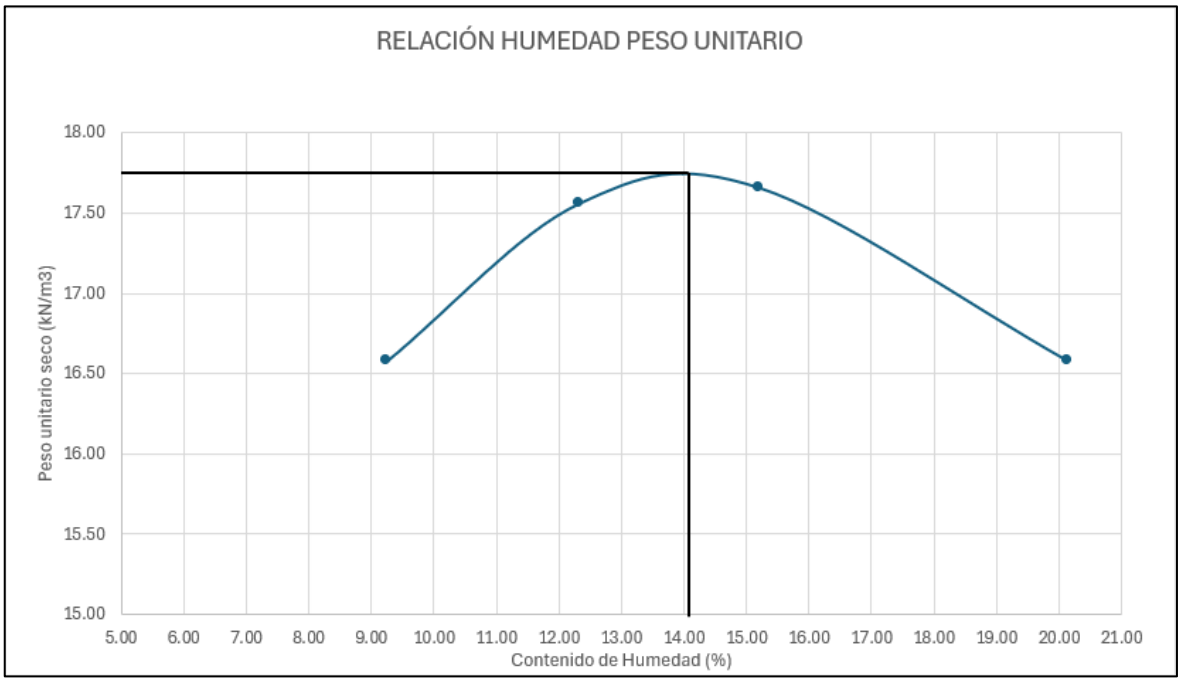
Tabla 23

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
9.25	16.58
12.32	17.56
15.19	17.66
20.14	16.58

Figura 17

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 0.9 ml de ISS2500 y 15% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 14, y los resultados finales están presentados en la Tabla 24.

Tabla 24

Ensayo CBR del 0.9 ml ISS2500 + 15% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	17.66	14.14	7.90%	11.20%

4.3.5 *Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 3.5% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 3.5% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 25

Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	15.56

Según lo mostrado en la Tabla 25, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 3.5% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 17.46 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 15.56%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 15. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 26, se encuentra representada en la figura 18:

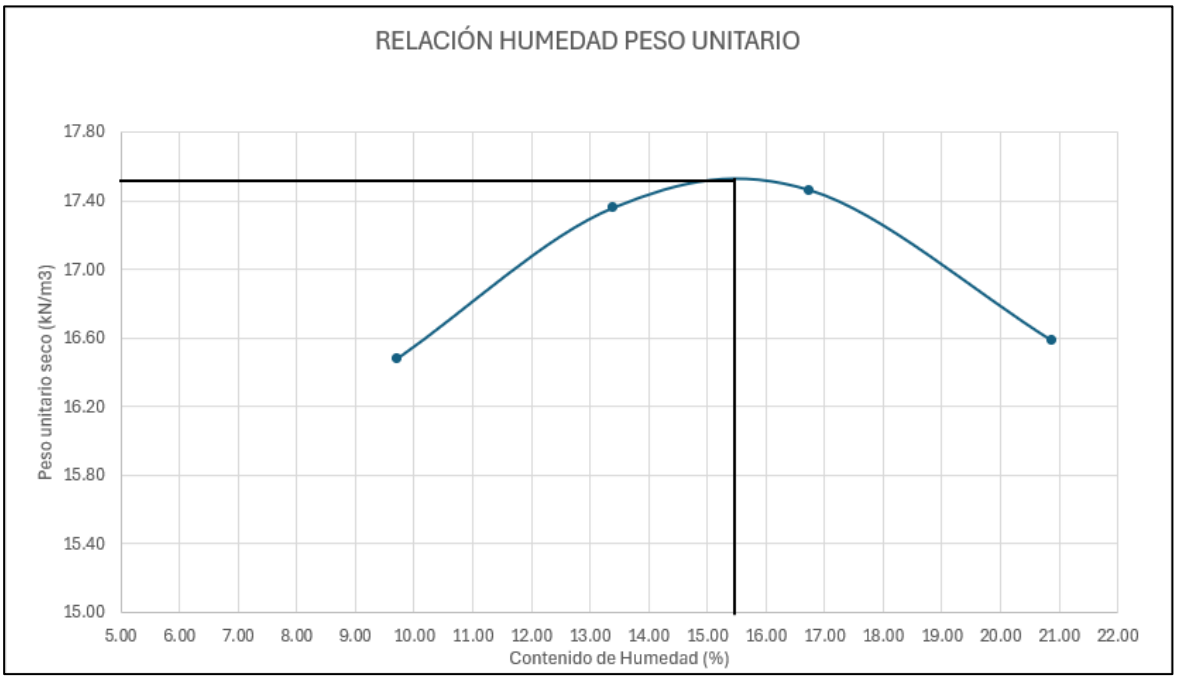
Tabla 26

Contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
9.72	16.48
13.41	17.36
16.76	17.46
20.90	16.58

Figura 18

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 3.5% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 16, y los resultados finales están presentados en la Tabla 27.

Tabla 27

Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	15.56	7.30%	10.10%

4.3.6 *Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 5% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 5% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 28

Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	17.85	14.37

Según lo mostrado en la Tabla 28, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 5% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 17.85 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 14.37%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 17. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 29, se encuentra representada en la figura 19:

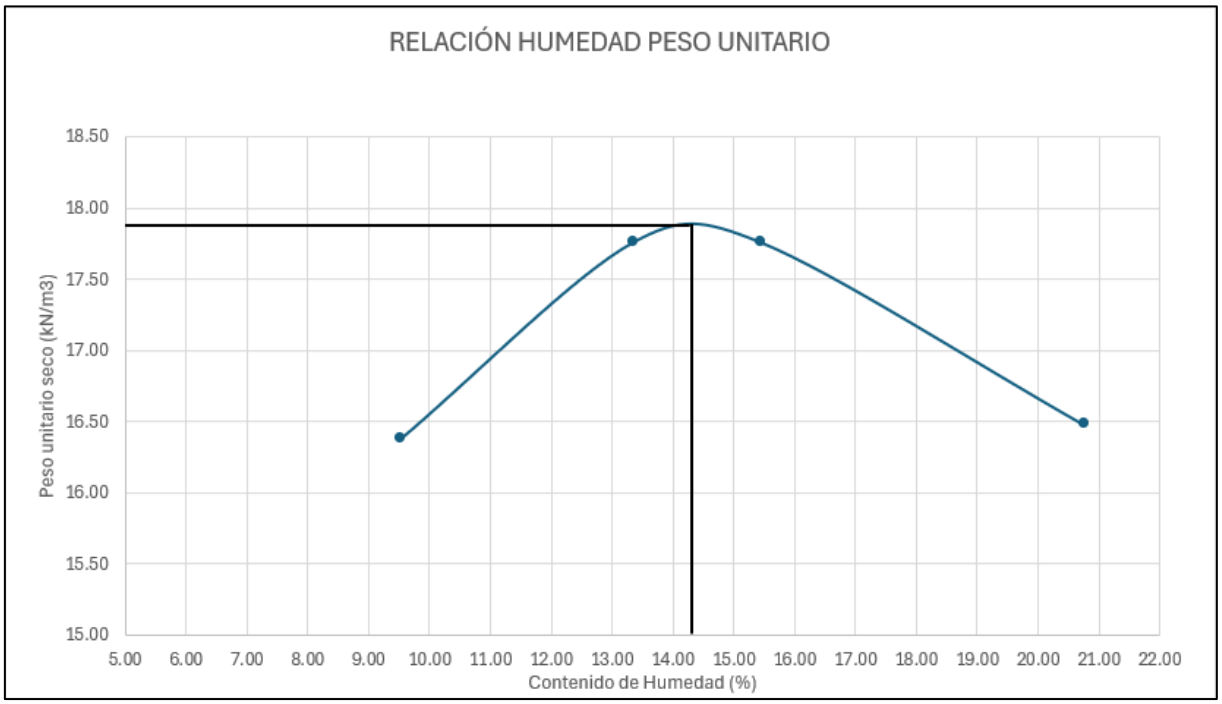
Tabla 29

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
9.52	16.38
13.35	17.76
15.44	17.76
20.76	16.48

Figura 19

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 5% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 18, y los resultados finales están presentados en la Tabla 30.

Tabla 30

Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 5% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	17.85	14.37	8.70%	11.80%

4.3.7 *Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 10% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 10% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 31

Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	14.27

Según lo mostrado en la Tabla 31, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 10% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 18.05 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 14.27%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 19. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 32, se encuentra representada en la figura 20:

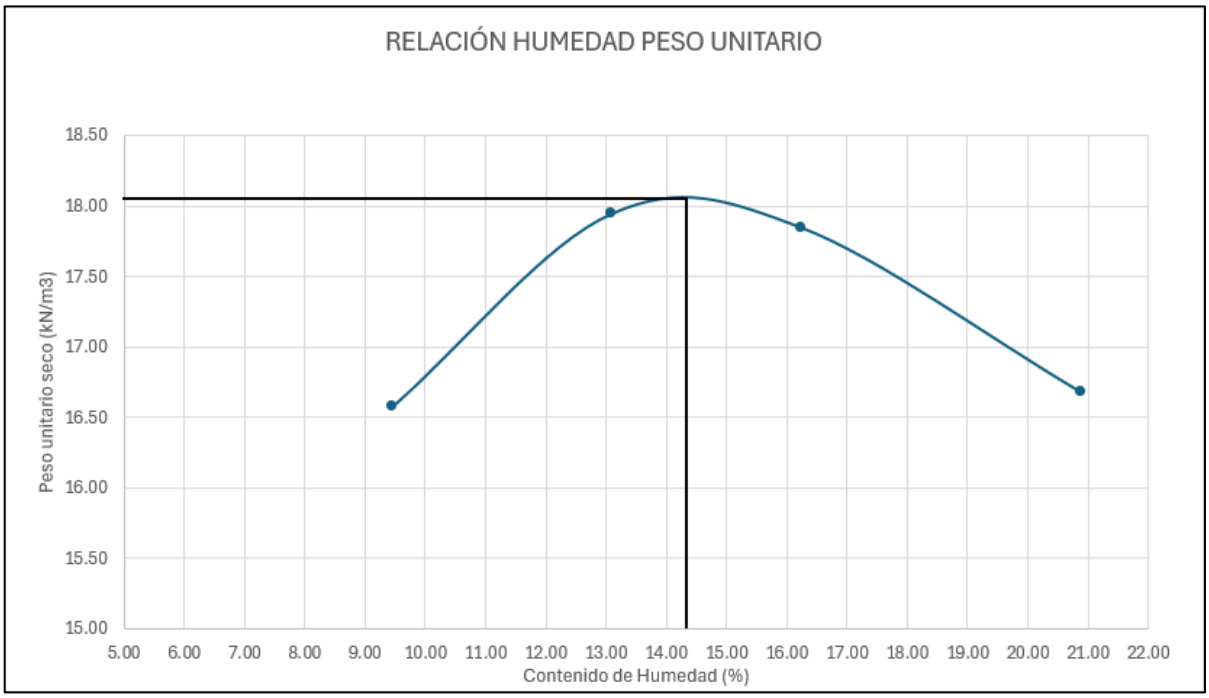
Tabla 32

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC

Contenido de Humedad (%)	**Peso Unitario Seco (kN/m³)**
9.46	16.58
13.09	17.95
16.24	17.85
20.88	16.68

Figura 20

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 10% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 20, y los resultados finales están presentados en la Tabla 33.

Tabla 33

Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	14.27	10.00%	13.80%

4.3.8 *Análisis del Suelo Estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 15% de Polvo de Residuos de Caucho*

Ensayos Proctor Modificado. Se realizó ensayo de Proctor Modificado siguiendo la norma ASTM D1557 para determinar el efecto del peso unitario seco máximo en relación con el contenido de humedad óptima en suelo estabilizado con 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 15% de polvo de residuos de caucho.

Tabla 34

Ensayo de Proctor Modificado del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC

Proctor Modificado		
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Humedad Óptima (%)**
1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	17.76	13.90

Según lo mostrado en la Tabla 34, el ensayo Proctor Modificado permitió cuantificar el peso unitario seco máximo junto con el contenido de humedad óptimo. Para el suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 15% de polvo de residuos de caucho, el peso unitario seco máximo alcanzado fue de 17.76 kN/m³, con un óptimo contenido de humedad del 13.90%. Los cálculos del ensayo están detallados en el Anexo 21. La curva de compactación, construida con los valores consignados en la tabla 35, se encuentra representada en la figura 21:

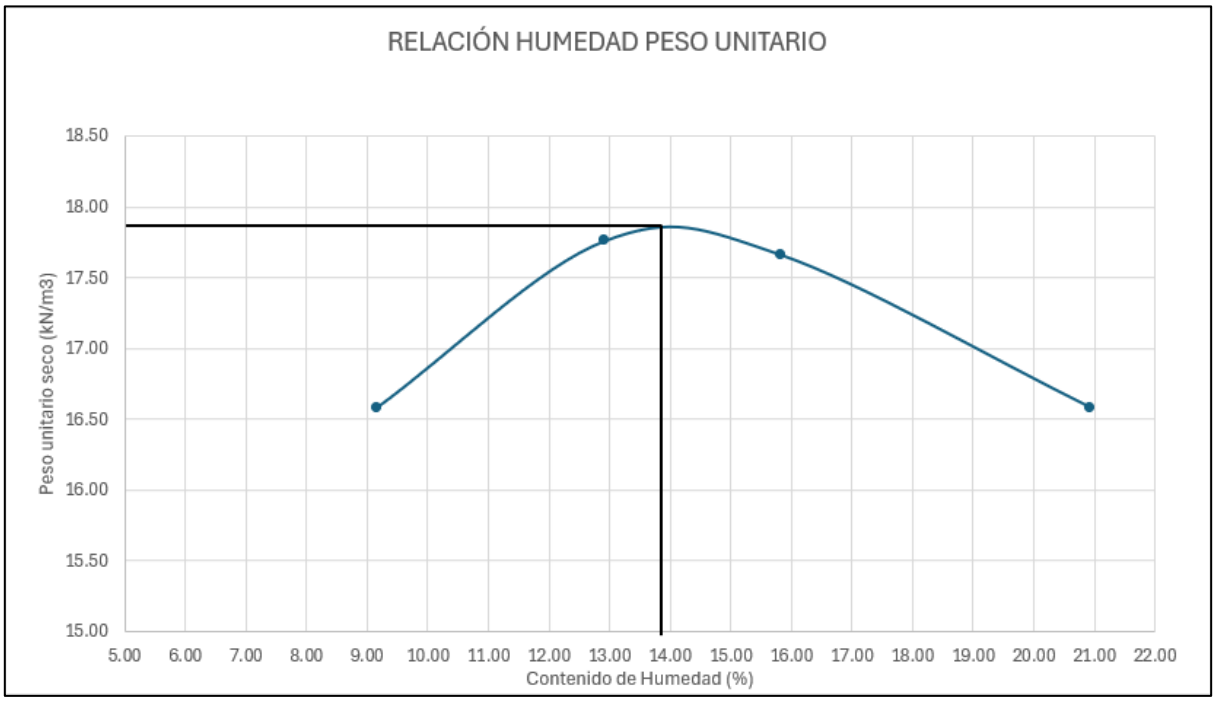
Tabla 35

Contenido de humedad (%) y peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC

Contenido de Humedad (%)	Peso Unitario Seco (kN/m³)
9.16	16.58
12.93	17.76
15.83	17.66
20.95	16.58

Figura 21

Curva de relación entre el contenido de humedad (%) y el peso unitario seco (kN/m³) del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC



CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR se llevó a cabo para cuantificar la capacidad de soporte del suelo estabilizado con 1.2 ml de ISS2500 y 15% de polvo de residuos de caucho. Los resultados indican un incremento en el valor del CBR respecto a la muestra patrón, evidenciando una mejora en el comportamiento del material. El procedimiento se encuentra detallado en el Anexo 22, y los resultados finales están presentados en la Tabla 36.

Tabla 36

Ensayo CBR del 1.2 ml ISS2500 + 15% PRC

CBR				
Descripción	**Peso Unitario Seco Máximo (kN/m3)**	**Óptimo Contenido de Humedad (%)**	**CBR (95%)**	**CBR (100%)**
1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	17.76	13.90	8.10%	11.80%

CAPÍTULO V:
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados del Suelo Arcilloso

5.1.1 *Análisis Granulométrico*

El análisis físico del suelo natural de la Av. Jacinto Ibarra permitió determinar características fundamentales para su clasificación y comprensión de su comportamiento mecánico. En el análisis granulométrico por tamizado, se identificó que el 70.1% del material pasa por la malla N° 200 (0.08 mm), lo que clasifica al suelo como predominantemente fino según la norma ASTM D6913. Complementariamente, el análisis granulométrico por hidrometría, realizado según la norma ASTM D7928, permitió analizar las partículas más pequeñas, revelando que más del 50% tienen un diámetro inferior a 0.002 mm, característica representativa de las arcillas. Lo que indica que se trata de un suelo arcilloso, con una menor proporción de limos, lo cual fue confirmado mediante la curva granulométrica que integra ambos ensayos.

5.1.2 *Análisis Límites de Atterberg*

Esta caracterización se complementó con el estudio de los límites de Atterberg, que determinó que el límite líquido era del 39%, el límite plástico del 22% y el índice de plasticidad del 17%. Según el sistema de clasificación SUCS, este suelo se clasifica como CL, lo que indica que es arcilloso con baja plasticidad. Por otro lado, según el sistema de clasificación AASHTO, este suelo se clasifica como A-6 (9).

5.1.3 *Ensayo Proctor Modificado*

Los resultados del ensayo Proctor Modificado, obtenidos tras realizar una evaluación experimental de diversas dosificaciones del estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho, mostraron que el peso unitario seco máximo era de 18.05 kN/m^3 y que el contenido óptimo de humedad era del 14.86%. Debido a esta conexión, es posible establecer los parámetros óptimos para la compactación del terreno, necesarios para garantizar la integridad estructural del suelo en aplicaciones de ingeniería.

5.1.4 *Ensayo CBR (California Bearing Ratio)*

Se evidenció un CBR del 3.60% al 95% de compactación y del 4.70% al 100%, lo que confirma la limitada capacidad del material de la subrasante para resistir cargas. De acuerdo con el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014, p. 37), una subrasante adecuada debe presentar un CBR mínimo de 6% en una profundidad no menor a 0.60 m por debajo del nivel superior de la subrasante. Dado que los valores obtenidos se encuentran por debajo de este umbral, el suelo analizado se clasifica como subrasante insuficiente o inadecuada, lo que indica una baja capacidad portante y una alta susceptibilidad a deformaciones bajo cargas de tránsito.

Debido a este comportamiento, es aún más importante evaluar diferentes técnicas de estabilización con el fin de mejorar las características mecánicas del suelo y garantizar que siga funcionando correctamente en condiciones de carga y humedad

5.2 Análisis de Resultados del Ensayo Proctor Modificado

Se utilizaron ensayos de Proctor Modificado para investigar el impacto que tenían las combinaciones del estabilizador iónico ISS2500 (ISS2500) y el polvo de residuos de caucho (PRC) sobre el Contenido Óptimo de Humedad (OCH) y el Peso Unitario Seco Máximo (PSM) del suelo. Tras comparar los resultados con los del suelo natural (SN), queda claro que las cualidades de compactación del suelo han mejorado significativamente.

5.2.1 *Análisis del Contenido Óptimo de Humedad (OCH)*

El contenido óptimo de humedad es una característica crucial que permite evaluar la cantidad de agua necesaria para obtener el peso unitario seco máximo durante el proceso de compactación del suelo. En el marco de esta investigación, se estudiaron los efectos de diversas combinaciones del estabilizador iónico ISS2500 y el polvo de residuos de caucho sobre este parámetro, y se realizó una comparación entre estas combinaciones y el suelo natural.

El contenido óptimo de humedad en suelo no estabilizado fue del 16,85 %, lo que sirvió como punto de referencia para todas las mediciones posteriores. Se añadieron estabilizadores y, dependiendo de la dosis suministrada, se observaron reducciones considerables en el OCH. Estos resultados se describen en la Tabla 37, y la Figura 22 ilustra la magnitud de estas reducciones.

Tabla 37

Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

Código	Dosificación	OCH Dosifica (%)	OCH Patrón (%)	Variación del OCH (Δ%)
C-01	SN	16.85	16.85	0.00
R01	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	15.67	16.85	-1.18
S01	0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	14.75	16.85	-2.10
T01	0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	14.48	16.85	-2.37
U01	0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	14.14	16.85	-2.71
V01	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	15.56	16.85	-1.29
X01	1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	14.37	16.85	-2.48
Y01	1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	14.27	16.85	-2.58
Z01	1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	13.90	16.85	-2.95

Figura 22

Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

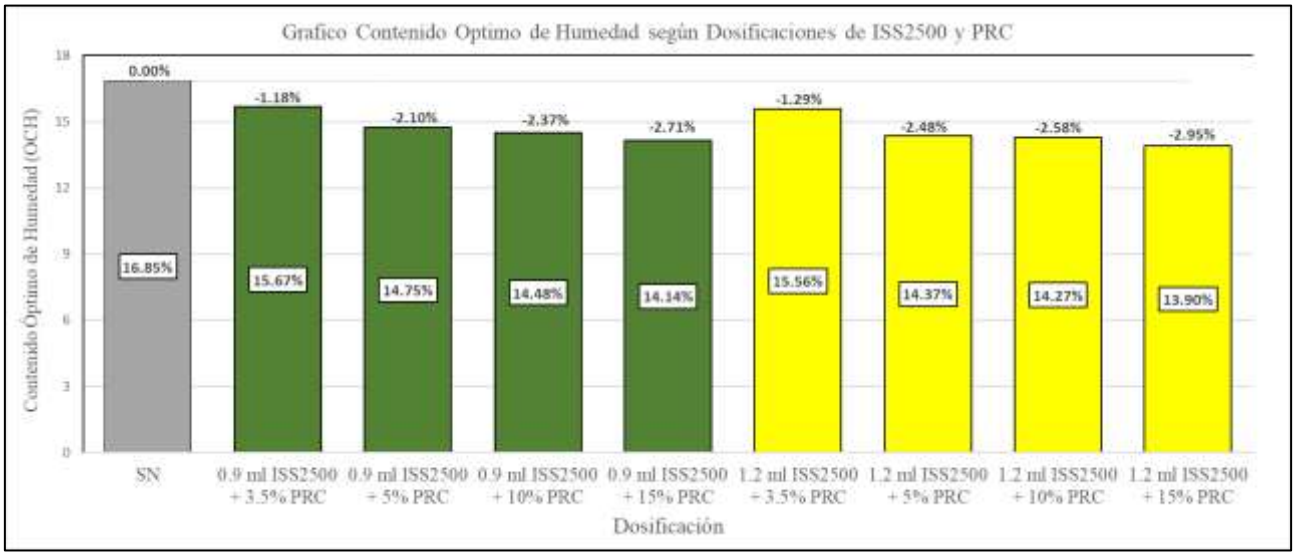
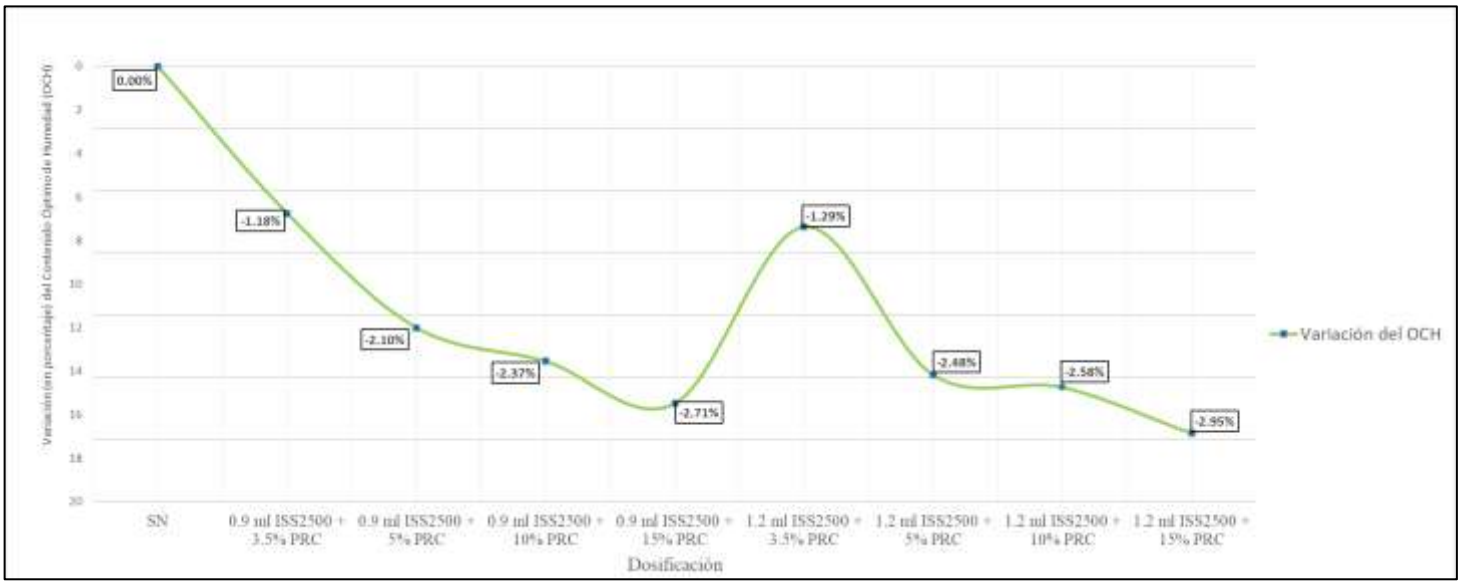


Figura 23

Variación (en porcentaje) del Contenido Óptimo de Humedad (OCH) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural



Se observó una reducción progresiva del contenido óptimo de humedad con el incremento del porcentaje de polvo de residuos de caucho. Este comportamiento indica una mejora en las condiciones de compactación del suelo estabilizado. Las reducciones obtenidas oscilaron entre el 1.18% y el 2.95%, dependiendo de la dosificación utilizada.

La mezcla correspondiente a 1.2 ml de ISS2500 + 15% de PRC (Z01) presentó el valor más bajo de OCH, registrando un 13.90%, lo que equivale a una disminución del 2.95% respecto al suelo natural. Esto la posiciona como la combinación más eficiente en términos de reducción de humedad óptima requerida para la compactación.

El análisis de los resultados muestra que el PRC reduce la sensibilidad del suelo a la humedad, gracias a sus propiedades hidrofóbicas que limitan la absorción de agua. Por otro lado, el estabilizador iónico ISS2500 complementa esta mejora al interactuar químicamente con las partículas del suelo, favoreciendo su estabilización y compactación.

5.2.2 *Análisis del Peso Unitario Seco*

El ensayo Proctor Modificado nos permitió examinar los cambios en el peso unitario seco máximo del suelo. Esta prueba nos permitió evaluar los efectos de diversas combinaciones del estabilizador iónico ISS2500 y el polvo de residuos de caucho. El peso unitario seco máximo

es una medida importante, ya que representa el grado de compactación del suelo que se puede alcanzar cuando este se somete a las condiciones ideales en cuanto a humedad y carga.

Se determinó que el valor de referencia básico para el suelo natural era de 16.97 kN/m^3, que era el mayor peso unitario seco que se podía alcanzar. Se observó que el PSM había aumentado como resultado de la combinación de ISS2500 y PRC, tal y como se indica en la Tabla 38 y se muestra en la Figura 24.

Tabla 38

Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

Código	Dosificación	Peso Unitario Seco Máximo Dosificado (kN/m3)	Peso Unitario Seco Patrón (kN/m3)	Variación del Peso Unitario Seco Máximo (%)
C-01	SN	16.97	16.97	0.00
R01	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	16.97	2.89
S01	0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	17.66	16.97	4.07
T01	0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	16.97	6.36
U01	0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	17.66	16.97	4.07
V01	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	17.46	16.97	2.89
X01	1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	17.85	16.97	5.19
Y01	1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	18.05	16.97	6.36
Z01	1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	17.76	16.97	4.66

Figura 24

Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

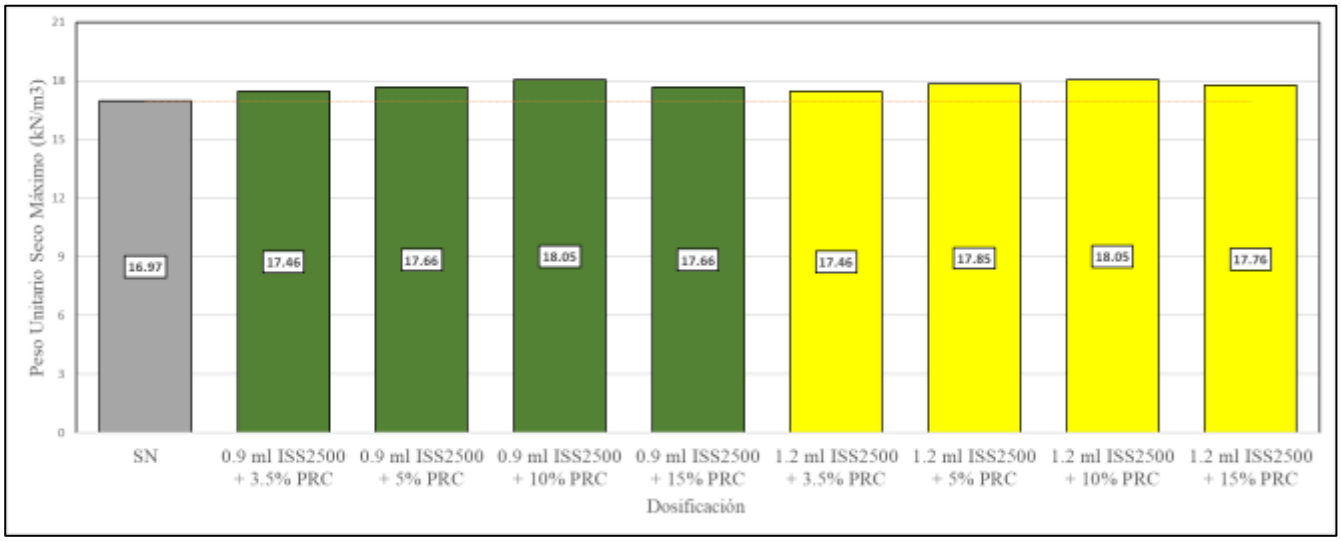
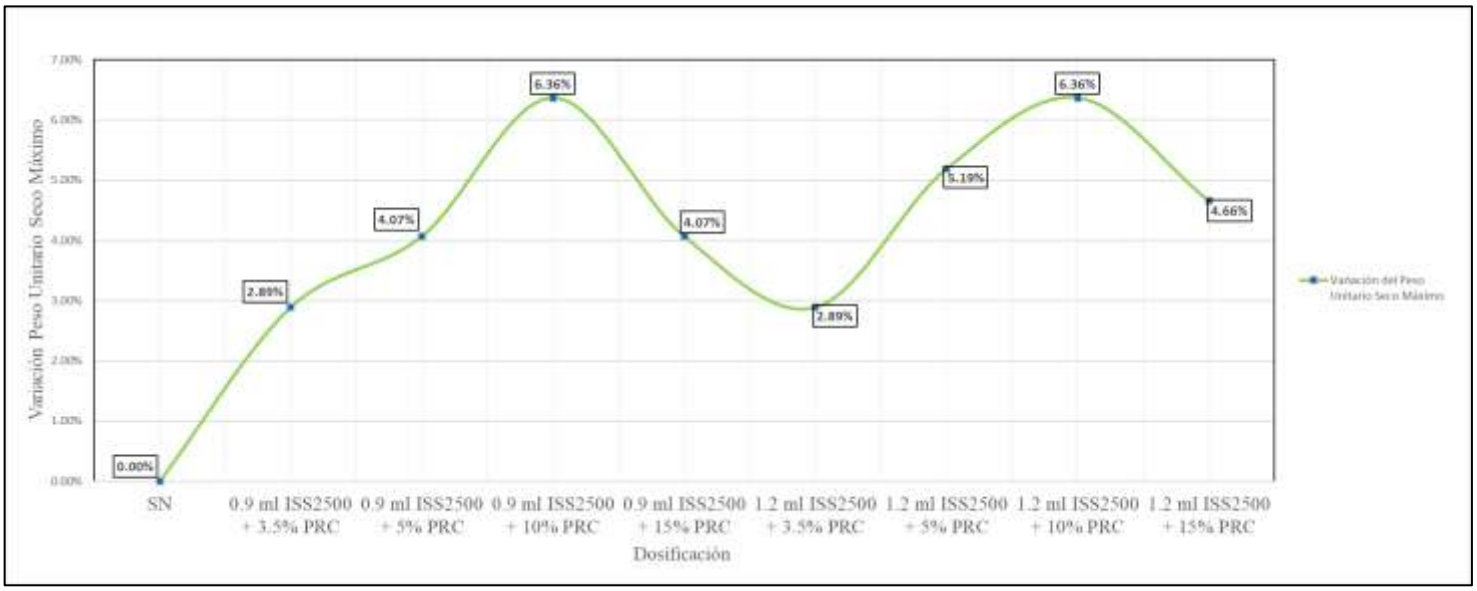


Figura 25

Variación del Peso Unitario Seco Máximo (PSM) según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural



Cuando se aumentó la cantidad de polvo de residuos de caucho en las mezclas, los resultados del estudio mostraron que se produjo un aumento gradual del peso unitario seco máximo. Con una adición del 10% de PRC, se obtuvieron los valores máximos de peso unitario seco, tanto para las dosis de 0.9 ml de ISS2500 como para las de 1.2 ml de ISS2500. Esto dio lugar a un aumento más sustancial del 6.36 % en comparación con el suelo natural, lo que dio como resultado un PSM de 18.05 kN/m³.

Las combinaciones correspondientes a 1.2 ml ISS2500 + 10% PRC (Y01) y 0.9 ml ISS2500 + 10% PRC (T01) registraron los valores más altos de peso unitario seco máximo, posicionándose como las dosificaciones más eficientes para optimizar las condiciones de compactación del suelo. Estas configuraciones garantizan una mayor densificación, lo que puede traducirse en un mejor comportamiento mecánico del suelo en condiciones de campo.

Este comportamiento difiere de la tendencia convencional reportada en la literatura, donde la incorporación de partículas de caucho de menor gravedad específica que el suelo suele reducir la densidad de la mezcla. Sin embargo, en esta investigación, el aumento de la densidad se atribuye a la sinergia fisicoquímica de los estabilizantes: por un lado, el estabilizador iónico ISS2500 actúa a nivel electroquímico reduciendo el espesor de la doble capa difusa de las partículas de arcilla, lo que disminuye las fuerzas de repulsión y favorece una reorientación más

compacta (floculación) de la matriz del suelo. Simultáneamente, el PRC, gracias a su finura, se aloja eficientemente en los intersticios de la estructura granular, contribuyendo a una mayor compacidad del sistema sin desplazar volumétricamente a los sólidos del suelo en las proporciones evaluadas. Esta interpretación se valida al observar el descenso de la densidad en la mezcla con 15% de PRC, punto en el cual el volumen de caucho excede la capacidad de los poros y comienza a predominar el efecto de su baja densidad, alineándose nuevamente con los principios físicos convencionales.

5.2.3 *Análisis del Contenido Óptimo de Humedad (OCH)*

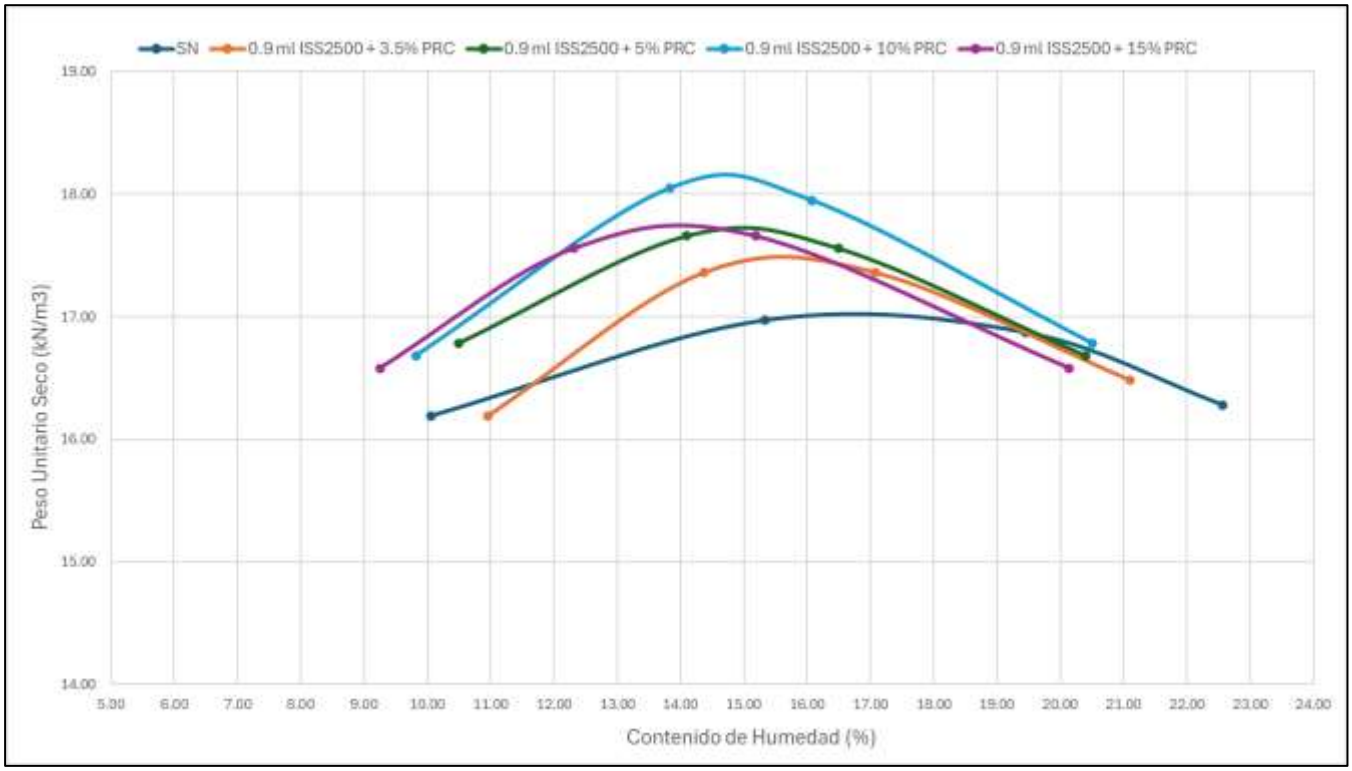
Se utilizó el ensayo Proctor Modificada para obtener las curvas de compactación tanto del suelo natural como de las combinaciones estabilizadas con el estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho. La relación entre el contenido de humedad del suelo y su peso unitario seco máximo puede examinarse con la ayuda de estas curvas, lo que permite determinar los valores optimos para la compactación del suelo. Aquí se presentan y evalúan los resultados de dos dosis diferentes de ISS2500, concretamente 0.9 ml y 1.2 ml.

Curvas de Compactación para 0.9 ml ISS2500

La Figura 26 representa las curvas de compactación correspondientes a las mezclas estabilizadas con 0.9 ml ISS2500 y porcentajes crecientes de PRC (3.5%, 5%, 10% y 15%).

Figura 26

Curva de Compactación de 0.9 ml ISS2500 y Porcentajes Crecientes de PRC



El porcentaje de PRC se elevó al 10%, lo que provocó un aumento gradual del peso unitario seco máximo, que finalmente alcanzó un valor máximo de 18.05 kN/m³. Sin embargo, cuando se empleó un 15% de PRC, se observó una ligera disminución del PSM. Esto podría deberse a que había una mayor cantidad de partículas en la mezcla que no se adherían entre sí.

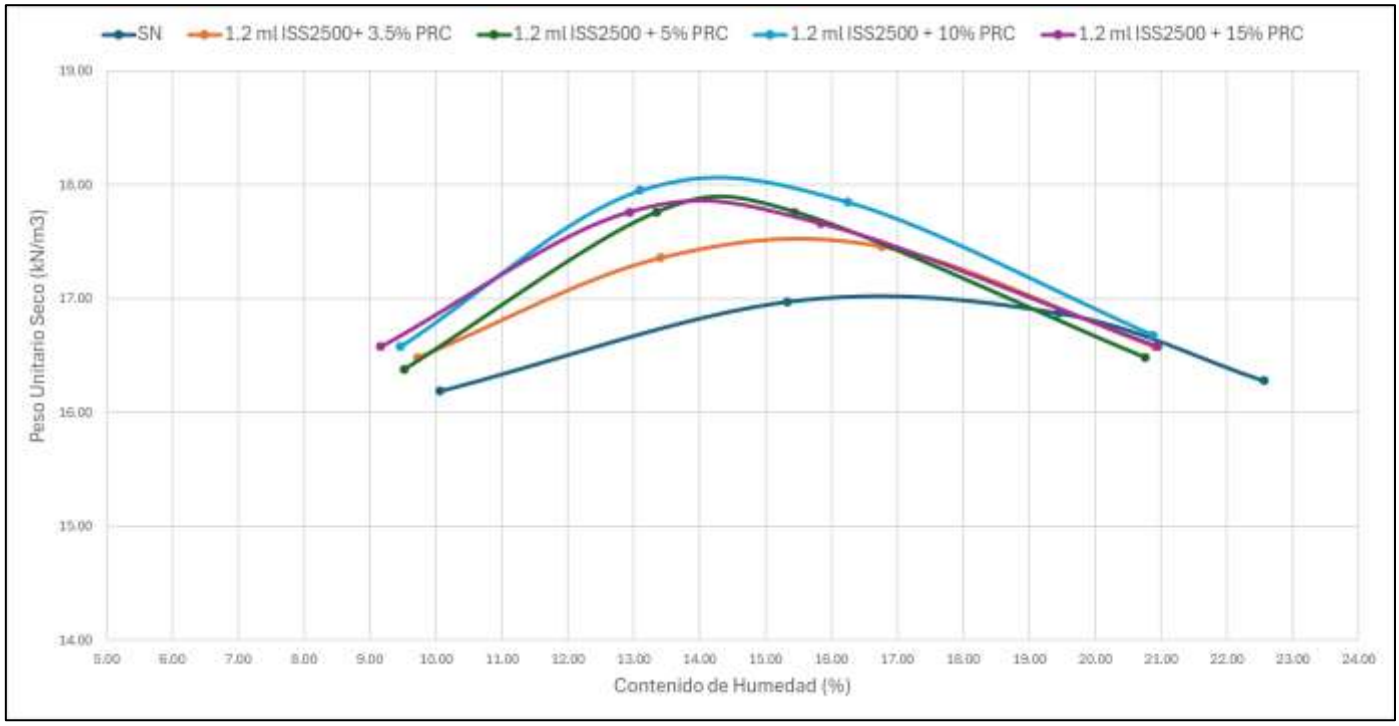
El OCH mostró una reducción constante con el aumento de PRC, alcanzando su valor más bajo en la mezcla con 15% PRC, con un 14.14%. Este comportamiento indica una menor necesidad de agua para lograr una compactación eficiente, atribuible a las propiedades hidrofóbicas del PRC.

Curvas de Compactación para 1.2 ml ISS2500

La Figura 27 muestra las curvas de compactación para las mezclas estabilizadas con 1.2 ml ISS2500 y PRC (3.5%, 5%, 10% y 15%).

Figura 27

Curva de Compactación de 1.2 ml ISS2500 y Porcentajes Crecientes de PRC



Se observó una tendencia similar a la obtenida con 0.9 ml ISS2500, donde el peso unitario seco máximo aumentó hasta un 10% PRC, alcanzando nuevamente un valor máximo de 18.05 kN/m³. A diferencia de la dosificación de 0.9 ml ISS2500, las mezclas con 15% PRC presentaron una menor disminución en la PSM, logrando 17.76 kN/m³, lo que evidencia una estabilización más efectiva.

Al igual que en el caso anterior, el OCH se redujo con el aumento de PRC. La mezcla con 15% PRC presentó el menor valor, con 13.90%, lo que sugiere un mejor rendimiento en términos de compactación.

5.2.4 *Análisis Comparativo de los Resultados*

Las curvas de compactación muestran que las cualidades de compactación del suelo mejoran con la combinación del estabilizador iónico ISS2500 y el polvo de residuos de caucho. Una de las combinaciones más eficaces fue la de 12 ml de ISS2500 combinados con un 10% de PRC. Esta combinación obtuvo el mayor peso unitario seco máximo y, al mismo tiempo, redujo el contenido óptimo de humedad. Como resultado, es una solución viable para mejorar la compactabilidad del suelo en aplicaciones de campo.

5.3 Análisis de Resultados del Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

Mediante el ensayo CBR, se pudo determinar la capacidad de carga del suelo natural, así como de mezclas estabilizadas que incluían cantidades variables de estabilizador iónico ISS2500 y polvo de residuos de caucho. Con el fin de ilustrar las importantes mejoras obtenidas en la capacidad de carga del suelo, el estudio se llevó a cabo con una compactación del 95% y del 100%. Los resultados obtenidos en el análisis fueron significativos.

5.3.1 *Resultados del CBR al 95% de PSM*

Según los resultados del estudio CBR al 95% del peso unitario seco máximo, la capacidad de carga del suelo estabilizado era mucho mayor que la del suelo natural debido al proceso de estabilización. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 39 y la Figura 28.

Tabla 39

CBR al 95% del PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

Código	Dosificación	CBR al 95% Dosificado	CBR 95% Patrón	Variación del CBR al 95%
C-01	SN	3.60%	3.60%	0.00%
R01	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	6.80%	3.60%	3.20%
S01	0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	7.80%	3.60%	4.20%
T01	0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	9.10%	3.60%	5.50%
U01	0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	7.90%	3.60%	4.30%
V01	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	7.30%	3.60%	3.70%
X01	1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	8.70%	3.60%	5.10%
Y01	1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	10.00%	3.60%	6.40%
Z01	1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	8.10%	3.60%	4.50%

Figura 28

CBR al 95% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

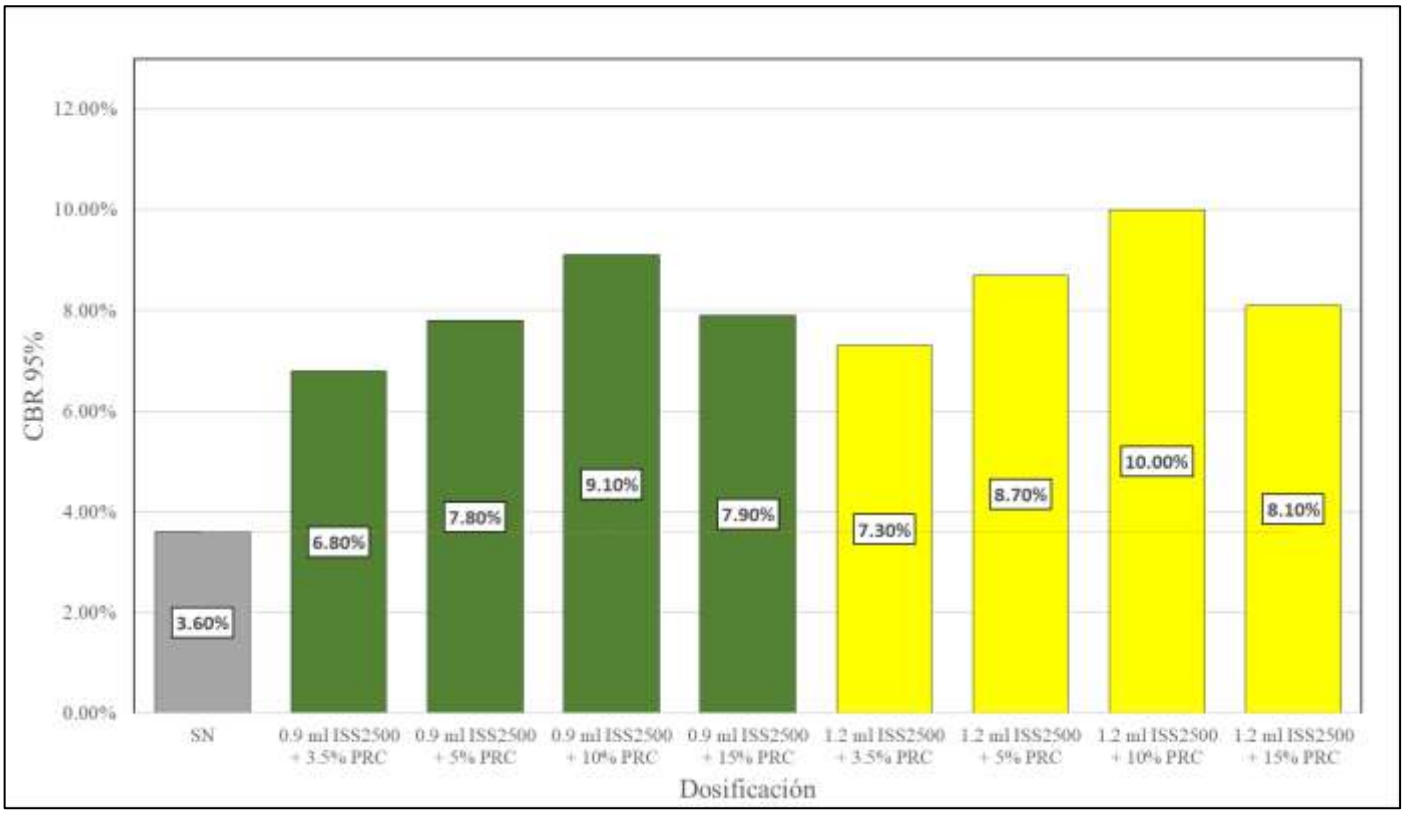
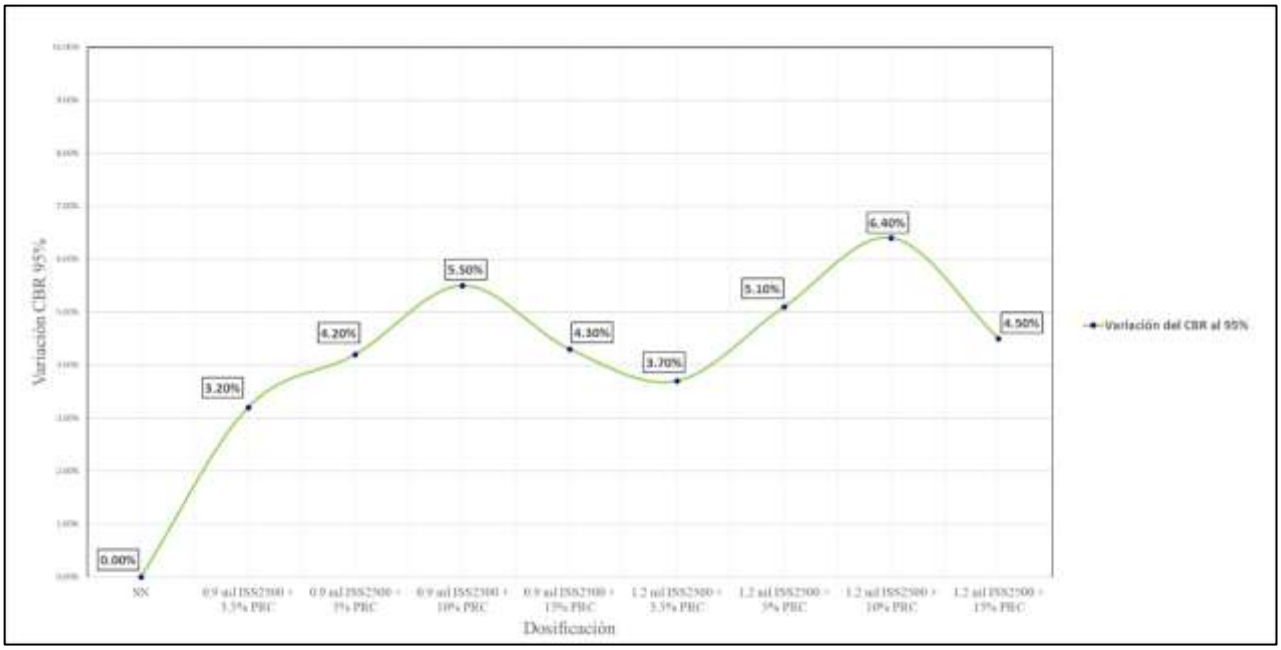


Figura 29

Variación del CBR al 95% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural



Se observó un incremento progresivo del CBR con las dosificaciones de PRC hasta el 10%. El suelo natural (SN) presentó un CBR de 3.60%, lo que evidencia su limitada capacidad de soporte y la necesidad de estabilización para mejorar sus propiedades mecánicas. Tras la estabilización, las mezclas mostraron un incremento significativo en el CBR, con valores que oscilaron entre 6.80% y 10.00%. La mezcla más eficiente fue la compuesta por 1.2 ml de ISS2500 y 10% de PRC (Y01), con un CBR de 10.00%, lo que representa un aumento del 6.40% respecto al suelo natural.

El análisis comparativo mostró un incremento progresivo en el valor del CBR conforme aumentó la dosificación de PRC hasta un 10%. Sin embargo, al emplear una dosificación del 15% de PRC (Z01), el CBR disminuyó ligeramente a 8.10%. Este comportamiento puede atribuirse al exceso de partículas no cohesivas que dificultaron la compactación adecuada, afectando la resistencia del material. Por otro lado, las mezclas estabilizadas con 1.2 ml de ISS2500 obtuvieron mejores valores de CBR que aquellas con 0.9 ml, evidenciando que una mayor concentración de estabilizador iónico mejora significativamente las propiedades cohesivas y el peso unitario seco máximo del suelo. Esto se refleja en un aumento de su resistencia relativa bajo condiciones de carga.

5.3.2 *Resultados del CBR al 100% de PSM*

Los valores CBR al 100 % del peso unitario seco máximo mostraron un aumento sustancial en la capacidad de carga del suelo estabilizado en comparación con el suelo natural. La Tabla 40 y la Figura 30 muestran los resultados obtenidos.

Tabla 40

CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

Código	Dosificación	CBR al 100% Dosificado	CBR 100% Patrón	Variación del CBR al 100%
C-01	SN	4.70%	4.70%	0.00%
R01	0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC	9.60%	4.70%	4.90%
S01	0.9 ml ISS2500 + 5% PRC	11.20%	4.70%	6.50%
T01	0.9 ml ISS2500 + 10% PRC	12.80%	4.70%	8.10%
U01	0.9 ml ISS2500 + 15% PRC	11.20%	4.70%	6.50%
V01	1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC	10.10%	4.70%	5.40%
X01	1.2 ml ISS2500 + 5% PRC	11.80%	4.70%	7.10%
Y01	1.2 ml ISS2500 + 10% PRC	13.80%	4.70%	9.10%
Z01	1.2 ml ISS2500 + 15% PRC	11.80%	4.70%	7.10%

Figura 30

CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC

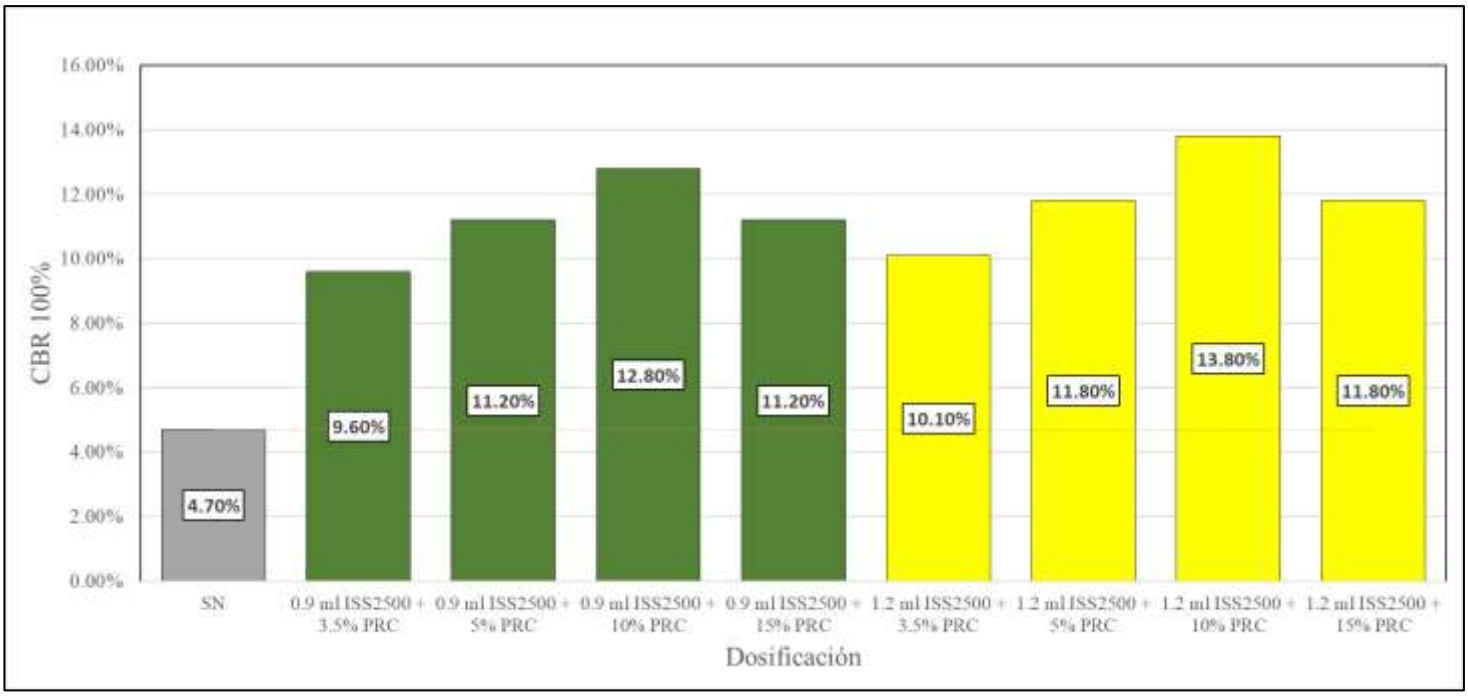
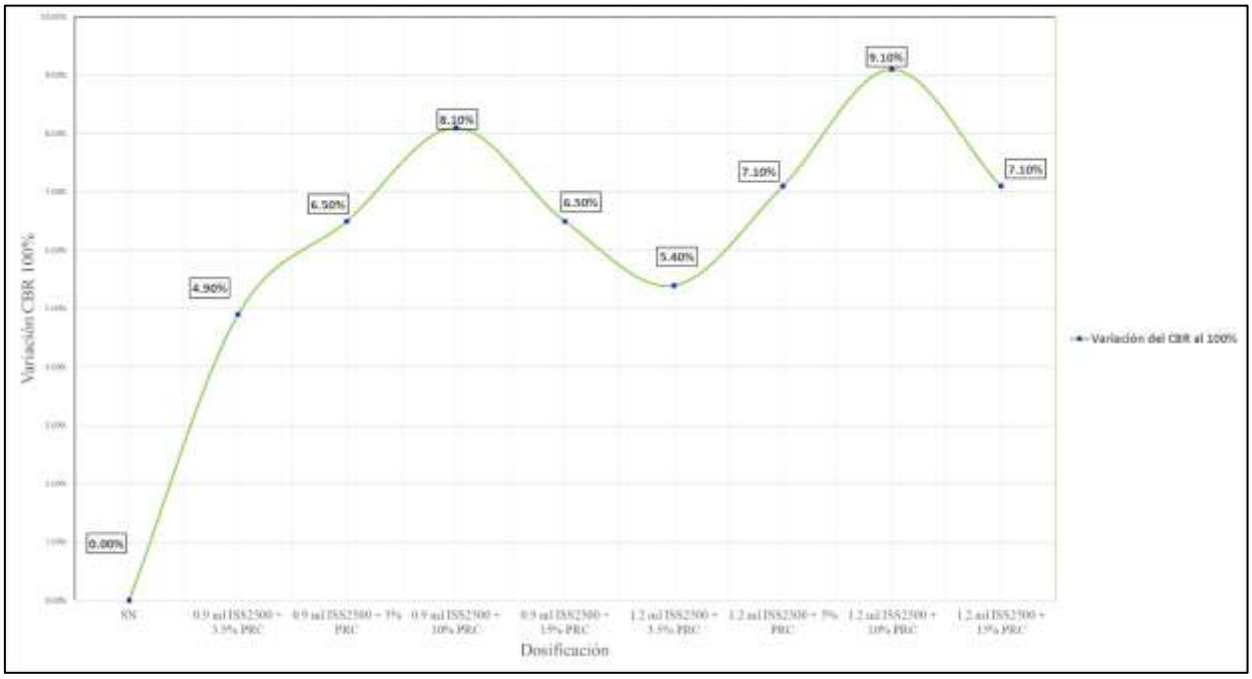


Figura 31

Variación del CBR al 100% de PSM según Dosificaciones de ISS2500 y PRC Respecto al Suelo Natural



El suelo natural presentó un CBR de 4.70%, lo que evidencia su limitada capacidad para soportar cargas. Tras el proceso de estabilización, las mezclas preparadas alcanzaron valores de CBR que oscilaron entre 9.60% (incremento del 4.90%) y 13.80% (incremento del 9.10%). La mezcla más eficiente fue aquella compuesta por 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500 y un 10% de polvo de residuos de caucho, logrando un CBR de 13.80%, lo que representa un aumento significativo del 9.10% respecto al suelo natural.

El análisis comparativo permitió determinar que las dosificaciones con 10% de PRC (T01 y Y01) fueron las más efectivas, alcanzando los valores más altos de CBR. En contraste, al emplear una dosificación del 15% de PRC (Z01), se observó una ligera disminución en el CBR, alcanzando 11.80%. Esto confirma que una proporción del 10% de PRC es óptima para maximizar la compactación y mejorar las características de resistencia del suelo estabilizado.

5.3.3 *Análisis Comparativo de los Resultados*

Los resultados obtenidos demostraron que el PRC, gracias a sus propiedades físicas, favorece la estabilidad granular del suelo al incrementar el peso unitario y reducir los vacíos entre partículas, lo que mejora notablemente la compactación. Por otro lado, el ISS2500, mediante su acción química, estabiliza las partículas del suelo, promoviendo una mayor cohesión y resistencia estructural, especialmente cuando se combina con porcentajes óptimos de PRC.

Tras realizar los experimentos, se determinó que la combinación que consistía en 1.2 ml de ISS2500 y un 10 % de PRC (Y01) era la más eficaz. Se obtuvieron valores de CBR muy superiores al 95 % y al 100 % del peso unitario seco máximo alcanzado. El suelo estabilizado se clasifica ahora en una categoría de subrasante con una mejor capacidad portante como resultado de estos cambios. Esto se traduce en un aumento de la resistencia relativa del suelo a la tensión de penetración y en una disminución de su sensibilidad a las fluctuaciones del contenido de humedad y las condiciones de carga.

La mezcla Y01, conformada por 1.2 ml de ISS2500 y 10% de PRC, alcanzó un CBR de 10.00% al 95% del PSM, clasificándola como S3: Subrasante Buena, según el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (MTC, 2014, p. 37); al 100% del PSM, la misma mezcla logró un CBR de 13.80%, permaneciendo en la categoría S3: Subrasante

Buena. De acuerdo con la clasificación, esta categoría indica un suelo con capacidad portante adecuada para el soporte de estructuras de pavimento, optimizando su desempeño ante cargas vehiculares y reduciendo la necesidad de intervenciones adicionales de estabilización.

Estos resultados demuestran la alta eficiencia de esta mezcla para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, proporcionando un soporte adecuado para cargas vehiculares y cumpliendo con las exigencias técnicas establecidas en el Manual de Carreteras.

CAPÍTULO VI:
CONCLUSIONES

- La estabilización del suelo arcilloso de la subrasante en la Av. Jacinto Ibarra, mediante la adición de 10% de polvo de caucho reciclado (PRC) y 1.2 ml de estabilizador iónico ISS2500, permitió mejorar significativamente sus propiedades físicas y mecánicas. Se alcanzó un peso unitario seco máximo de 18.05 kN/m³ y un contenido óptimo de humedad del 14.27%, garantizando una compactación adecuada en condiciones de campo. Asimismo, el ensayo CBR evidenció un incremento de la capacidad portante del suelo de 4.70% en estado natural a 13.80% al 100% de compactación, lo que clasifica al suelo estabilizado en la categoría S3: Subrasante Buena establecida por MTC (2014). Además, el uso de polvo de caucho reciclado promueve la sostenibilidad al reutilizar residuos industriales, reduciendo el impacto ambiental y contribuyendo a una solución técnica y ambientalmente viable para proyectos de infraestructura vial.

- El suelo arcilloso de la Av. Jacinto Ibarra fue caracterizado como un material fino con baja plasticidad y baja capacidad portante. Se determinó que el 70.1% del material pasa la malla N°200, clasificándose como arcilla de baja plasticidad (CL) según SUCS y A-6(9) según AASHTO, con un límite líquido de 39%, un límite plástico de 22% y un índice de plasticidad de 17%. Además, los ensayos Proctor Modificado y CBR mostraron un peso unitario seco máximo de 16.97 kN/m³, un contenido de humedad óptimo de 16.85% y un CBR de 4.70% al 100% de compactación, clasificando el suelo natural dentro de la categoría S1: Subrasante Insuficiente establecida por MTC (2014). Estos parámetros evidenciaron la limitada capacidad del suelo natural para cumplir con los requisitos de una subrasante en infraestructura vial, fundamentando la necesidad de estabilización.

- A través de ensayos experimentales, se determinó que la combinación óptima de estabilización es la adición de 10% de PRC y 1.2 ml de ISS2500. Esta mezcla logró un peso unitario seco máximo de 18.05 kN/m³ y un contenido óptimo de humedad de 14.27%, optimizando la compactación del suelo. Asimismo, se obtuvo un CBR de 13.80% al 100% de compactación, representando una mejora del 9.10% respecto al suelo natural. Esta

dosificación optimiza la cohesión y la resistencia mecánica del suelo, garantizando su viabilidad técnica para su implementación en campo.

- Los ensayos permitieron evaluar las diferencias entre el suelo natural y el suelo estabilizado. Se observó que el peso unitario seco del suelo estabilizado era un 6.36 % mayor que el del suelo natural. Además, se comprobó que la flexibilidad del suelo había disminuido, lo que se tradujo en un aumento de su cohesión interna y su estabilidad cuando se sometía a tensiones dinámicas. El aumento del CBR del 4.70 % al 13.80 % demostró una mejora considerable en la capacidad de carga del suelo, lo que validó el éxito de la estabilización con la dosis elegida.

- Tras realizar una investigación exhaustiva de los resultados, se determinó que el método más eficaz para estabilizar el suelo arcilloso de la avenida Jacinto Ibarra era combinar un 10% de PRC con 1.2 ml de ISS2500. Mediante la aplicación de esta combinación, se mejoró la capacidad de carga del suelo, se optimizó su compactación y se redujo su flexibilidad, lo que dio como resultado un suelo más estable y adecuado para soportar condiciones de carga y humedad. Además, el uso de PRC contribuye a promover prácticas sostenibles mediante el reciclaje de residuos de procesos industriales. Esto permite incorporar una solución técnica y ecológicamente viable al desarrollo de proyectos de infraestructura vial en la zona. Estos resultados demuestran que el enfoque utilizado es adecuado y que puede utilizarse en futuras iniciativas de estabilización del suelo.

CAPÍTULO VII:
RECOMENDACIONES

- La aplicación óptima del estabilizador iónico ISS2500 y polvo de caucho reciclado (PRC) requiere una dosificación precisa de 10% de PRC y 1.2 ml de ISS2500 por m^2**,** con una humedad óptima del 14.27% y una compactación del 100% del peso unitario seco máximo (18.05 kN/m^3)**.** Para garantizar la uniformidad de la mezcla, el estabilizador debe integrarse con el agua antes de su incorporación al suelo, replicando las condiciones de laboratorio en obra bajo estricta supervisión.

- El uso de recursos de calidad superior es fundamental para lograr el éxito en el proceso. Para evitar anomalías que puedan afectar a la cohesión del suelo, el PRC debe triturarse de manera uniforme. Por otro lado, el ISS2500 debe diluirse en la cantidad adecuada de agua. Además, es de suma importancia controlar la calidad del agua utilizada, asegurándose de que no haya impurezas que puedan modificar la respuesta estabilizadora.

- Antes de implementar el sistema a gran escala, es recomendable realizar pruebas in situ, como el ensayo Proctor modificado y el índice de soporte de California (CBR), con el fin de verificar la repetibilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio. Mediante el uso de estas pruebas, se podrán ajustar las modificaciones en la dosis de agua y el nivel de compactación según sea necesario.

- Una de las ventajas de utilizar el PRC como estabilizador es que no solo mejora las cualidades mecánicas del suelo, sino que también contribuye a la preservación del medio ambiente al reutilizar residuos industriales que, de otro modo, contribuirían a la contaminación. El contexto peruano, en el que el reciclaje y la reutilización de materiales son prioritarios en la infraestructura vial, es un escenario en el que esta técnica cobra especial importancia.

- Para evaluar el desempeño del suelo estabilizado en condiciones reales, se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo, que contemple mediciones periódicas del peso unitario, contenido de humedad y capacidad portante bajo diferentes condiciones de tráfico y clima.

- Asimismo, es necesario ampliar los estudios a diversas condiciones climáticas y cargas dinámicas para evaluar el comportamiento del suelo estabilizado en distintos escenarios. Comparar esta técnica con otros métodos de estabilización, como el uso de cal o cemento, permitirá establecer su eficacia relativa en la mejora de suelos para infraestructura vial.

REFERENCIAS

Akbar Frioozi, A., Olgun, C. G., Asghar Firoozi, A., & Shojaei Baghini, M. (2017). Fundamentals of soil stabilization. *International Journal of Geo-Engineering, 8*(26). doi:https://doi.org/10.1186/s40703-017-0064-9

Akbarimeh, D., & Aflaki, E. (2018). An experimental study on the effect of tire powder on the geotechnical properties of clay soils. *Civil Engineering Journal, 4*(3), 594-601. https://doi.org/10.28991/cej-0309118

Alhassan, H., & Olaniyi, L. (2013). Effect of 'Ionic Soil Stabilizer 2500' on the properties of black cotton soil. *British Journal of Applied Science & Technology, 3*(3). https://doi.org/10.9734/BJAST/2014/3041

Alvarez, N., Gutierrez, J., Duran, G., & Pacheco, L. (2020). Experimental study of the mechanical effect of a clayey soil by adding rubber powder for geotechnical applications. *Revista IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 758*. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/758/1/012057

Augustin Fondjo, S. A., Theron, E., & Ray, R. (2021). Stabilization of Expansive Soils Using Mechanical and Chemical Methods: A Comprehensive Review. *Civil Engineering and Architecture, 9*(5), 1295 -1308. https://doi.org/10.13189/cea.2021.090503

Canta Chombo, D. (2023). *Influencia de la estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cal en la capacidad portante para uso como capa de rodadura a nivel de afirmado en la carretera Lulicocha–Huancamachay del distrito de San Francisco de Yarusyacán, Pasco.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio UNDAC. https://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/3092

Das, B. M. (2010). Principles of geotechnical engineering (7.ª ed.). Cengage Learning. https://www.cengage.com/c/principles-of-geotechnical-engineering-7e-das/9780495411307/

Das, B. M. (2013). Principles of geotechnical engineering (4.ª ed.). Cengage Learning. https://www.cengage.com/c/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-4a-edicion-das/

Das, B. M. (2014). Principles of geotechnical engineering (8.ª ed.). Cengage Learning. https://www.cengage.com/c/principles-of-geotechnical-engineering-8e-das/9781133108665/

DSG SAC. (2015). *Estabilizador iónico ISS2500* [Presentación técnica]. Road Material Stabilizers SPA.

Espinosa Pilonieta, L. C., & Quintero Vivas, A. K. (2020). *Estado del arte basado en investigaciones a nivel mundial sobre mejoramiento de suelo con adición de grano de caucho y residuo de vidrio* [Proyecto de grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Institucional UPB. https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/12388

Gómez, L. A., & Parra, Y. (2015). *Influencia de fluidos en el comportamiento de la doble capa difusa en arcillas* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional de la Universidad Católica de Colombia. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/fa123775-4083-42dc-9e5c-85bd14af6b27/content

Grim, R. E. (1953). Clay mineralogy. McGraw-Hill. https://archive.org/details/claymineralogy00grim

Hernández Aguilar, M. A., Escalaya Advíncula, M. R., & Vega López, R. S. (2023). Caracterización geotécnica de los suelos arcillosos de Pucallpa. *Perfiles de Ingeniería*, *9*(20). https://doi.org/10.31381/perfilesingenieria.v19i20.6312

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Hillier, S. (1978). Clay mineralogy. En M. J. G. V. Middleton (Ed.), *Sedimentology. Encyclopedia of Earth Science* (pp 223–228). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-31079-7_47

Manik, M., Iswan, I., & Jafri, M. (2015). Hubungan batas cair dan plastisitas indeks tanah lempung yang distabilisasi dengan ISS2500 terhadap nilai kohesi pada uji geser langsung dan uji tekan bebas. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain Infrastruktur* (JRSDD),

3(2).
https://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/view/459

Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente, & CEDEX. (2007). Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.
http://www.carreteros.org/normativa/firmes/pdfs/otros_pdf/si/manualnfu052007.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013).
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. MTC.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). Manual de carreteras: Diseño geométrico (DG-2018).
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Mitchell, J. K., & Soga, K. (2005). Fundamentals of soil behavior (3.ª ed.). Wiley.

Murthy, V. N. S. (2002). Geotechnical engineering: Principles and practices of soil mechanics and foundation engineering. Marcel Dekker.
https://doi.org/10.1201/9781482275858

Naseem, A., Mumtaz, W., Jalal, F. E., & De Backer, H. (2019). Stabilization of expansive soil using tire rubber powder and cement kiln dust. *Soil Mechanics and Foundation Engineering, 56*(1).
https://doi.org/10.1007/s11204-019-09569-8

Núñez del Prado, H. (2018). Problemática geotécnica en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas. *Sociedad Geológica del Perú*, (14).
https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/CPG19-55.pdf

Obianigwe, N., & Ngene, B. (2018). Soil stabilization for road construction: Comparative analysis of a three-prong approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 413*. https://doi.org/10.1088/1757-899X/413/1/012023

Oktavia, A., Adha, I., & Setyanto. (2021). Analisis ionic soil stabilizer (ISS2500) terhadap nilai durabilitas tanah lempung plastisitas rendah pada perkerasan jalan. *CIVED, 8*(2). https://doi.org/10.24036/cived.v8i2.112885

Petry, T. M., & Das, B. M. (2001). Evaluation of chemical modifiers and stabilizers for chemically active soils: Clays. *Transportation Research Record*, *1757*(1). https://doi.org/10.3141/1757-05

Quispe Chuquillanqui, W. J. (2020). *Estabilización de subrasante de vías en suelos expansivos con cloruro de sodio - Avenida Jacinto Ibarra, distrito de Chilca - Huancayo 2020* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. https://hdl.handle.net/20.500.12394/8216

Smith, T., & Jones, K. (2020). Geotechnical solutions for challenging clay soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, *29*(3), 112-125.

Rodríguez Ramos, M. A., & Patiño, L. V. (2017). Llantas usadas: materia prima para pavimentos y múltiples ecoaplicaciones. *Revista ONTARE*, *5*. https://doi.org/10.21158/23823399.v5.n0.2017.2004

SOSMI S.A. (2024). Estabilizador iónico ISS2500: Producto y tecnología RMS. DSG SAC / Road Material Stabilizers SPA. https://dsgsac.com/documentos/RMS_PRESENTACION_ESTABILIZADOR_ISS2500.pdf

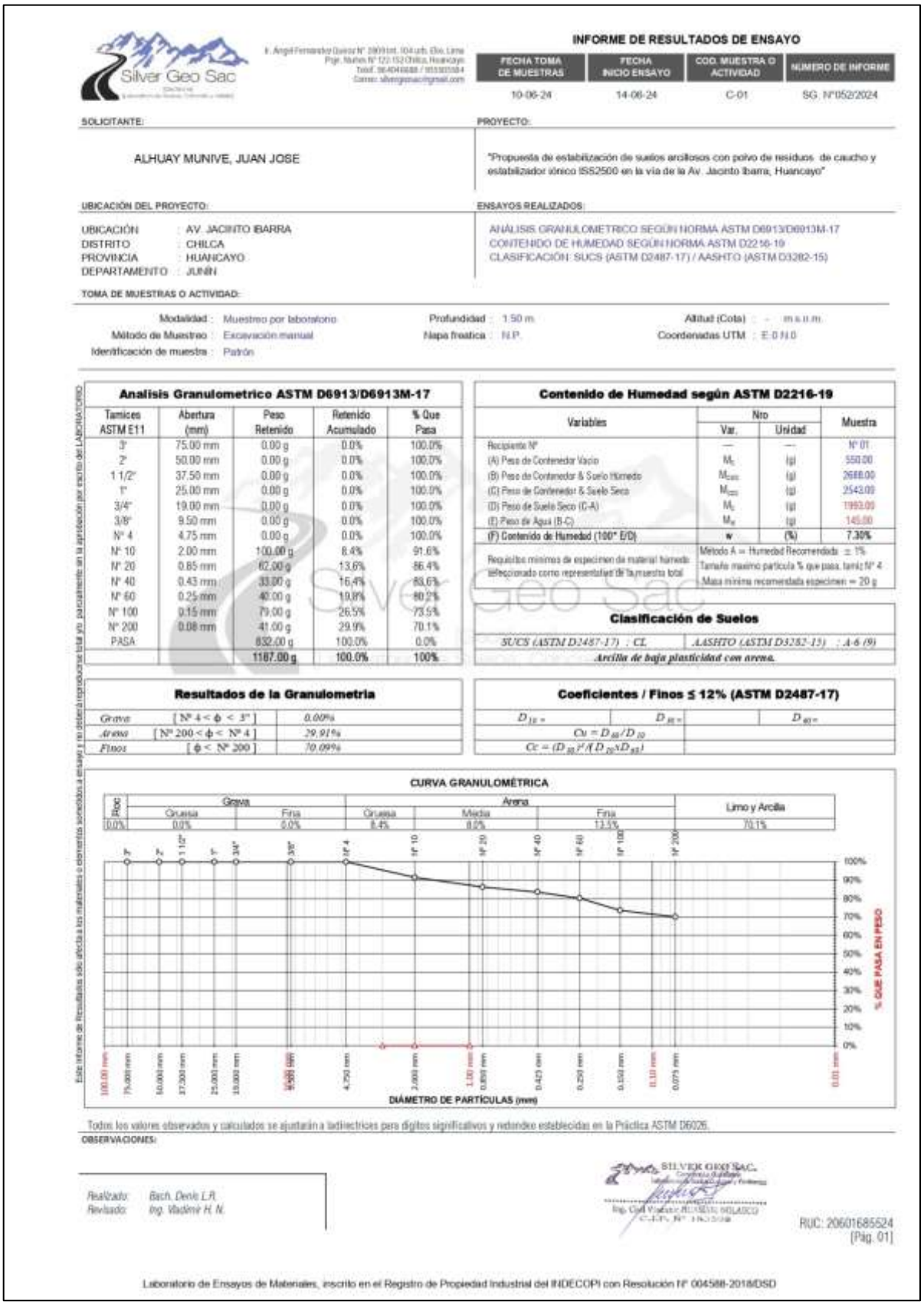
Wood, D. M. (1991). Soil behavior and critical state soil mechanics. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139878272

ANEXOS

Anexo 1. Registro De Excavación

PERFIL ESTRATIGRAFICO								
REGISTRO DE EXCAVACIÓN								
Solicitante		JUAN JOSE ALIHUAYMUNIVE					Coordenadas: 479068.25 m E 8663456.62 m S 18 L	
Proyecto:		'PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CON POLVO DE RESIDUOS DE CAUCHO Y ESTABILIZADOR IONICO ISS2500 EN LA VÍA DE LA AV. JACINTO IBARRA, HUANCAYO.'						
Ubicación:		DISTRITO DE CHILCA, PROVINCIA DEHUANCAYO, JUNIN					Fecha:	28-05-24
Componente:							Muestra:	TODAS
		NIVEL FREATICO NO PRESENTA	Prof. Exc. 1.50	Cota As. 3174.00 (msnm)			ESPESOR (m)	
Cota As. (m)	Estrato	Descripción del Estrato de suelo		CLASIFICACION				
				AASHTO	SUCS	SIMBOLO		
3174.00 m 3172.50 m	I	El material observado corresponde a una arcilla inorgánica de baja plasticidad, clasificada como **CL** según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y como A-6(9) de acuerdo con el Sistema de Clasificación de la AASHTO. Este suelo se caracteriza por un alto contenido de finos, siendo predominantemente partículas menores a 0.075 mm.		A-6 (9)	CL		1.50 m	

Anexo 2. Clasificación Del Suelo Por Granulometría De La Muestra Patrón



Silver Geo Sac

Av. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 604 urb. Elio, Lima
Psje. Nahuis N° 121-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964048688 / 953931584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	C-01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ANÁLISIS GRANULOMETRICO SEGÚN NORMA ASTM D6913/D6913M-17
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGUN NORMA ASTM D2216-19
CLASIFICACIÓN: SUCS (ASTM D2487-17) / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por laboratorio
Método de Muestreo : Excavación manual
Identificación de muestra : Patrón
Profundidad : 1.50 m
Napa freatica : N.P.
Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E 0 N 0

Analisis Granulometrico ASTM D6913/D6913M-17

Tamices ASTM E11	Abertura (mm)	Peso Retenido	Retenido Acumulado	% Que Pasa
3"	75.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
2"	50.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1 1/2"	37.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
1"	25.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/4"	19.00 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
3/8"	9.50 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 4	4.75 mm	0.00 g	0.0%	100.0%
N° 10	2.00 mm	100.00 g	8.4%	91.6%
N° 20	0.85 mm	62.00 g	13.6%	86.4%
N° 40	0.43 mm	33.00 g	16.4%	83.6%
N° 60	0.25 mm	40.00 g	19.8%	80.2%
N° 100	0.15 mm	79.00 g	26.5%	73.5%
N° 200	0.08 mm	41.00 g	29.9%	70.1%
PASA		832.00 g	100.0%	0.0%
		1187.00 g	100.0%	100%

Contenido de Humedad según ASTM D2216-19

Variables	Nro Var.	Unidad	Muestra
Recipiente N°	—	—	N° 01
(A) Peso de Contenedor Vacio	M_c	(g)	550.00
(B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{cms}	(g)	2688.00
(C) Peso de Contenedor & Suelo Seco	M_{cs}	(g)	2542.00
(D) Peso de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	1992.00
(E) Peso de Agua (B-C)	M_w	(g)	146.00
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	7.30%

Requisitos mínimos de especimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total:
Método A = Humedad Recomendada ± 1%
Tamaño maximo particula % que pasa, tamiz N° 4
Masa mínima recomendada especimen = 20 g

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17) : CL	AASHTO (ASTM D3282-15) : A-6 (9)
Arcilla de baja plasticidad con arena.	

Resultados de la Granulometria

Grava	[N° 4 < ϕ < 3"]	0.00%
Arena	[N° 200 < ϕ < N° 4]	29.91%
Finos	[ϕ < N° 200]	70.09%

Coeficientes / Finos ≤ 12% (ASTM D2487-17)

D_{10} =	D_{30} =	D_{60} =
$Cu = D_{60}/D_{10}$		
$Cc = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$		

CURVA GRANULOMÉTRICA

Roc	Grava		Arena			Limo y Arcilla
	Gruesa	Fina	Gruesa	Media	Fina	
0.0%	0.0%	0.0%	8.4%	8.0%	13.5%	70.1%

Todos los valores observados y calculados se ajustarán a tadirectrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6026.

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

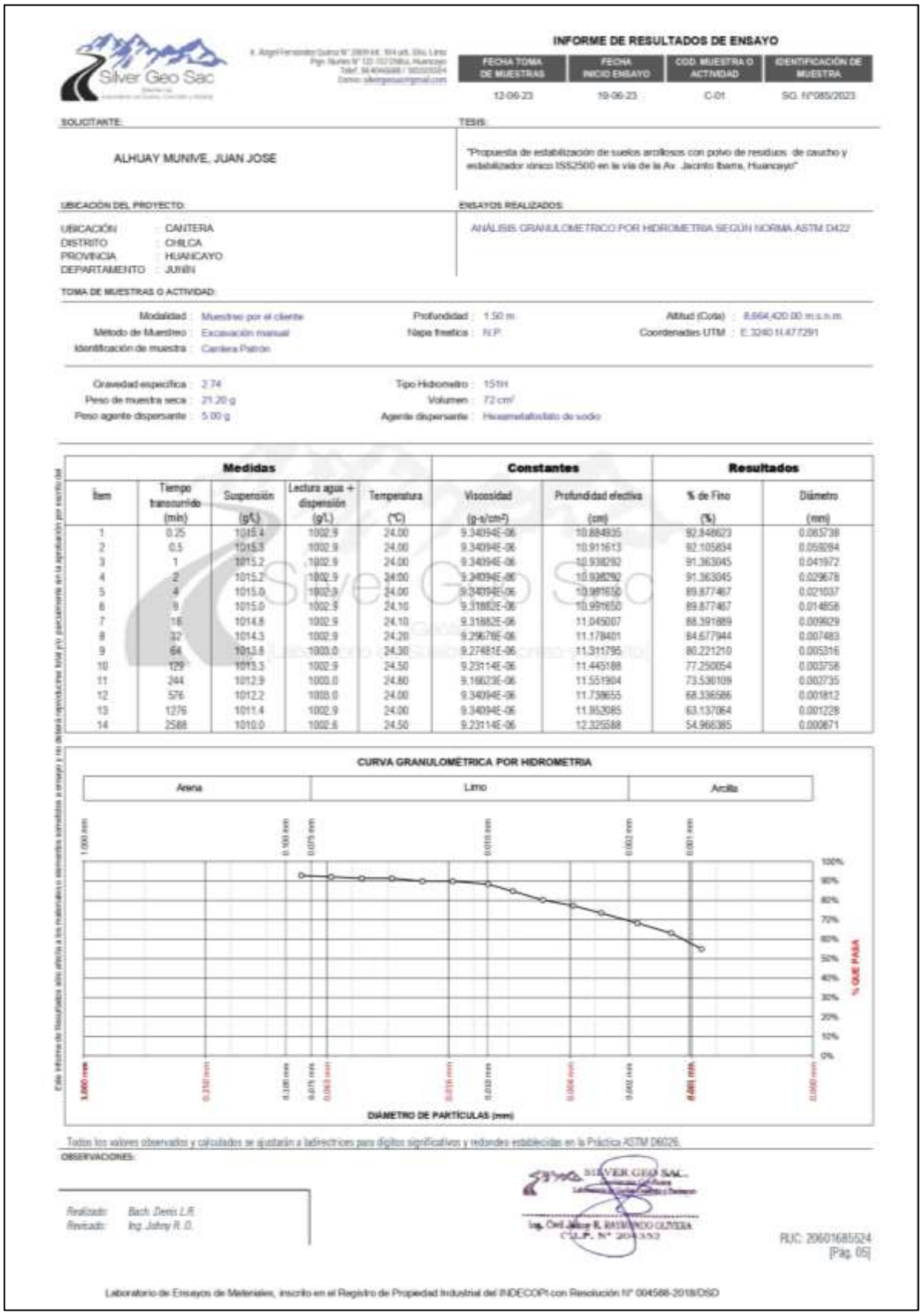
SILVER GEO SAC.
Ing. Civil Vladimir ROMERO HOLASCO
C.I.P. N° 196308

RUC: 20601685524
[Pág. 01]

Este informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no debe reproducirse total ni parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 3. Clasificación Del Suelo Por Hidrometría De La Muestra Patrón



Silver Géo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA
12-06-23	19-06-23	C-01	SG. N°085/2023

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

TESIS:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : CANTERA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR HIDROMETRIA SEGÚN NORMA ASTM D422

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por el cliente
Método de Muestreo : Excavación manual
Identificación de muestra : Cantera Patrón

Profundidad : 1.50 m
Napa freatica : N.P.

Altitud (Cota) : 8,664,420.00 m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E 3240 N 477291

Gravedad específica : 2.74
Peso de muestra seca : 21.20 g
Peso agente dispersante : 5.00 g

Tipo Hidrometro : 151H
Volumen : 72 cm³
Agente dispersante : Hexametafosfato de sodio

	Medidas				Constantes		Resultados	
Ítem	Tiempo transcurrido (min)	Suspensión (g/L)	Lectura agua + dispersión (g/L)	Temperatura (°C)	Viscosidad (g-s/cm²)	Profundidad efectiva (cm)	% de Fino (%)	Diámetro (mm)
1	0.25	1015.4	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.884935	92.848623	0.065738
2	0.5	1015.3	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.911613	92.105834	0.059284
3	1	1015.2	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.938292	91.363045	0.041972
4	2	1015.2	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.938292	91.363045	0.029678
5	4	1015.0	1002.9	24.00	9.34094E-06	10.991650	89.877467	0.021037
6	8	1015.0	1002.9	24.10	9.31882E-06	10.991650	89.877467	0.014858
7	16	1014.8	1002.9	24.10	9.31882E-06	11.045007	88.391889	0.009929
8	32	1014.3	1002.9	24.20	9.29678E-06	11.178401	84.677944	0.007483
9	64	1013.8	1003.0	24.30	9.27481E-06	11.311795	80.221210	0.005316
10	129	1013.3	1002.9	24.50	9.23114E-06	11.445188	77.250054	0.003758
11	244	1012.9	1003.0	24.80	9.16623E-06	11.551904	73.536109	0.002735
12	576	1012.2	1003.0	24.00	9.34094E-06	11.738655	68.336586	0.001812
13	1276	1011.4	1002.9	24.00	9.34094E-06	11.952085	63.137064	0.001228
14	2588	1010.0	1002.6	24.50	9.23114E-06	12.325588	54.966385	0.000871

CURVA GRANULOMÉTRICA POR HIDROMETRIA

Todos los valores observados y calculados se ajustarán a lasdirectrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6026.

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Johny R. O.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Jaime R. RAYMUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 204352

RUC: 20601685524
[Pag. 05]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Este informe de resultados solo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no debe reproducirse total o parcialmente sin la aprobación por escrito del

Anexo 4. Límites De Consistencia De La Muestra Patrón

Silver Geo Sac

Jr. Ángel Fernández Quirós N° 2809 Int. 104 urb. Elio, Lima
Psje. Nailes N° 122-102 Chilca, Huancayo
Telef: 964646688 / 965555584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	M01	S.G. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA ASTM D4318-17e1
CLASIFICACIÓN SEGÚN: SUCS ASTM D2487-17 / AASHTO (ASTM D3282-15)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Muestreo por laboratorio
Método de Muestreo : Excavación manual
Identificación de muestra : Patrón
Profundidad : 1.50 m.
Napa freatica : N.P.
Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Limites de Atterberg (ASTM D4318-17e1)

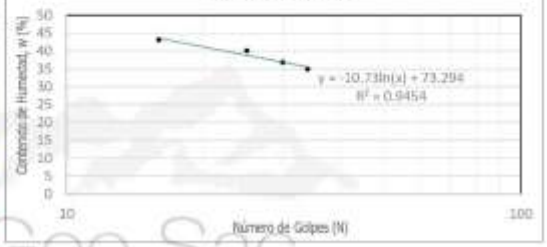
Límite Líquido (Método Multipunto)

Variable	Nro. Ver.	Unidad	01	02	03	04
Numero de Golpes	N	Golpes	16	25	30	34
Recipiente Nº	---	---	Nº 16	Nº 14	Nº 15	Nº 16
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_C	(g)	24.20	22.50	23.40	21.00
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{CSH}	(g)	53.10	56.80	61.40	53.90
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{CS}	(g)	44.40	47.00	51.20	45.40
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_S	(g)	20.20	24.50	27.80	24.40
(E) Mass of Water (B-C)	M_W	(g)	8.70	9.80	10.20	8.50
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	43.07	40.00	36.69	34.84

Límite Plástico (Método Manual)

Variable	Nro. Ver.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente Nº	---	---	Nº 17	Nº 18	Nº 19	Nº 20
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_C	(g)	22.50	23.00	23.20	22.40
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{CH}	(g)	56.80	61.20	57.80	58.40
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{CS}	(g)	50.40	54.00	52.00	52.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_S	(g)	27.90	31.00	28.80	29.60
(E) Mass of Water (B-C)	M_W	(g)	6.40	7.20	5.80	6.40
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	22.94	23.23	20.14	21.62

Curva de Fluidez



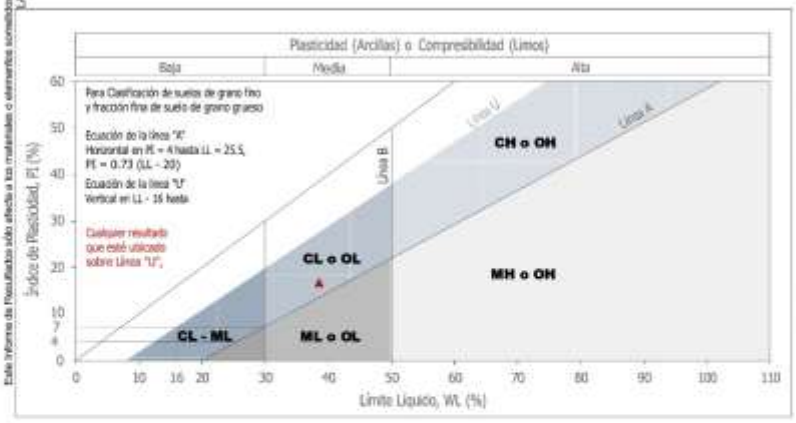
Resultados Limites de Atterberg (ASTM D4318-17e1)

Liquid Limit (LL,w L)	: 38.6%	Plastic Limit (PL,w P)	: 22.0%	Plasticity Index (PI)	: 16.7%

Clasificación de Suelos

SUCS (ASTM D2487-17)	: CL	AASHTO (ASTM D3282-15)	: A-6 (9)

Arcilla de baja plasticidad con arena.



LEYENDA

- Suelo sin cohesión
- Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
- Limos inorgánicos de baja compresibilidad
- Arcillas inorgánicas de media plasticidad
- Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
- Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
- Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas

Ecuación de la línea "A" Sobre A

Carta de Plasticidad elaborada según: Figure 4.21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das 9th. Edition

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN NOLASCO
C.I.P. N° 196319

RUC: 20601685524
[Pág. 02]

Este informe de resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total ni parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO.

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 5. Proctor Modificado De La Muestra Patrón

Silver Geo Sac

Jr. Ángel Fernández Quiroz N° 2800 int. 104 urb. Elio, Lima
Pcjo. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 364046688 / 955925584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	N01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: Patrón
Profundidad: 1.50 m
Símbolo Suelo: CL
Altitud (Cota): - m.s.n.m
Coordenadas UTM: E 0 N 0

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro Var.	Nro Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{SHC}	(g)	5825.00	5990.00	6040.00	6014.00
(B) Peso del Molde	M_{CDC}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Húmedo Compactado	(A - B)	(g)	1680.00	1845.00	1895.00	1869.00
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Húmeda	(C/D)	gr/cm^3	1.820	2.000	2.060	2.030

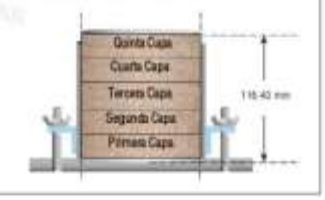
Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro

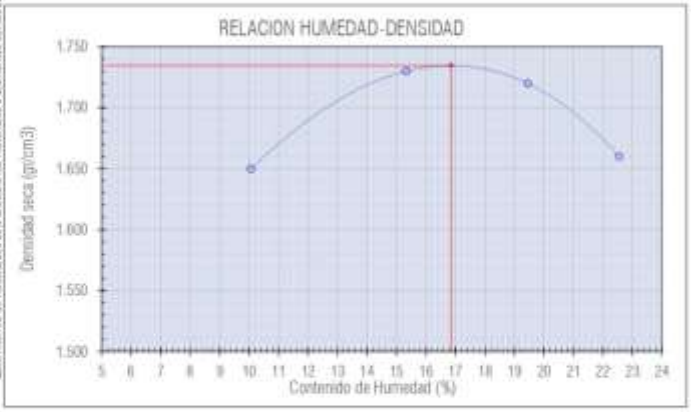


Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro Var.	Nro Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 32	N° 33	N° 34	N° 35
(A) Masa de Contenedor Vacío	M_C	(g)	50.36	51.02	52.34	52.38
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{CHC}	(g)	316.92	283.84	289.40	303.17
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{CDC}	(g)	292.55	252.90	250.80	257.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_S	(g)	242.19	201.88	198.46	204.62
(E) Mass of Water (B-C)	M_W	(g)	24.37	30.94	38.60	46.17
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	10.06	15.33	19.45	22.56
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.650	1.730	1.720	1.660

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3) : 1.73

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 16.85

Humedad de las Partículas finas - Proctor Modificado

Este informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total y/o parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

OBSERVACIONES:

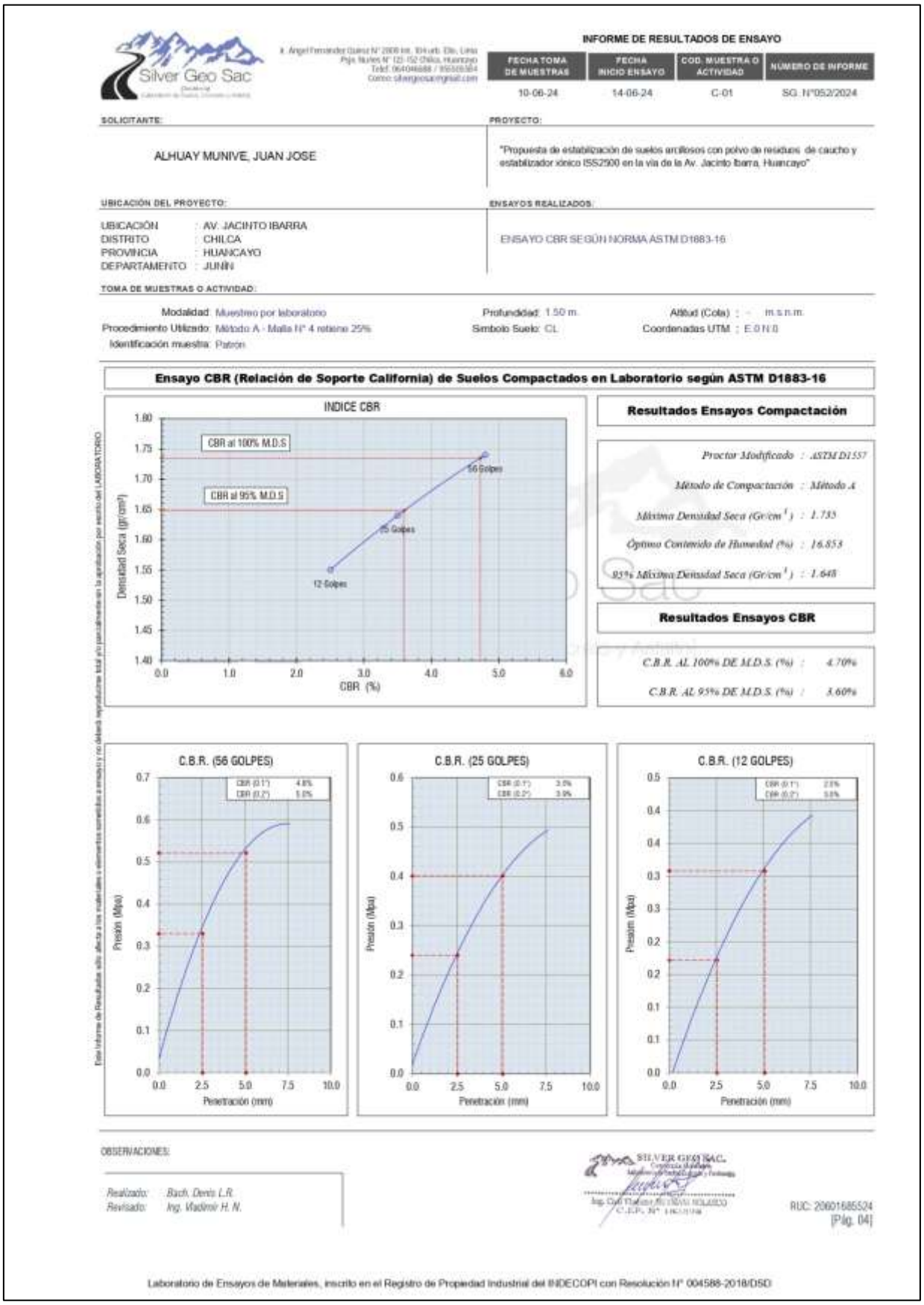
Realizado: *Bach. Denis L.R.*
Revisado: *Ing. Vladimir H. N.*

SILVER GEO SAC.
Ing. Civil Vladimir HUAYRAN VOLASCO
C.I.P. N° 1[illegible]

RUC: 20601685524
[Pág. 03]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 6. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón



Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernández Quiroz N° 2808 Int. 104 urb. Elio, Lima
Pcja. Nuñez N° 123-152 Chilca, Huancayo
Telef. 064046688 / 955505364
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	C-01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: Patrón
Profundidad: 1.50 m.
Símbolo Suelo: CL
Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

Resultados Ensayos Compactación

Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.735
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 16.853
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.648

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 4.70%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 3.60%

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Cyril Thomas RICHARD NOLASCO
C.I.P. N° 116.[illegible]

RUC: 20601685524
[Pág. 04]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 7. Proctor Modificado De La Muestra Con 0.9 Ml ISS2500 + 3.5% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	R01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

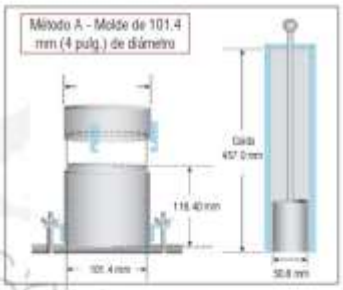
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

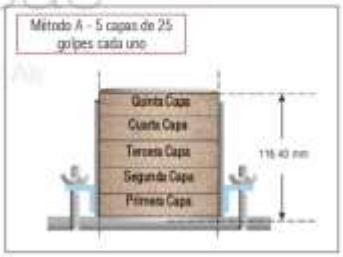
Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5830.00	6012.00	6052.00	6020.00
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1685.00	1867.00	1907.00	1875.00
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.830	2.030	2.070	2.040



Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 36	N° 37	N° 38	N° 39
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	50.52	50.72	51.23	52.13
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{mh}	(g)	310.23	321.81	330.75	326.37
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{cs}	(g)	284.57	287.75	290.00	278.58
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	234.05	237.03	238.77	226.45
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	25.66	34.06	40.75	47.79
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	10.96	14.37	17.07	21.10
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.650	1.770	1.770	1.680





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.78*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*15.67*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 05]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 8. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 0.9 Ml ISS2500 + 3.5% PRC

Silver Geo Sac

Av. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elio, Lima
Psje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964096888 / 933535584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO:	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	R01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de resíduos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

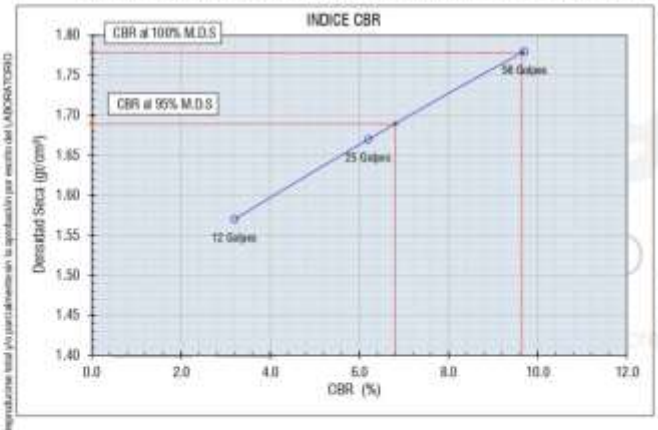
ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: – — Altitud (Cota) : – m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Simbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM : E.0 N.0
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

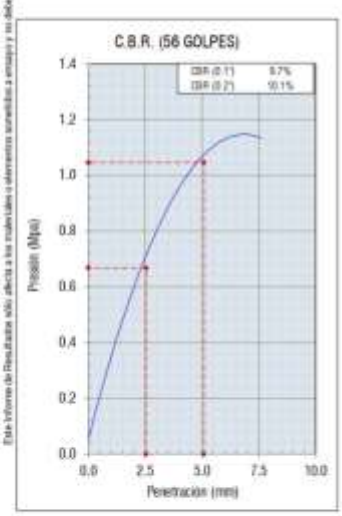


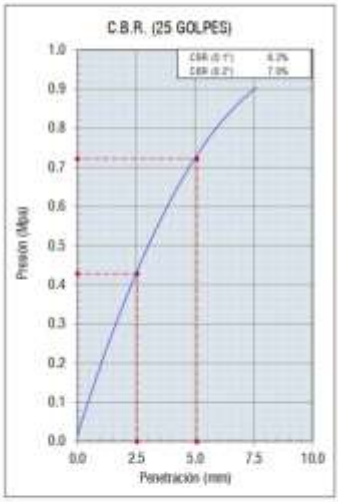
Resultados Ensayos Compactación

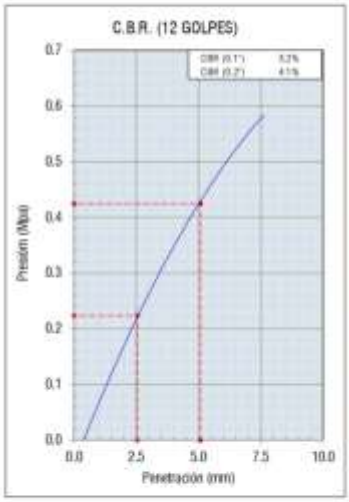
Proctor Modificado	*: ASTM D1557*
Método de Compactación	*: Método A*
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	*: 1.778*
Optimo Contenido de Humedad (%)	*: 15.673*
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	*: 1.689*

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	*: 9.60%*
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	*: 6.50%*







OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC.
Ing. Civil Vladimir ALHUAY NOLASCO
C.I.P. N° 1XXXXX

RUC: 20601685524
[Pág. 06]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Este Informe de Resultados solo afecta a los muestreos o elementos suministrados a ensayo y no deberá reproducirse total y/o parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

Anexo 9. Proctor Modificado De La Muestra Con 0.9 Ml ISS2500 + 5.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	S01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE: ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO: "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

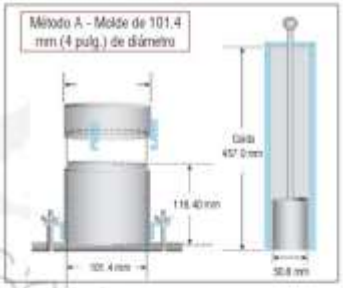
Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 5.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5888.00	6029.00	6056.00	6030.20
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1743.00	1884.00	1911.00	1885.20
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.890	2.050	2.080	2.050

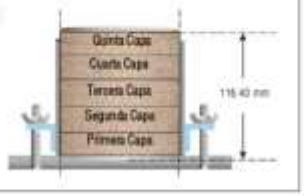
Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro

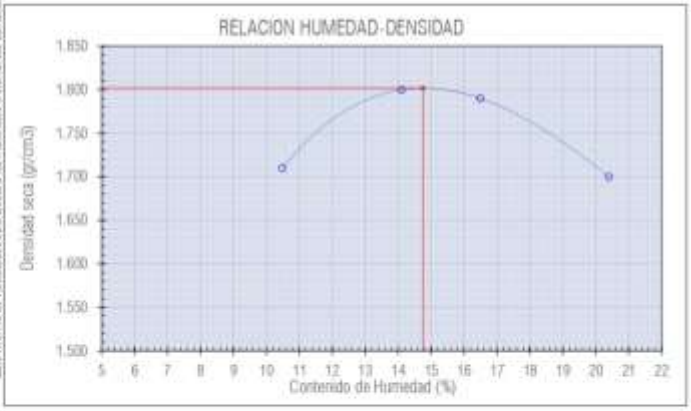


Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 44	N° 45	N° 46	N° 47
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	46.78	50.17	48.94	47.74
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{cmh}	(g)	339.37	299.62	298.77	305.70
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{csc}	(g)	311.60	268.80	263.40	262.00
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	264.82	218.63	214.46	214.26
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	27.77	30.82	35.37	43.70
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	10.49	14.10	16.49	20.40
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.710	1.800	1.790	1.700

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.80*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*14.70*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 09]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 10. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 0.9 Ml ISS2500 + 5.0% PRC

Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 urb. Elio, Lima
Pcje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964046888 / 933503584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	S01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

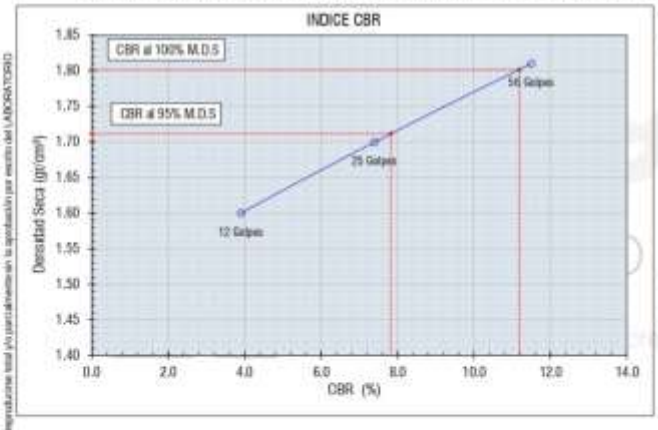
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 5.0% PRC

Profundidad: --
Símbolo Suelo: CL

Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

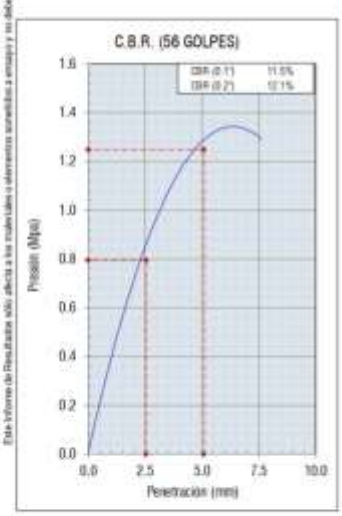


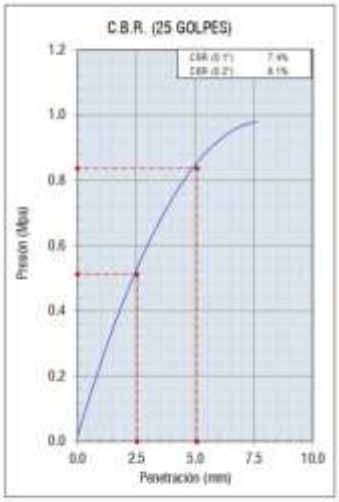
Resultados Ensayos Compactación

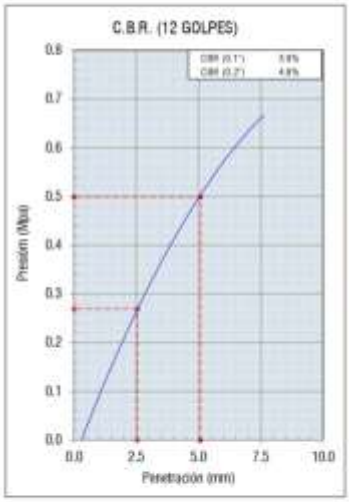
Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.802
Optimo Contenido de Humedad (%) : 14.752
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.712

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 11.20%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 7.80%







Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total y/o parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN NOLASCO
C.I.P. N° 146.1.1.1

RUC: 20601685524
[Pág. 10]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 11. Proctor Modificado De La Muestra Con 0.9 Ml ISS2500 + 10.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	T01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE: ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO: "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

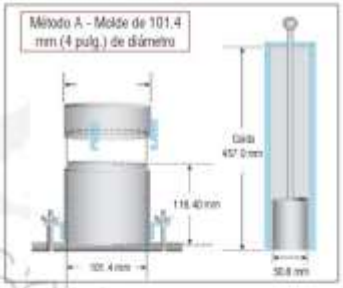
Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 10.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5870.00	6072.74	6099.96	6038.36
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1725.00	1927.74	1954.96	1893.36
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.870	2.090	2.120	2.060

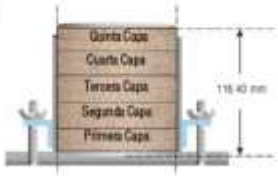
Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro



Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 52	N° 53	N° 54	N° 55
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	48.18	52.59	46.70	48.64
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{hm}	(g)	280.81	305.27	290.16	316.69
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{cs}	(g)	260.00	274.57	256.44	271.11
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	211.82	221.98	209.74	222.27
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	20.81	30.70	33.72	45.58
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.82	13.83	16.08	20.51
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.700	1.840	1.830	1.710

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.84*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*14.48*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

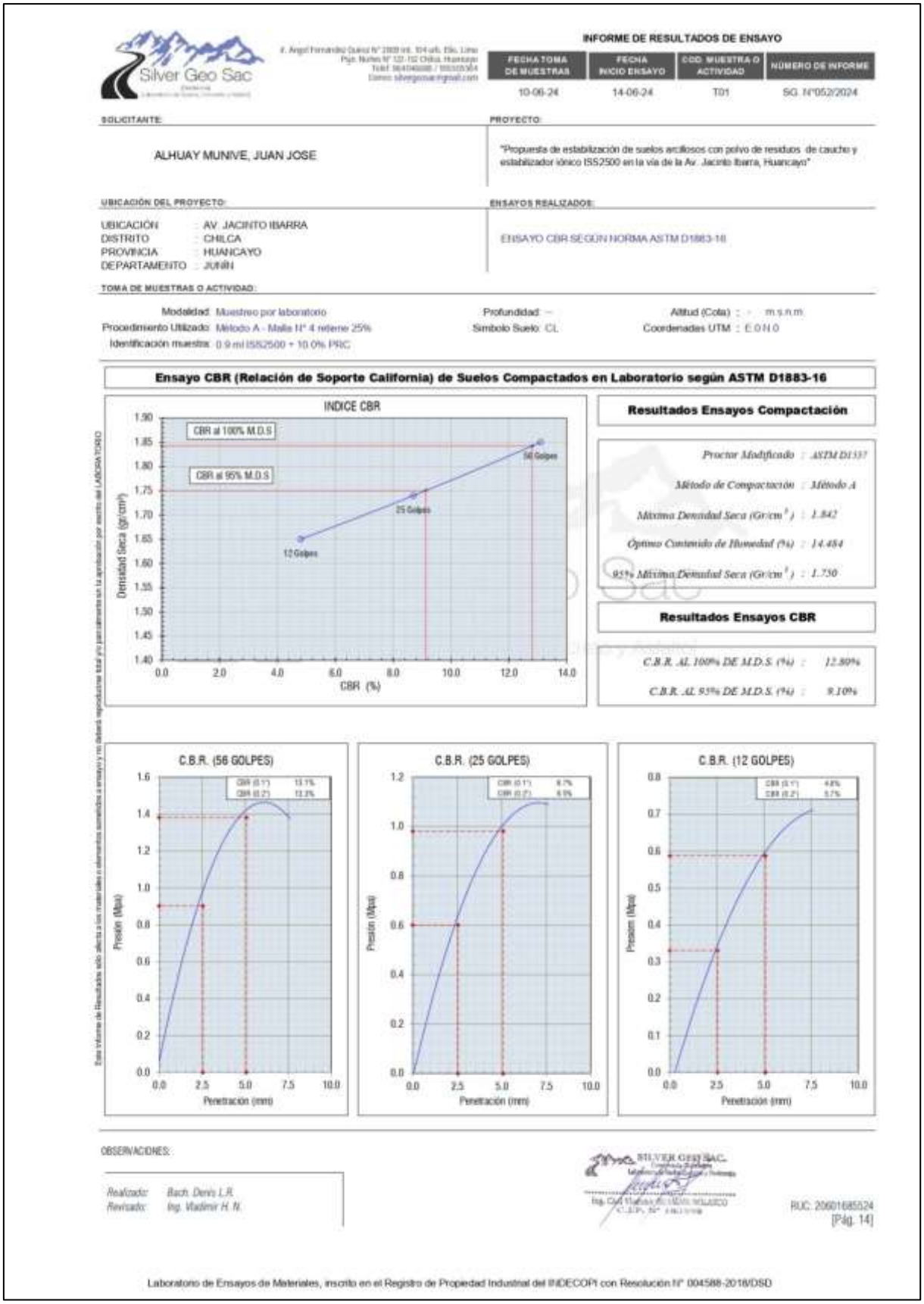
SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 13]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 12. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 0.9 Ml ISS2500 + 10.0% PRC



Silver Geo Sac

Av. Angel Fernandez Dulanto N° 2888 Int. 304 urb. Elio, Lima
Psje. Nueva N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964046888 / 955555554
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	T01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:
ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:
"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:
UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:
ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 10.0% PRC
Profundidad: --
Simbolo Suelo: CL
Altitud (Cota) : - m.s.n.m
Coordenadas UTM : E.O.N.O

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

Resultados Ensayos Compactación

Proctor Modificado	:	ASTM D1557
Método de Compactación	:	Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	:	1.842
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	14.484
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	:	1.750

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	:	12.80%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	:	9.10%

Este informe de Resultados solo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no debera reproducirse total ni parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC.
Ing. CIP N°

RUC. 20601685524
[Pág. 14]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 13. Proctor Modificado De La Muestra Con 0.9 Ml ISS2500 + 15.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	U01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE: ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO: "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

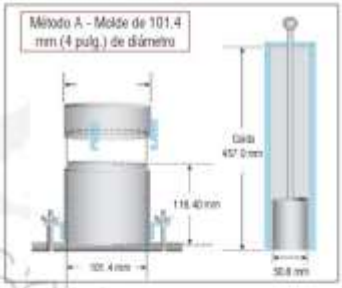
Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 15.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5851.19	5990.90	6046.90	6010.54
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1706.19	1845.90	1901.90	1865.54
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.850	2.010	2.070	2.030

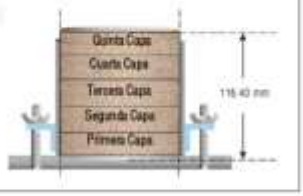
Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro

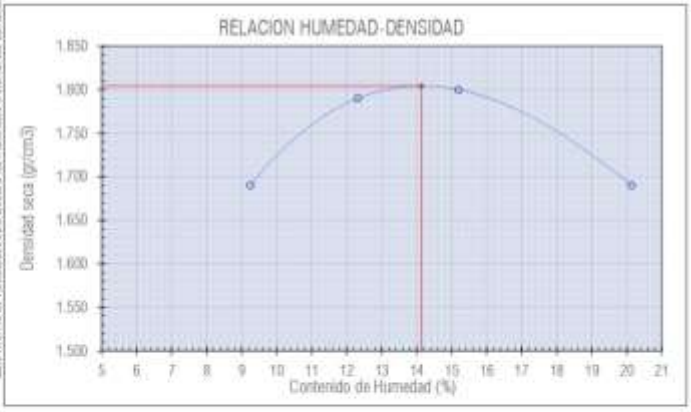


Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 60	N° 61	N° 62	N° 63
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	48.67	47.83	52.92	49.68
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{mh}	(g)	292.34	339.44	314.66	301.85
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{cs}	(g)	271.70	307.45	280.15	259.58
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	223.03	259.62	227.23	209.90
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	20.64	31.99	34.51	42.27
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.25	12.32	15.19	20.14
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.690	1.790	1.800	1.690

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3) : 1.80
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.14

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

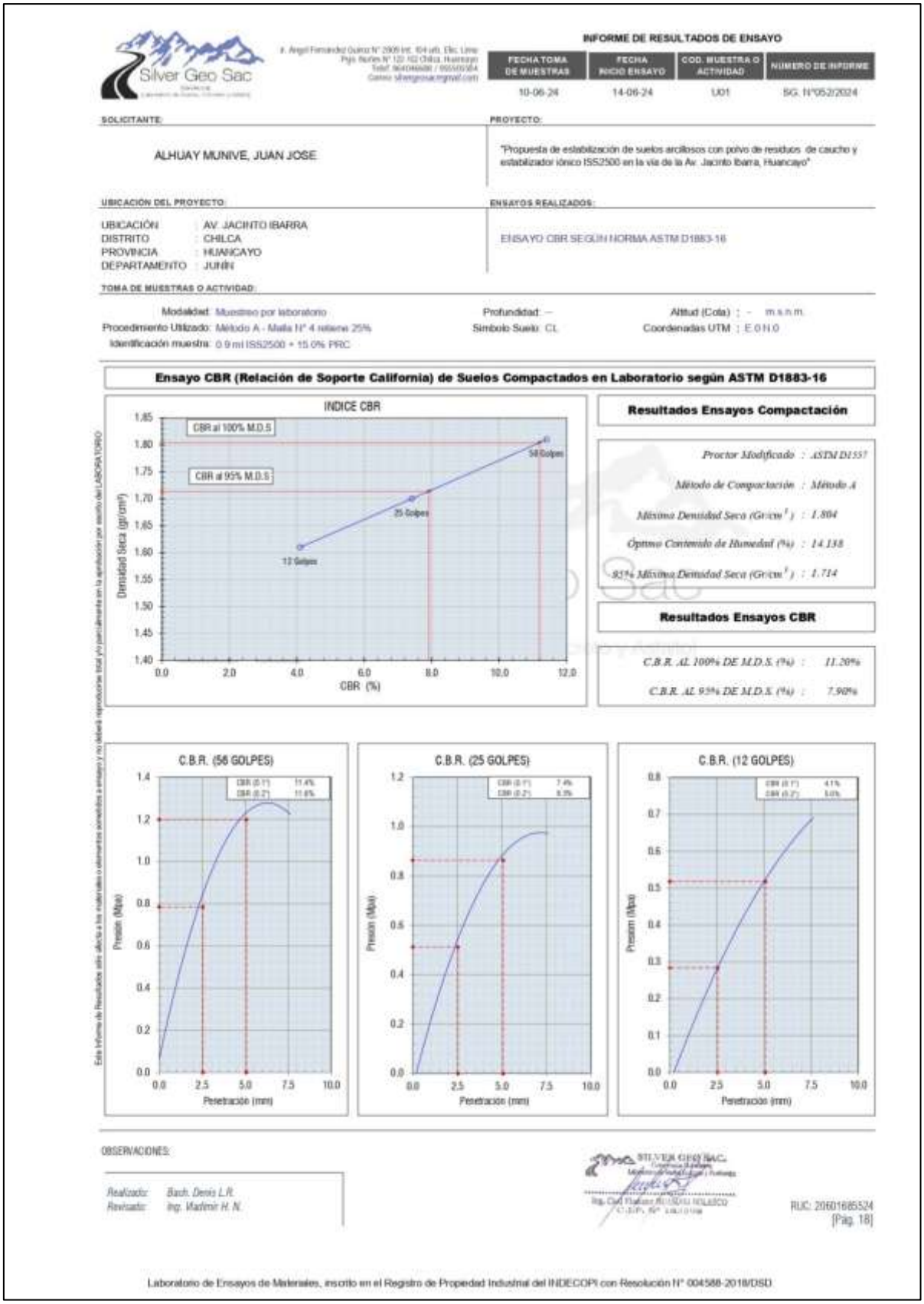
SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 17]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 14. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 0.9 Ml ISS2500 + 15.0% PRC



Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2909 Int. 104 urb. Elic. Lima
Pjs. Norte N° 122 102 Chilca, Huancayo
Telef. 964046480 / 955555384
Correo silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	U01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 0.9 ml ISS2500 + 15.0% PRC

Profundidad: –
Símbolo Suelo: CL

Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

Resultados Ensayos Compactación

Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.804
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.138
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.714

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 11.20%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 7.90%

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC.
Ing. Civil Fiscalizador RUSSELL SOLASCO
C.I.P. N° 148.0198

RUC: 20601685524
[Pág. 18]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 15 Proctor Modificado De La Muestra Con 1.2 Ml ISS2500 + 3.5% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	V01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE: ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO: "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

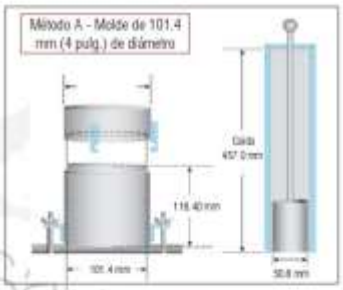
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

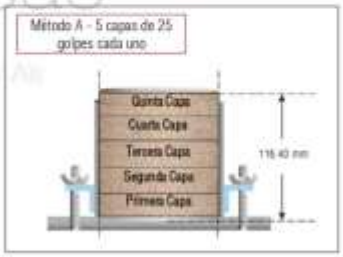
Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5835.00	5991.00	6063.00	6025.00
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1690.00	1846.00	1918.00	1880.00
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.840	2.010	2.080	2.040



Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 68	N° 69	N° 70	N° 71
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	53.48	48.57	52.00	47.15
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{cmh}	(g)	308.73	332.39	339.98	322.66
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{csc}	(g)	286.12	298.83	298.65	275.03
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	232.64	250.26	246.65	227.88
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	22.61	33.56	41.33	47.63
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.72	13.41	16.76	20.90
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.680	1.770	1.780	1.690





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.78*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*15.56*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 21]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 16. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 1.2 Ml ISS2500 + 3.5% PRC

Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 urb. Elio, Lima
Pje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964046888 / 933503584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	V01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

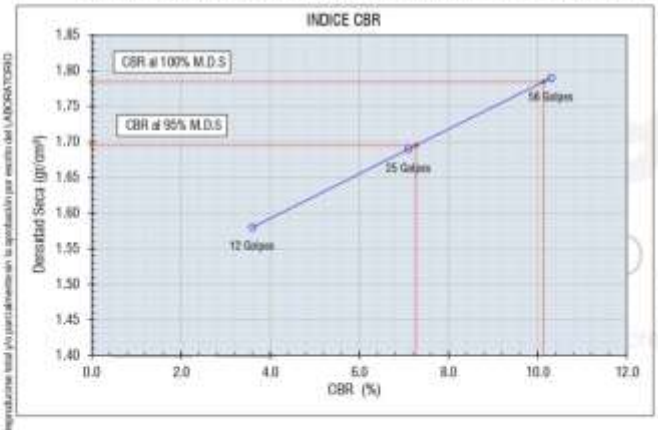
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 3.5% PRC

Profundidad: --
Simbolo Suelo: CL

Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

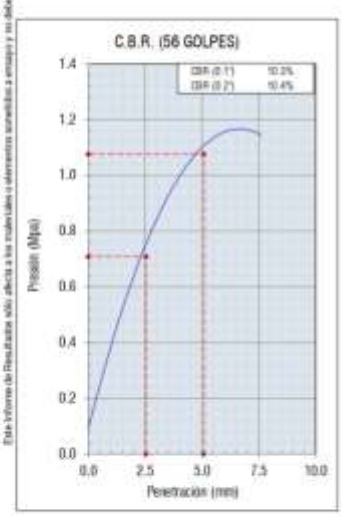


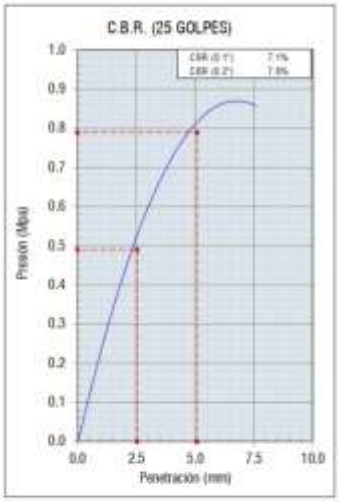
Resultados Ensayos Compactación

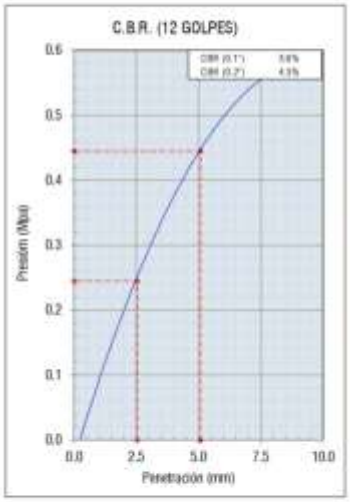
Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.785
Optimo Contenido de Humedad (%) : 15.564
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.695

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 10.10%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 7.30%







OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN NOLASCO
C.I.P. N° 146.1.1.1

RUC: 20601685524
[Pág. 22]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 17. Proctor Modificado De La Muestra Con 1.2 Ml ISS2500 + 5.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	X01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

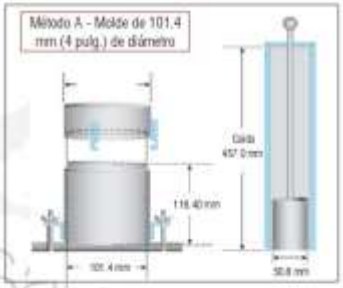
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 5.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

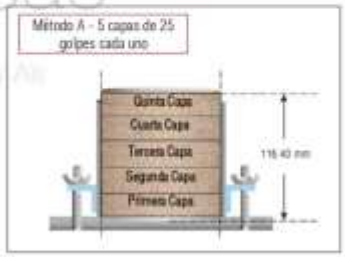
Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5832.00	6026.00	6070.00	6016.00
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1687.00	1881.00	1925.00	1871.00
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.830	2.050	2.090	2.030



Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 76	N° 77	N° 78	N° 79
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	46.87	48.40	51.16	48.82
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{mh}	(g)	344.52	304.80	327.68	300.71
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{cs}	(g)	318.64	274.60	290.70	257.40
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	271.77	226.20	239.54	208.58
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	25.88	30.20	36.98	43.31
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.52	13.35	15.44	20.76
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.670	1.810	1.810	1.680





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.82*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*14.37*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 25]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 18. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 1.2 Ml ISS2500 + 5.0% PRC

Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 urb. Elio, Lima
Pje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964046888 / 955505584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	X01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

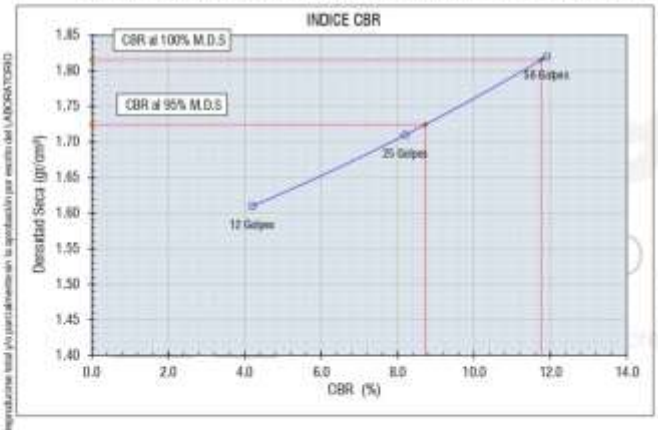
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 5.0% PRC

Profundidad: --
Simbolo Suelo: CL

Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

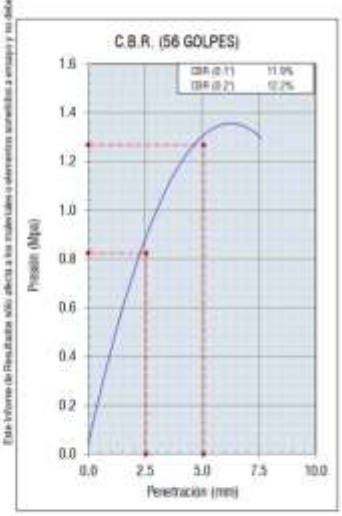


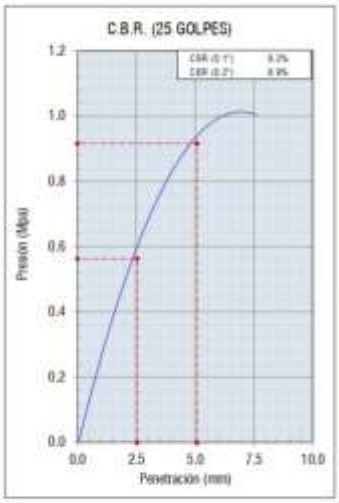
Resultados Ensayos Compactación

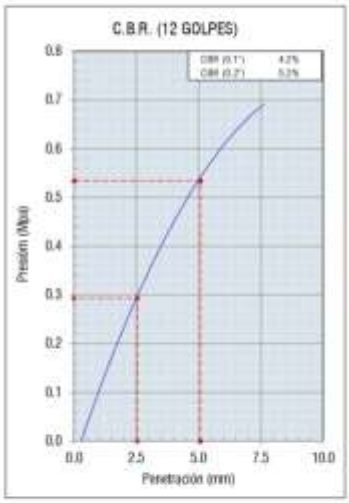
Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.815
Optimo Contenido de Humedad (%) : 14.367
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.725

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 11.80%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 8.70%







OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN NOLASCO
C.I.P. N° 146.1.1.1

RUC: 20601685524
[Pág. 26]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 19. Proctor Modificado De La Muestra Con 1.2 Ml ISS2500 + 10.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	Y01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

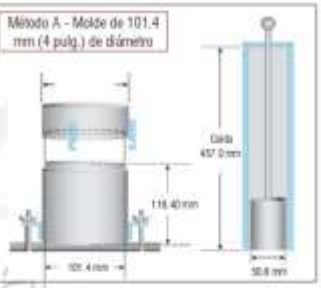
Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 10.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5852.29	6050.29	6092.43	6036.28
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1707.29	1905.29	1947.43	1891.28
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.850	2.070	2.120	2.050

Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro

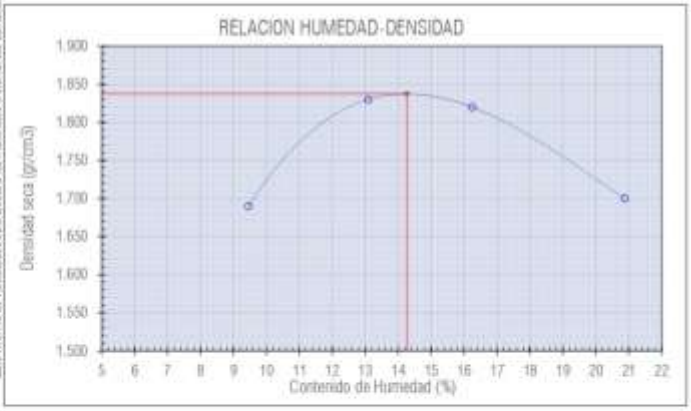


Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 84	N° 85	N° 86	N° 87
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	49.88	45.82	49.22	49.03
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{cmh}	(g)	348.22	295.42	292.16	333.91
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{csc}	(g)	320.60	266.53	258.21	284.70
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	270.72	220.71	208.99	235.67
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	25.62	28.89	33.95	49.21
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.46	13.09	16.24	20.88
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.690	1.830	1.820	1.700

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.84*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*14.27*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir ROJAS SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 29]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 20. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 1.2 Ml ISS2500 + 10.0% PRC

Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2859 Int. 104 urb. Chilca, Huancayo
Pqt. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964045668 / 932532584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NUMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	Y01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

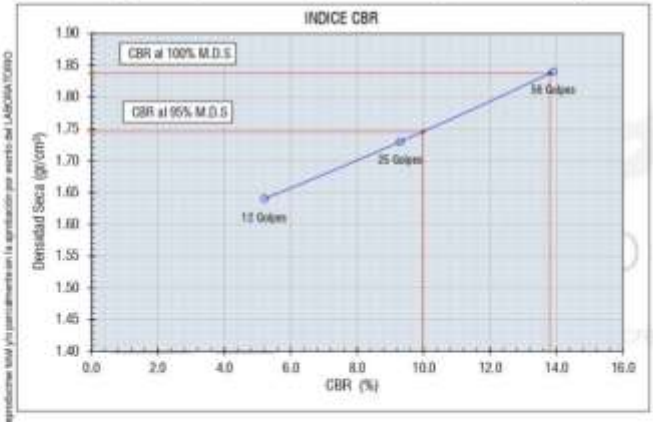
ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: – — Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Simbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM : E 0 N 0
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 10.0% PRC

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

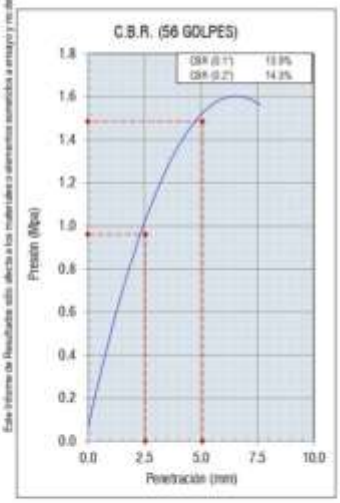


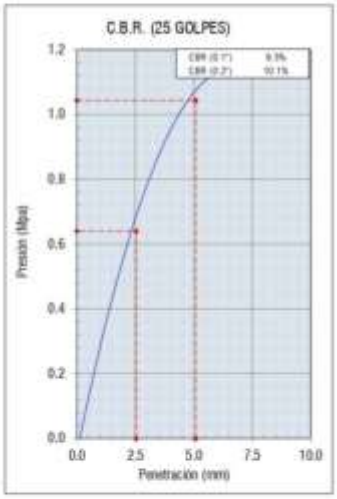
Resultados Ensayos Compactación

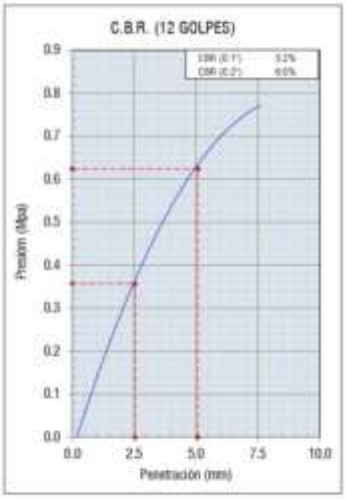
Proctor Modificado	*ASTM D1557*
Método de Compactación	*Método A*
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	*1.837*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*14.263*
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³)	*1.746*

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	*13.80%*
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	*10.00%*







OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir H. VILLON SOLANO

RUC: 20601685524
[Pág. 30]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 21. Proctor Modificado De La Muestra Con 1.2 Ml ISS2500 + 15.0% PRC

Silver Geo Sac

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	Z01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA ASTM D1557-12e1
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA ASTM D2216-19

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

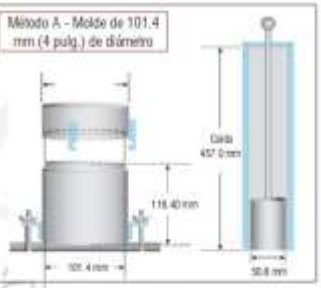
Modalidad: Muestreo por laboratorio — Profundidad: -- — Altitud (Cota): -- m.s.n.m.
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25% — Símbolo Suelo: CL — Coordenadas UTM: E 0 N 0
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 15.0% PRC

Compactación de suelo - Proctor Modificado según (ASTM D1557-12e1)

Compactación según ASTM D1557-12e1

Variable	Nro. Var.	Unidad	N° 01	N° 02	N° 03	N° 04
Numero de Capas	N	Capas	5.00	5.00	5.00	5.00
Numero de Golpes por Capa	N	Golpes	25.00	25.00	25.00	25.00
(A) Masa del Suelos humedo & Molde	M_{suc}	(g)	5836.00	6025.00	6065.00	6020.00
(B) Peso del Molde	M_{mc}	(g)	4145.00	4145.00	4145.00	4145.00
(C) Peso de Suelo Humedo Compactado	(A - B)	(g)	1691.00	1880.00	1920.00	1875.00
(D) Volumen del Molde	V	cm^3	920.60	920.60	920.60	920.60
(E) Densidad Humeda	(C / D)	gr/cm^3	1.840	2.040	2.090	2.040

Método A - Molde de 101.4 mm (4 pulg.) de diámetro

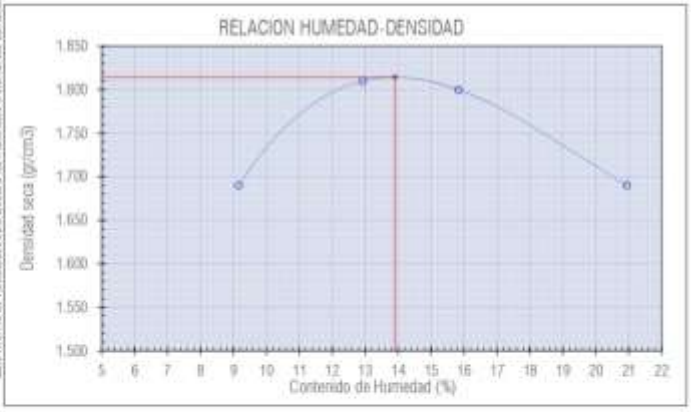


Contenido de Húmedad según ASTM D2216-10

Variable	Nro. Var.	Unidad	01	02	03	04
Recipiente N°	---	---	N° 92	N° 93	N° 94	N° 95
(A) Masa de Contenedor Vacio	M_c	(g)	51.81	48.65	52.36	47.66
(B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo	M_{cmh}	(g)	304.00	337.30	347.83	323.24
(C) Masa de Contenedor & Suelo Seco	M_{csc}	(g)	282.84	304.24	307.45	275.50
(D) Masa de Suelo Seco (C-A)	M_s	(g)	231.03	255.59	255.09	227.84
(E) Mass of Water (B-C)	M_w	(g)	21.16	33.06	40.38	47.74
(F) Contenido de Humedad (100* E/D)	w	(%)	9.16	12.93	15.83	20.95
(G) Densidad Seca		gr/cm^3	1.690	1.810	1.800	1.690

Método A - 5 capas de 25 golpes cada uno





Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm3)	*1.81*
Óptimo Contenido de Humedad (%)	*13.90*

Humedad de las Particulas finas - Proctor Modificado

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN SOLARTE

RUC: 20601685524
[Pág. 33]

Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 22. California Bearing Ratio De La Muestra Patrón Con 1.2 Ml ISS2500 + 15.0% PRC

Silver Geo Sac

Jr. Angel Fernandez Quiroz N° 2809 Int. 104 urb. Elio, Lima
Pcje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
Telef. 964046888 / 933503584
Correo: silvergeosac@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

FECHA TOMA DE MUESTRAS	FECHA INICIO ENSAYO	COD. MUESTRA O ACTIVIDAD	NÚMERO DE INFORME
10-06-24	14-06-24	Z01	SG. N°052/2024

SOLICITANTE:

ALHUAY MUNIVE, JUAN JOSE

PROYECTO:

"Propuesta de estabilización de suelos arcillosos con polvo de residuos de caucho y estabilizador iónico ISS2500 en la vía de la Av. Jacinto Ibarra, Huancayo"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : AV. JACINTO IBARRA
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ENSAYO CBR SEGÚN NORMA ASTM D1883-16

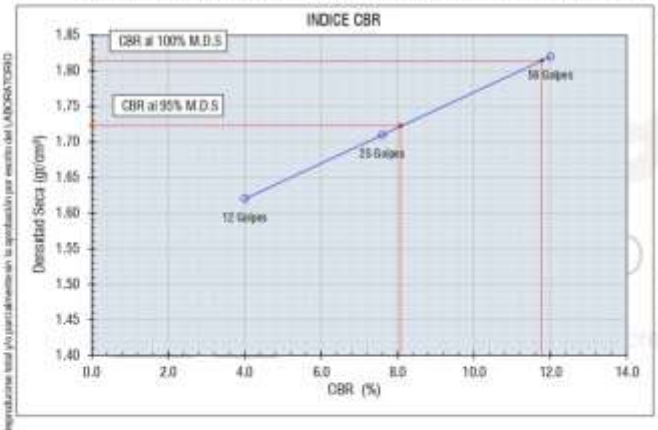
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Muestreo por laboratorio
Procedimiento Utilizado: Método A - Malla N° 4 retiene 25%
Identificación muestra: 1.2 ml ISS2500 + 15.0% PRC

Profundidad: --
Símbolo Suelo: CL

Altitud (Cota) : - m.s.n.m.
Coordenadas UTM : E.0 N.0

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según ASTM D1883-16

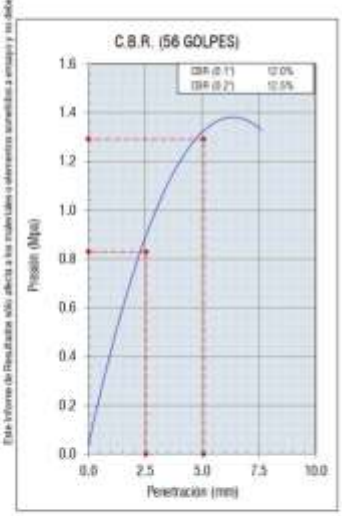


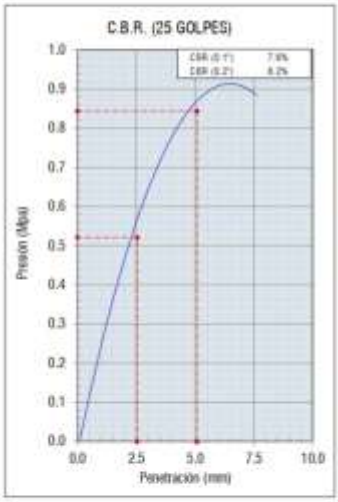
Resultados Ensayos Compactación

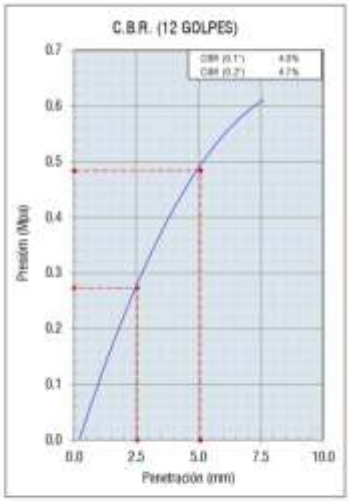
Proctor Modificado : ASTM D1557
Método de Compactación : Método A
Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.814
Óptimo Contenido de Humedad (%) : 13.897
95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.724

Resultados Ensayos CBR

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%) : 11.80%
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%) : 8.10%







Este Informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total y/o parcialmente sin la aprobación por escrito del LABORATORIO

OBSERVACIONES:

Realizado: Bach. Denis L.R.
Revisado: Ing. Vladimir H. N.

SILVER GEO SAC
Ing. Civil Vladimir HUAMAN NOLASCO
C.I.P. N° 146.1118

RUC: 20601685524
[Pág. 34]

Laboratorio de Ensayos de Materiales, inscrito en el Registro de Propiedad Industrial del INDECOPI con Resolución N° 004588-2018/DSD

Anexo 23. Certificado de Especificación del Producto y Control de Calidad

DSG
SERVICIOS GENERALES S.A.C.

CERTIFICADO DE ESPECIFICACION DEL PRODUCTO Y CONTROL DE CALIDAD

Road Material Stabilisers (Pty) Ltd
1986/004184/07
PO Box 84513 Greenside
2034 Johannesburg Gauteng
Republic of South Africa

1. Fabricante y producto

Road Material Stabilizers (Pty) Ltd Unit 32 Mimosa Road Jet Park Boksburg
Es el fabricante del Estabilizador Iónico de Suelos ISS 2500 Marca registrada
CAS No: No Aplica – Mezcla

2. Formulación y especificaciones

El Estabilizador Iónico de Suelos ISS 2500 es una solución oleosa soluble en agua de resinas de intercambio iónico, resinas de petróleo sulfonadas (modificado) derivado de azufre combinado y ácidos tamponados que se combinan como bisulfatos. Los componentes activos del solvente del concentrado están en ±20% que incluyen los ácidos.

Componentes	SABS	CAS número	% min	% max
Resinas sulfonadas de petróleo	—	No aplica – Mezcla	15	20
Resinas de intercambio iónico	—	No aplica – Mezcla	15	20
Mezcla de componente iónicos y no iónicos	—	No aplica – Mezcla	5	10
Agua	241	—	60	70

Todos los lotes de productos probados.

3. Propiedades fisicas·

Material: Liquido, 100% orgánico
Apariencia/olor: Aceitoso, color oscuro, con olor característico
Gravedad especifica a 20°C: H_2O = 1.0 > 1.15min
pH a 25°: <2
Solubilidad en agua: Completamente soluble

4. Almacenamiento

Vida útil indefinida. No le afectan las temperaturas extremas o la luz.
Químicamente estable. No debe ocurrir polimerización.

5. Embalaje

Contenedores: 210R L-ring UN No ZACT445, Certificado No 1H1-Y1.6-100-00. Aunque está protegido contra los rayos UV, se recomienda que el almacenamiento a largo plazo esté cubierto.
Todo el producto se suministra en cilindros sellados de 210 litros.

6. Medio Ambiente

100% orgánico, no inflamable, no tóxico, no peligroso y seguro para el medio ambiente (USEPA 1991).

G Julian Joffe
Road Material Stabilisers (Pty) Ltd
Enero 2015

* Para mayor información, ver Hoja de Seguridad
Toda la información en este Certificado ha sido proporcionada por laboratorios internacionalmente acreditados en concordancia con la Cooperación Internacional de Laboratorios acreditados (ILAC), y el Acuerdo Internacional para mejorar el comercio, suscrito en Washington DC 2 Noviembre del 2000.

Directors: E Joffe GJ Joffe
Vat No 48612059