

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento
portland en la carretera departamental HU-108 tramo:
Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021**

Hemilio Fernando Rodríguez Tucto

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huánuco, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Dr. Ing. Juan José Bullón Rosas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi asesor de tesis por su dedicación, apoyo y orientación en la realización de este trabajo de investigación. A mis docentes de Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, por todas sus enseñanzas, y por ser forjadores de mi desarrollo profesional. A mi familia y a todos aquellos que de alguna u otra manera contribuyeron en mi superación tanto a nivel profesional como personal, a todos gracias.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y mi madre Miriam, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.2. Formulación del problema.....	3
1.1.2.1. Problema general.....	3
1.1.2.2. Problemas específicos.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivo específico	3
1.3. Justificación	4
1.3.1. Justificación social	4
1.3.2. Justificación teórica	4
1.3.3. Justificación metodológica.....	4
1.4. Hipótesis	5
1.4.1. Hipótesis general.....	5
1.4.2. Hipótesis específicas.....	5
1.5. Descripción de variables	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2 Antecedentes nacionales	10
2.2 Bases teóricas.....	15
2.2.1 Cloruro de sodio.....	15
2.2.2 Cemento	18

2.2.2.1	Cemento portland.....	19
2.2.2.2	Suelos.....	19
2.2.2.3	Factores que afectan la mezcla suelo – cemento.....	23
2.2.2.4	Clasificación del suelo estabilizado con cemento.....	24
2.2.3	Estabilización de suelos.....	24
2.2.3.1	Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras.....	25
2.2.3.2	Tipos de estabilización.....	28
2.2.3.3	Subrasante.....	30
2.2.4	Ensayos de laboratorio.....	30
2.2.4.1	Ensayo de análisis granulométrico.....	30
2.2.4.2	Ensayo de contenido de humedad.....	31
2.2.4.3	Ensayo de límite líquido y límite plástico.....	31
2.2.4.4	Ensayo de Proctor Modificado.....	32
2.2.4.5	Ensayo de CBR.....	34
2.2.4.6	Ensayo de presión no confinada en muestras de suelo.....	37
2.3	Definición de términos básicos.....	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Método y alcance de la investigación.....	41
3.1.1	Método de investigación.....	41
3.1.2	Alcance de investigación.....	41
3.1.3	Tipo de investigación.....	41
3.2	Diseño de la investigación.....	41
3.3	Población y muestra.....	42
3.3.1	Población.....	42
3.3.2	Muestra.....	43
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1	Técnicas.....	43
3.4.2	Instrumentos.....	44
3.4.3	Análisis de confiabilidad y validez.....	44
3.5	Procedimiento.....	45
3.6	Método de análisis de datos.....	45

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	46
4.1.1.	Características físicas del suelo.....	46
4.1.1.1.	Cloruro de sodio en el tipo de suelo.....	46

4.1.1.2. Cemento residual en el tipo de suelo	48
4.1.1.3. Cloruro de sodio y cemento en la humedad natural del suelo.....	49
4.1.1.4. Cloruro de sodio en el índice de plasticidad del suelo	49
4.1.1.5. Cemento residual en el índice de plasticidad del suelo.....	49
4.1.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo.....	50
4.1.2.1. Cloruro de sodio en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo.....	50
4.1.2.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo.....	52
4.1.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo.....	54
4.1.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia del suelo	54
4.1.3.2. Cemento residual en la capacidad de resistencia del suelo	55
4.2. Prueba de hipótesis	57
4.2.1. Cloruro de sodio y cemento en el índice de plasticidad del suelo.....	57
4.2.1.2. Cemento residual en el índice de plasticidad del suelo.....	57
4.2.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo.....	58
4.2.2.1. Cloruro de magnesio hexahidratado en la máxima densidad seca y humedad del suelo	58
4.2.2.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y humedad del suelo	63
4.2.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo.....	68
4.2.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia.....	68
4.2.3.2. Cemento residual en la capacidad de resistencia	70
4.3. Discusión de resultados.....	72
4.3.1. Características físicas del suelo.....	72
4.3.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo.....	75
4.3.3.1. Cloruro de sodio en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo.....	75
4.3.3.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo.....	77
4.3.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo.....	79
4.3.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia del suelo	80
4.3.3.2. Cemento en la capacidad de resistencia del suelo.....	81
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
ANEXOS	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	6
Tabla 2. Características del cloruro de sodio	17
Tabla 3. Tipos de cementos	19
Tabla 4. Porcentaje de cemento recomendado según clasificación HRB	22
Tabla 5. Cantidad porcentual de cemento según el tipo de suelo	23
Tabla 6. Rango de cemento requerido en la estabilización de suelo con cemento	23
Tabla 7. Permeabilidad según la textura del suelo.....	27
Tabla 8. Permeabilidad según la estructura del suelo	27
Tabla 9. Serie de tamices completa.....	31
Tabla 10. Peso mínimo de la muestra según el tamaño máximo de partículas	31
Tabla 11. Factor para el límite líquido por número de golpes	32
Tabla 12. Esfuerzo – penetración de referencia	36
Tabla 13. Consistencia del suelo según la resistencia a la compresión no confinada.....	39
Tabla 14. Tratamiento de muestras	43
Tabla 15. Rangos de validez	44
Tabla 16. Rangos de confiabilidad.....	45
Tabla 17. Granulometría suelo natural.....	46
Tabla 18. Contenido de grava, arena y finos del suelo natural	47
Tabla 19. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 2 % NaCl	47
Tabla 20. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 4 % NaCl	48
Tabla 21. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 6 % NaCl	48
Tabla 22. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 2 % Cemento	48
Tabla 23. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 4 % Cemento	48
Tabla 24. Contenido de grava, arena y finos del suelo + 6 % Cemento	48
Tabla 25. Humedad natural del suelo.....	49

Tabla 26. Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cloruro de sodio	49
Tabla 27. Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cemento	49
Tabla 28. Máxima densidad seca, mezcla de suelo y cloruro de sodio.....	50
Tabla 29. Óptimo contenido de humedad mezcla de suelo y cloruro de sodio.....	51
Tabla 30. Californian Bearing Ratio (CBR) del suelo	54
Tabla 31. Compresión no confinada, suelo y cloruro de sodio.....	55
Tabla 32. Compresión no confinada, suelo y cemento	56
Tabla 33. Compresión no confinada, suelo, cloruro de sodio y cemento	56
Tabla 34. Estadística de regresión, suelo y cemento.....	57
Tabla 35. Diseño de bloques completamente al azar, MDS: suelo y cloruro de sodio	58
Tabla 36. Análisis de varianza, MDS: suelo y cloruro de sodio	59
Tabla 37. Prueba de Tukey para bloques, MDS: suelo y cloruro de sodio	60
Tabla 38. Prueba de Tukey para tratamientos, MDS: suelo y cloruro de sodio.....	60
Tabla 39. Diseño de bloques completamente al azar, OCH: suelo y cloruro de sodio	61
Tabla 40. Análisis de varianza, OCH: suelo y cloruro de sodio	61
Tabla 41. Prueba de Tukey para bloques, OCH: suelo y cloruro de sodio	62
Tabla 42. Prueba de Tukey para tratamientos, OCH: suelo y cloruro de sodio.....	63
Tabla 43. Diseño de bloques completamente al azar, MDS: suelo y cemento	64
Tabla 44. Análisis de varianza, MDS: suelo y cemento	64
Tabla 45. Prueba de Tukey para bloques, MDS: suelo y cemento	65
Tabla 46. Prueba de Tukey para tratamientos, MDS: suelo y cemento	65
Tabla 47. Diseño de bloques completamente al azar, OCH: suelo y cemento.....	66
Tabla 48. Análisis de varianza, OCH: suelo y cemento.....	66
Tabla 49. Prueba de Tukey para bloques, OCH: suelo y cemento.....	67
Tabla 50. Prueba de Tukey para tratamientos, OCH: suelo y cemento	68
Tabla 51. Diseño de bloques completamente al azar, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio	69

Tabla 52. Análisis de varianza, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio.....	69
Tabla 53. Prueba de Tukey para bloques, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio.....	70
Tabla 54. Diseño de bloques completamente al azar, resistencia del suelo: suelo y cemento .	71
Tabla 55. Análisis de varianza, resistencia del suelo: suelo y cemento	71
Tabla 56. Prueba de Tukey para bloques, resistencia del suelo: suelo y cemento	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Cloruro de sodio aplicado en granos	16
Figura 2. Cloruro de sodio en salmuera	16
Figura 3. Sistema de clasificación de suelos HRB.....	21
Figura 4. Detalles de los equipos utilizados para el ensayo CBR.....	35
Figura 5. Curva para calcular el CBR.....	37
Figura 6. Torno tallador de probetas.....	38
Figura 7. Tramo de la carretera departamental HU - 108	43
Figura 8. Curva granulométrica del suelo natural.....	47
Figura 9. Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cemento	49
Figura 10. MDS y OCH: Tratamiento 0, mezcla de suelo y cloruro de sodio	51
Figura 11. MDS y OCH: Tratamiento 1, mezcla de suelo y cloruro de sodio	51
Figura 12. MDS y OCH: Tratamiento 2, mezcla de suelo y cloruro de sodio	52
Figura 13. MDS y OCH: Tratamiento 3, mezcla de suelo y cloruro de sodio	52
Figura 14. MDS y OCH: Tratamiento 1, mezcla de suelo y cemento	53
Figura 15. MDS y OCH: Tratamiento 2, mezcla de suelo y cemento	53
Figura 16. MDS y OCH: Tratamiento 3, mezcla de suelo y cemento	54
Figura 17. Resistencia a compresión, suelo y cloruro de sodio	55
Figura 18. Resistencia a compresión, suelo y cemento.....	56
Figura 19. Curva de regresión ajustada, suelo y cemento.....	57

RESUMEN

La investigación “Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento en la carretera departamental HU – 108 tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, Huánuco - 2021”. Cuyo objetivo de la investigación fue determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU – 108 tramos: Aeropuerto – Conchumayo, Huánuco – 2021.

El método de la investigación fue científico, de tipo aplicada, con nivel explicativo y diseño experimental. La población estuvo compuesta por la carretera departamental HU – 108 del departamento de Huánuco y la muestra estuvo delimitada por un tramo de 500 m de la ruta: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba de la carretera departamental HU - 108

Los resultados demostraron que la adición del 2 % de cloruro de sodio incrementa el CBR del suelo clasificándolo como subrasante muy buena a excelente con consistencia dura según la resistencia a compresión del suelo y la adición de 6 % de cemento también incrementa el CBR del suelo ubicándolo en la categoría de subrasante excelente con consistencia dura. Así mismo, se pudo determinar que de la mezcla de suelo con 6 % de cemento y 1 % de cloruro de sodio los valores de CBR fueron 173 % y 338.3 % respecto al 95 % y 100 % de la máxima densidad seca, con consistencia dura según el ensayo de resistencia a compresión siendo una opción de estabilización de suelos con dos agentes estabilizadores. Llegando a la conclusión de que la adición de agentes estabilizadores como cloruro de sodio y cemento influyen significativamente en la estabilización del suelo para subrasante.

Palabras clave: Cemento, cloruro de sodio, estabilización, subrasante, suelo.

ABSTRACT

The investigation "Stabilization of soils with sodium chloride and cement in the departmental highway HU - 108 section: Airport - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021". Whose objective of the research was to determine the influence of the addition of sodium chloride and cement in the stabilization of soils of the departmental highway HU - 108 sections: Airport – Conchumayo - Churubamba, Huánuco – 2021.

The research method was scientific, applied type, with explanatory level and experimental design. The population was made up of the departmental highway HU - 108 of the department of Huánuco and the sample was delimited by a section of 500 m of the route: Airport - Conchumayo - Churubamba of the departmental highway HU - 108

The results showed that the addition of 2% of sodium chloride increases the CBR of the soil, classifying it as a very good to excellent subgrade with a hard consistency according to the compressive strength of the soil and the addition of 6% of cement also increases the CBR of the soil, placing it in the category of excellent subgrade with hard consistency. Likewise, it could be determined that from the soil mixture with 6% cement and 1% sodium chloride, the CBR values were 173% and 338.3% compared to 95% and 100% of the maximum dry density, with a hard consistency. According to the compressive strength test, being a soil stabilization option with two stabilizing agents. Concluding that the addition of stabilizing agents such as sodium chloride and cement significantly influence the stabilization of the soil for subgrade.

Keywords: Cement, sodium chloride, stabilization, subgrade, soil.

INTRODUCCIÓN

“Con el transcurso del tiempo, en el mundo se ha ido incrementando el parque automotor y esto ha conllevado al mejoramiento vial ya sea trochas carrozables, pavimentos rígidos o pavimentos flexibles lo que generó el uso desmedido de materiales para la conformación del paquete estructural del pavimento (mejoramiento de sub rasante, sub base y base); de igual manera se hacen grandes movimientos de tierra para ser reemplazado por un material de mayor calidad, causando mayores gastos en la utilización de maquinarias, obtención del material (material granular) y eliminación de material (material no apto)” (1). Siendo la solución actual la estabilización de suelos con agentes estabilizadores como cloruros que reducen la emisión de polvo debido a su propiedad higroscópica que permite mantener la humedad del suelo ante un evento de calor diario extremo que origina el secado del material de la subrasante y la disgregación de partículas finas como limos y arcillas (principales componentes del polvo), o como el cemento que incrementa la capacidad de resistencia del suelo.

El objetivo de la investigación fue determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU – 108 tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, Huánuco – 2021. Siendo el problema actual la falta de vías de comunicación en buen estado, como la subrasante de la carretera que se encuentra nivelada y requiere un tratamiento que vite la emisión de polvo en horas de sol y la formación de lodos resbalosos en épocas de lluvia. Para el desarrollo de la investigación, se recolectó material de campo o suelo de la zona de estudio correspondiente al tramo de 500 m de la ruta: Aeropuerto – Conchumayo - Churubamba. El material recolectado corresponde a 400 Kg de suelo que fue llevado a laboratorio para realizar los ensayos de caracterización como análisis granulométrico, contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, proctor modificado, CBR y resistencia a la compresión no confinada para el suelo natural y para mezclas de suelo con cloruro de sodio y cemento. La hipótesis de la investigación fue que la adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, Huánuco. Por lo que se justifica socialmente en la obtención de pavimentos resistentes y óptimos que garanticen el desplazamiento de peatones y vehículos en el departamento de Huánuco. Se justifica metodológicamente en las dosificaciones del cloruro de sodio que fueron 2%; 4% y 6% respecto al peso seco de la muestra de cada ensayo. La dosificación de cemento fue 2%; 4% y 6% respecto al peso seco de las muestras para cada ensayo. Así mismo, se debe mencionar que la dosificación de 2% de agente estabilizador corresponde al tratamiento 1, la dosificación de 4% de agente estabilizador corresponde al tratamiento 2, la dosificación de 6% de cemento y cloruro de sodio corresponden al tratamiento 3 y el suelo natural o sin agentes estabilizadores corresponde al tratamiento 0 ó tratamiento patrón. Para determinar qué proporción de cloruro

de sodio y cemento logra una mejor estabilidad del suelo de la carretera mencionada; además de contribuir como aporte para futuras investigaciones respecto al tipo de suelo en el distrito de Churubamba.

La investigación comprende cuatro capítulos en los que se desarrollaron y describieron toda la investigación. En el capítulo I se presentó el planteamiento del problema, en el que se describe el propio planteamiento, formulación del problema, objetivos, justificación, hipótesis y descripción de variables con la tabla de operacionalización de variables. El capítulo II de marco teórico presenta los antecedentes internacionales y nacionales, bases teóricas y definición de términos básicos referente al tema de la investigación. En el capítulo III de metodología de investigación, se describe el método, tipo, alcance, diseño, población y muestra de la investigación; asimismo, se incluyen las técnicas e instrumentos de recolección de datos las cuales corresponden a las fichas de registro de los ensayos realizados en laboratorio. En el capítulo IV de resultados y discusiones, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados para cada tratamiento que se menciona en el párrafo anterior, también se presentan las discusiones de los resultados de acuerdo a los objetivos específicos de la investigación. Por último, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, panel fotográfico de los ensayos realizados en laboratorio y las fichas de registro de los ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Conforme pasa el tiempo, se vuelve más importante contar con vías de acceso de calidad en pro de la seguridad vial de la población; para contar con vías de acceso de calidad, se necesita disponer de estructuras de pavimento adecuadas, teniendo en cuenta que en oportunidades el problema radica en el material que conforma las capas de estas vías de acceso, lo cual es motivo del uso de estabilizantes para obtener una estructura de pavimento que perdure en el tiempo. Hoy en día, en el desarrollo de las obras de infraestructura vial es fundamental impulsar el mejoramiento del suelo por razones económicas y específicas de confort, razón por la cual antes de cambiar la subrasante de los tramos más bajos del rodamiento se recomienda hacer contemplaciones y elegir el mejor sistema para poder mejorar y evitar la alta inversión económica en la mejora del suelo.

Así mismo, es de conocimiento que “Con el transcurso del tiempo, en el mundo se ha ido incrementando el parque automotor y esto ha conllevado al mejoramiento vial ya sea trochas carrozables, pavimentos rígidos o pavimentos flexibles lo que generó el uso desmedido de materiales para la conformación del paquete estructural del pavimento (mejoramiento de sub rasante, sub base y base); de igual manera se hacen grandes movimientos de tierra para ser reemplazado por un material de mayor calidad, causando mayores gastos en la utilización de maquinarias, obtención del material (material granular) y eliminación de material (material no apto)” (1). De acuerdo con la compañía WIRTGEN GROUP, la cual opera a nivel internacional en el rubro de construcción y mantenimiento de carreteras, la estabilización de suelos es una excelente alternativa para

brindar capacidad portante y calidad de suelos, a diferencia de la sustitución de suelos ya que genera menor costo referente a la logística de la obra, menor cantidad de viajes de los camiones y periodos cortos de construcción. Pues la mezcla homogénea de suelo y ligante brinda una gran capacidad portante y permite que el material sea resistente al agua y las heladas, conservando el volumen (2).

En Latinoamérica, la estabilización de suelos se desarrolla continuamente con la adición de aditivos como cal, sales (cloruro de sodio, cloruro de calcio, entre otros), residuos de acero, cemento, entre otros, así como también materiales orgánicos como fibras de coco, maguey y otros. Los países que hasta la fecha desarrollaron estas investigaciones son; México, Colombia, Ecuador y Perú. Estudios en los cuales destacan que la adición de los aditivos mencionados incrementa en cierta proporción la capacidad portante del suelo, es decir el valor CBR y en algunos casos la resistencia a compresión de los suelos, dependiendo del tamaño de material de los suelos.

En el Perú, la estabilización de suelos con cloruro de sodio mejora las propiedades de resistencia, cohesión, durabilidad e impermeabilidad, además de obtener el incremento del valor de CBR del suelo (3). Asimismo, la incorporación de cemento Portland al suelo para subrasantes brindó resultados satisfactorios ya que mejoró el valor de CBR de los suelos a nivel de subrasante (4).

De acuerdo con lo mencionado se tiene en cuenta que, la carretera existente del tramo Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, del distrito de Churubamba era una trocha carrozable, para la cual se hizo una ampliación para ser una carretera de primer orden pavimentada (asfaltada), donde intervinieron maquinarias para los cortes y eliminación de material. Pero como es una zona de alto cultivo, existen muchos canales de riego que pasan por la carretera, en la que existen dos puntos en el tramo donde el suelo se encuentra saturado con una profundidad de más de cuatro metros, en pocas palabras este saturado aparece donde hay dos encuentros de pendientes y donde haya existido un canal de riego paralelo a la carretera. Razón por la cual, se pretende estabilizar la subrasante de la carretera departamental HU – 108 con cloruro de sodio y cemento en diferentes proporciones, con la finalidad de evitar la emisión de polvo, impermeabilización de materiales finos como limos y arcillas, y evitar el deterioro de la subrasante de la carretera, para que posteriormente se pueda colocar de forma eficaz una estructura de pavimento flexible o rígido y así lograr un adecuado flujo de tránsito en la carretera, que beneficie a los pobladores como a los transportistas.

En la investigación se plantean las variables independientes de cloruro de sodio y cemento, donde el cloruro de sodio se puede adquirir por sacos de 25 kg cuyo precio es

accesible, ya que se puede encontrar con facilidad, además de su fácil manejo en laboratorio y su escasa nocividad y en cuanto al cemento este se encuentra almacenado y disponible después de haber sido empleado en la construcción de viviendas. En cuanto a la variable dependiente de estabilización de suelos se pretende estabilizar la subrasante, que no cuenta con ningún tipo de tratamiento, de la carretera departamental HU – 108 del departamento de Huánuco con el cloruro de sodio y cemento en diferentes proporciones.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿De qué forma influye la adición de cloruro de sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?
- b) ¿De qué forma influye la adición de cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?
- c) ¿De qué forma influye la adición de cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.

1.2.2. Objetivo específico

- a) Determinar las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021.
- b) Determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y húmeda del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.

- c) Determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación social

La justificación social o práctica existe cuando el desarrollo de la investigación propone estrategias que al aplicarse pretenden contribuir al problema.

En ese sentido, la adición de cloruro de sodio y cemento permite la estabilización de suelos (material propio de la carretera) a nivel de subrasante, en el tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba de la carretera departamental HU – 108, Huánuco. Con la finalidad de solucionar la problemática de los suelos inestables y así obtener pavimentos más resistentes y óptimos para garantizar el desplazamiento normal de peatones y vehículos en la zona de estudio (5).

1.3.2. Justificación teórica

La justificación teórica señala la importancia que tiene la investigación de un problema en el desarrollo de una teoría científica; el cual implica indicar si el estudio permitirá realizar una innovación científica.

Según lo mencionado, el cloruro de sodio y cemento permiten la estabilización del suelo a nivel de subrasante (material propio de la carretera) del tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba de la carretera departamental HU – 108, Huánuco, debido al incremento de capacidad y resistencia del suelo a nivel de subrasante (6).

1.3.3. Justificación metodológica

La justificación metodológica se describe cuando el proyecto de investigación propone una nueva estrategia para la generación de conocimiento válido y confiable.

Razón por la cual, la estabilización de suelos; a nivel de subrasante del tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba de la carretera departamental HU – 108, Huánuco, con la adición de cloruro de sodio se realiza con proporciones de 2 %; 4 % y 6 % respecto al peso de la muestra de suelo para cada ensayo en particular, la adición de cemento será en las proporciones de 2 %; 4 %; 6 %, del cual se determinará qué proporción de cloruro de sodio y cemento logra una mejor estabilidad del suelo en estudio (5).

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021.

1.4.2. Hipótesis específicas

- a) Las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021, son granulometría, humedad e índice de plasticidad.
- b) La adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la densidad seca y humedad del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.
- c) La adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.

1.5. Descripción de variables

- Variable independiente 1: Cloruro de sodio

Producto que se emplea en la estabilización y mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos que se usan en bases y subbases, esencialmente para aumentar su resistencia mediante el control de los cambios de humedad en las capas e impidiendo que el agua se evapore (7).

- Variable independiente 2: Cemento

El término suelo – cemento, es la combinación de suelo, agua, cemento y otros componentes; de modo que el material se endurece y posee mayor resistencia. Ya que las partículas de suelo y cemento están unidas entre sí (8).

- Variable dependiente: Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (9).

En la siguiente tabla, se muestra la operacionalización de variables.

Tabla 1*Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	FUENTES	INSTRUMENTOS
Cloruro de sodio	Producto que se emplea en la estabilización y mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos que se usan en bases y subbases, esencialmente para aumentar su resistencia mediante el control de los cambios de humedad en las capas e impidiendo que el agua se evapore (7).	Adición de cloruro de sodio	Cantidad de cloruro de sodio	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Balanza digital con precisión de 0.01 g
Cemento	El término suelo – cemento, es la combinación de suelo, agua, cemento y otros componentes; de modo que el material se endurece y posee mayor resistencia. Ya que las partículas de suelo y cemento están unidas entre sí (8).	Adición de cemento	Cantidad de cemento	Manual de ensayo materiales MTC 2016	Balanza digital con precisión de 0.01 g
Estabilización de suelos	La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (10).	Características físicas del suelo	Análisis granulométrico	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Granulometría por Tamizado (MTC E 107- 2016)
			Contenido de humedad	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Contenido de humedad (MTC E 108- 2016)
			Límite líquido, Límite plástico	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Límite de Atterberg (MTC E 110 – 2000/ MTC E 111-2016)
		Densidad seca y húmeda	Proctor modificado	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Proctor Modificado (MTC E 115 – 2016)
		Capacidad de resistencia del suelo	Compresión no confinada	Manual de Ensayo de materiales MTC 2016	Ficha de Compresión no confinada en muestras de suelos (MTC E 121 – 2016)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Heitzer, llevo a cabo la tesis titulada “*Efectos de mezclas de cloruros en la humedad de caminos no pavimentados*”. Con el objetivo de estudiar el efecto y comportamiento que tienen distintas mezclas de sales y tipos de suelos, en la absorción, retención y pérdida de humedad. Para el desarrollo de la investigación se elaboraron probetas con distintos tipos de suelos, tipos y concentraciones de sales de cloruro de magnesio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) o también conocido como bischofita y cloruro de sodio (NaCl), Los resultados obtenidos demostraron y comprobaron la capacidad de absorción y retención de humedad de las muestras con sales y en especial la bischofita debido a su propiedad higroscópica. Llegó a la conclusión de que las mezclas con sales permiten retardar la evaporación en los suelos, lo que se traduce en una disminución del consumo de agua para riego en los caminos no pavimentados, un mejor nivel de servicio y menor costo de mantención (11).

Morales y otros, desarrollaron un el artículo de investigación titulado “*Estudio del comportamiento de una carpeta de rodado estabilizada con cloruro de calcio*”. Con el objetivo de evaluar en terreno el cloruro de calcio ($CaCl_2$) como estabilizador de carpetas de rodados en caminos sin pavimentar, analizando el comportamiento de un camino de prueba estabilizado con $CaCl_2$ para conocer cómo influye su incorporación en las propiedades mecánicas del suelo. La metodología empleada fue la construcción de un camino de prueba con un tramo estabilizado con $CaCl_2$ y un tramo menor estabilizado con bischofita, de forma paralela se realizó un estudio experimental en terreno y laboratorio para evaluar la influencia del $CaCl_2$ utilizado para la construcción del camino. Los resultados obtenidos del ensayo de proctor modificado mostraron que la

incorporación de CaCl_2 en el suelo incrementa los valores de máxima densidad seca y reduce los valores de humedad óptima, en cuanto al ensayo triaxial CU (Consolidado y no drenado) el suelo con incorporación de CaCl_2 se incrementan los valores de ángulo de fricción interna máxima (ϕ) y cohesión (C); referente al ensayo de CBR al 95 % de la máxima densidad seca se demostró que la incorporación de CaCl_2 incrementó los valores de CBR de 109 a 151 % para una adición del 1 % de CaCl_2 ; y en cuanto al ensayo de absorción de humedad se demostró que a medida que se incorpora el CaCl_2 se incrementa la cantidad de agua absorbida. Llegó a la conclusión de que la aplicación de CaCl_2 mejora sustantivamente el comportamiento de las capas de rodadura, debido al efecto cementante que genera sobre la superficie, mejorando las propiedades del camino, además de ser un producto económico y de fácil aplicación (12).

Brauer y otros, publicaron un artículo de investigación titulado: *“Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros”*. La investigación tuvo el objetivo de evaluar diferentes técnicas para lograr disminuir el polvo suspendido en caminos mineros. Para el desarrollo de la investigación, se realizaron experimentos con cinco productos como; melaza, hidróxido de magnesio, TGC (Total Ground Control), cloruro de sodio y bischofita, posteriormente se utilizó el software Comet y el equipo captador de polvo E-Sampler. Los resultados demostraron que el producto bischofita revela mejores resultados en las zonas tratadas previamente con suelo – sal, sin embargo, no es posible aplicarlo durante las épocas de nevada por la inseguridad que genera al tornar muy resbaloso el camino. Llegó a la conclusión de que los cinco productos de melaza, hidróxido de magnesio, TGC, cloruro de sodio y bischofita tienen efectos sobre la contención de polvo en carreteras sin tratamientos y duración en diferentes condiciones ambientales, siendo la bischofita la que mejores resultados presentó (13).

García, desarrolló un estudio para optar le título de Ingeniero Civil, el autor sustentó la tesis titulada: *“Estudio de la técnica suelo – cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín”*. Con el objetivo de, estudiar el comportamiento físico – mecánico de una mezcla suelo – cemento en laboratorio, por medio de ensayos de respuesta a la carga monotónica con el fin de establecer los valores de resistencia para un suelo tipo caolín y su posible implementación en vías terciarias del país de similar composición. Para el desarrollo de la investigación, el autor empleó como suelo el caolín o suelo fino, al que adicionó proporciones de cemento desde 0 % hasta 12 % respecto a la masa del suelo; para evaluar la resistencia de la mezcla, las mezclas se sometieron a ensayos de resistencia a compresión y tensión indirecta por compresión, se tomó en cuenta el tiempo de curado

de las muestras a los 7; 14 y 28 días con la finalidad de estimar la disminución o incremento de la rigidez de las muestras en los periodos de curado. Los resultados demostraron que, el cemento tiene efectos significativos en la estabilización de suelos con proporciones mayores al 8 %, ya que mejora la resistencia del suelo ante cargas monotónicas; sin embargo, se debe tener en cuenta la proporción óptima de agua y el tiempo de curado mínimo, para obtener la máxima resistencia requerida. Llegó a la conclusión de que, la mayor resistencia a compresión fue alcanzada con una proporción de cemento del 12 % y la mayor resistencia a tracción fue alcanzada con el 10 % de cemento (14).

Larrea y Rivas, desarrollaron un trabajo de investigación para obtener el título de Ingeniero Civil, sustentaron la tesis titulada: *“Estabilización de suelos arcillosos con cloruro de sodio y cloruro de calcio”*. Con el objetivo de estabilizar un suelo arcilloso con un rango de índice plasticidad de 16 a 18, con cloruro de sodio y cloruro de calcio para su implementación en vías. El método de la investigación fue científico, de tipo aplicada y nivel experimental. La muestra estuvo compuesta por material proveniente de la Mina Cañaveral. Para el desarrollo de la investigación, en primer lugar, se definieron las características del suelo natural con los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR; posteriormente se dosificaron los agentes estabilizadores de cloruro de sodio y calcio en las proporciones de 1; 10; 15; 20 y 25 % a los cuales se realizaron los ensayos de límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR. Los resultados demostraron que la dosificación de 15 % de cloruro de sodio logró reducir el índice de plasticidad de 17 % a 7.32 %, en cuanto a la combinación con el suelo libera sílice y alúmina generando una mezcla cementante que mejora las propiedades de compactación sin embargo el porcentaje de CBR baja de 27.27 % a 24.20 %. En cuanto a la combinación suelo y cloruro de calcio, la proporción óptima fue 20 % ya que permitió reducir el índice de plasticidad de 17 % a 8.48 %, debido a que el incremento de una mayor dosificación el suelo se hace menos trabajable al tomar una consistencia lodosa; sin embargo, no aporta capacidad de soporte ya que reduce el CBR de 27.27 % a 5.58 %, debido a la interacción con el ambiente atrapa la humedad y se disuelve en ella por ser una sal deliquescente. Llegaron a la conclusión de que, la aplicación de cloruro de calcio en climas secos es factible, a diferencia del cloruro de sodio que se puede emplear en zonas costeras y con poca precipitación (15).

Chavarry y otros, llevaron a cabo un el artículo de investigación titulado: *“Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas”*. Con el objetivo de determinar las mejoras de las propiedades mecánicas del suelo y la empleabilidad del cloruro de calcio (NaCl_2) como mitigador de la emisión de polvo en

el Malecón, Huaycoloro, ubicado en la Quebrada Huaycoloro, provincia de Lima. La muestra estuvo delimitada por cuatro calicatas de los 5 km de la vía del Malecón Huaycoloro. El método de la investigación fue científico y diseño experimental. El desarrollo de la investigación se dio en tres etapas; en la primera se identificaron los problemas de la vía in – situ, en la segunda etapa se realizaron los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de la subrasante y en la tercera etapa se aplicó el estabilizante químico cloruro de calcio (NaCl_2) en 2.5 km de la vía para posteriormente realizar los ensayos especiales como densidad y Proctor modificado. Con los resultados de los ensayos se empleó la metodología AASHTO 93 para comparar la estructura del pavimento inicial y la estructura estabilizada, demostrando un mejor desempeño estructural, ya que tras la incorporación de 40 % en volumen por metro cúbico de cloruro de calcio el CBR incrementó en 64.2 % aumentando la capacidad de soporte de suelos arenosos y gravosos; y comprobando la efectividad como agente estabilizador de afirmados de carreteras. Por lo cual concluyeron que, el cloruro de calcio absorbe su propio peso cuando las condiciones de humedad son altas en el ambiente, lo cual permite que la sal sea un producto eficaz en la mitigación de emisión de polvo (16).

2.1.2 Antecedentes nacionales

Coarita, desarrolló un trabajo de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Civil, la autora sustentó la tesis titulada: *“Estabilización con bischofita y sal en el mantenimiento de la carretera departamental no pavimentada MO-107 Tramo EMP. MO-107 progresiva 21+560 - 52+381 EMP. TA-105-Moquegua, 2018”*. Con el objetivo de determinar los beneficios de estructurales que brinda la estabilización química con cloruro de magnesio y cloruro de sodio en el mantenimiento de la carretera departamental no pavimentada “EMP. MO-107 progresiva 21+560 - 52+381 EMP. TA-105”. El desarrollo de la investigación fue en dos partes; en la primera parte que es la parte técnica se desarrollaron trabajos en campo, laboratorio y gabinete con ambos estabilizadores químicos, en el trabajo de campo se realizó la excavación de una calicata de 1.50 m de profundidad de donde se extrajo 400 kg de muestra de suelo, en el trabajo de laboratorio se realizaron las pruebas para obtener las características principales del terreno las cuales fueron análisis granulométrico por tamizado, límites de consistencia, proctor modificado, CBR y el trabajo en gabinete se desarrolló el procesamiento de datos de laboratorio en el programa Ms- Excel; en la segunda parte que es la parte económica se realizó la comparación de costos de ambos estabilizadores químicos. Como resultado de la investigación, el suelo obtenido fue identificado como GP – GC según la clasificación SUCS y como A-1-a según la clasificación AASHTO, con humedad de 8.11 %, el índice de plasticidad fue 4.29 %, la máxima densidad seca y humedad óptima

fueron 2.020 gr/cm³ y 10.30 % respectivamente, el valor de CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 41.5 % y el CBR al 100 % de la máxima densidad seca fue 67.8 %. Referente al suelo con cloruro de magnesio o bischofita, para la mezcla de suelo con 1 % de bischofita el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 43.0 % y al 100 % de la máxima densidad seca fue 70.7 %, para la mezcla de suelo con 3 % de bischofita el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 44.0 % y al 100% de la máxima densidad seca fue 74.4%, para la mezcla de suelo con 5% de bischofita el CBR al 95% de la máxima densidad seca fue 42.0% y el CBR al 100% de la máxima densidad seca fue 73.0%. Referente al suelo con cloruro de sodio o sal; para la mezcla de suelo con 1% de sal el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 42.0 % y el CBR al 100 % de la máxima densidad seca fue 68.4 %, para la mezcla de suelo con 3 % de sal el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 43.0 % y al 100 % de la máxima densidad seca fue 72.4 %, para la mezcla de suelo con 5 % de sal el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 42.3 % y al 100 % de la máxima densidad seca fue 69.5 %. Llegó a la conclusión de que en la parte técnica el cloruro de magnesio mejora favorablemente el suelo en comparación al cloruro de calcio y en la parte económica el cloruro de calcio es más rentable que el cloruro de magnesio (17).

Chávez, ejecuto un estudio para obtener el grado de Maestro en transportes y conservación vial, sustentó la tesis titulada: *“Comparación del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para mejorar la subrasante en la vía a la cantera Santa Rita, distrito de Pirañas - Talara - Piura, 2018”*. Con el objetivo de comparar el cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para memorar la subrasante en la vía cantera Santa Rita en Talara, Piura. Para el desarrollo de la investigación, el autor utilizó técnicas de recolección de datos como la observación, exploración y análisis documental para la obtención de datos, en cuanto a la aplicación práctica tomó como referencia la calicata 2 con un valor de CBR in situ inicial igual a 30.39 % con la adición de diferentes proporciones de cloruro de magnesio y cloruro de calcio las cuales son 5 %; 10 %; 15 % y 20 %. Como resultado de la investigación obtuvo que para una muestra de estabilización del 80 % de suelo insitu + 20 % de cloruro de magnesio se tuvo un valor de CBR igual a 81.43 % mientras que para la muestra de estabilización del 95 % de suelo insitu + 5 % de cloruro de calcio se tuvo un valor de CBR igual a 42.82 %. Es así que llegó a la conclusión de que el cloruro de magnesio (Mg Cl₂) o bischofita aporta mayor resistencia al suelo a nivel de laboratorio (18).

Luna y Yzaguirre, llevaron a cabo un estudio para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentaron la tesis titulada: *“Estabilización de la red vial vecinal AN -*

873 - 0+000 al 2+400 km con cloruro de sodio proveniente del agua de mar, Santa, Santa, Áncash - 2019". Con el objetivo de, determinar la influencia del cloruro de sodio proveniente del agua de mar en la estabilización del suelo de la red vial AN – 873. El método de investigación fue científico, de tipo aplicado y nivel explicativo. La población estuvo compuesta por el tramo de 0+000 a 2+400 km de la red vecinal AN - 873 y la muestra estuvo delimitada por 4 calicatas para definir las propiedades mecánicas y físicas del suelo. Para lograr el objetivo, se recolectó la información de los ensayos realizados en laboratorio los cuales fueron granulometría, límites de Atterberg, proctor modificado y capacidad portante o CBR. Así mismo, se aplicó el cloruro de sodio en las proporciones de 5% y 7%. Los resultados demostraron que el cloruro de sodio tuvo una pureza de 91.70%, el tipo de suelo fue limo arenoso según la clasificación SUCS, con índice de plasticidad nulo, la densidad máxima seca fue 2.046 gr/cm³ con una humedad óptima de 12.10 % y el CBR del suelo patrón fue 8.29 %, a diferencia del suelo con 5% de cloruro de sodio donde el CBR fue 16.06 % y la máxima densidad seca fue 2.1 gr/cm³. Finalmente, el suelo con 7 % de cloruro de sodio tuvo una máxima densidad seca de 2.13 gr/cm³, con un valor de CBR que fue 7.55 %. Llegaron a la conclusión de que, la proporción óptima de cloruro de sodio es de 5 % ya que permite obtener buenos resultados al estabilizar un suelo limo – arenoso (19).

Fernández, desarrolló un trabajo de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada: *“Estabilización de suelos arcillosos mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de vías terrestres. Estudio de casos: Suelos de Chachapoyas, 2016”*. Con el objetivo de, determinar la óptima concentración de cloruro de sodio para estabilizar suelos arcillosos de Chachapoyas. El método de investigación fue científico, de tipo aplicada y nivel explicativo. La población estuvo compuesta por suelos arcillosos del sector de Pucacruz, distrito de Chachapoyas, Amazonas. La muestra estuvo delimitada por 54 ensayos de suelo con diferentes proporciones de cloruro de sodio correspondientes a los ensayos de límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR. Para el logro del objetivo, se desarrollaron ensayos de análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, contenido de humedad, proctor modificado y CBR o también conocido como valor soporte. Así mismo, los ensayos se realizaron con las concentraciones de cloruro de sodio de 2; 5; 10; 20; 30 y 50 %. Los resultados de los ensayos realizado evidenciaron que a mayor concentración de cloruro de sodio el índice de plasticidad disminuye respectivamente, teniendo un IP (Índice de plasticidad) de 38.02 para el suelo patrón y un IP de 9.4 para el suelo con 50 % de cloruro de sodio, pasando de ser un suelo con arcillas inorgánicas de alta plasticidad y arcillas francas a un suelo con arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad. En cuanto a la

máxima densidad seca, sus valores también se incrementaron conforme el aumento de concentración de cloruro de sodio; ocurriendo lo mismo con el CBR del suelo patrón cuyo valor fue 1.6 % en promedio y cuando se le adiciona el 50 % de cloruro de sodio el valor del CBR fue 11.4 % en promedio. Llegó a la conclusión de que, la concentración óptima de cloruro de sodio fue 5 % ya que mejoró las propiedades de resistencia, cohesión, durabilidad e impermeabilidad (3).

Quispe y Rodríguez, desarrollaron un trabajo de investigación para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentaron la tesis titulada: *“Mejoramiento del suelo arenoso y limoso con cloruro de sodio y cal para subrasante con pruebas de CBR - Cusco 2020”*. Con el objetivo de, analizar y determinar como el cloruro de sodio y cal se comportan en una subrasante utilizando el ensayo de CBR. El método de investigación fue científico, de tipo aplicado y nivel explicativo. La población estuvo compuesta por las vías carrozable de APV (Asociación Pro Vivienda) Agua Buena hasta la APV Qotacalle. La muestra estuvo delimitada por 442 m de la vía carrozable teniendo como referencia la APV Qotacalle. Para el lograr el objetivo, se realizaron los ensayos de laboratorio de análisis granulométrico, límite líquido, límite plástico, proctor modificado y CBR. Así mismo, se añadió cloruro de sodio y cal en las proporciones de 4; 8 y 12 % que estuvo compuesta por el 50 % de cal y 50 % de cloruro de sodio. De los resultados se obtuvo el tipo de suelo SM (arena limosa) y A – 4 (0) según la clasificación SUCS y AASHTO respectivamente, el límite líquido fue 18.33 presentando un límite plástico e índice de plasticidad nulo, con humedad del 1.94 %, la máxima densidad seca fue 1.82 gr/cm³ con humedad óptima de 12.40 % y el valor de CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 3 % y al 100 % de la máxima densidad seca el valor de CBR fue 4 %. Posteriormente se realizaron los ensayos con la dosificación de cloruro de sodio y cal para el 4; 8 y 12 % en las cuales la máxima densidad fue 1.96 gr/cm³, 1.98 gr/cm³ y 2.00 gr/cm³ con humedades óptimas de 13.80 %; 9.70 % y 13.70 % respectivamente. Los valores de CBR al 95 % de la máxima densidad seca fueron 11 %; 11 % y 12 % para las dosificaciones del 4; 8 y 12 % de cloruro de sodio y cal, y los valores de CBR al 100 % de la máxima densidad seca fueron 14 %; 17 % y 19 % respectivamente. Llegaron a la conclusión de que, la dosificación óptima fue el 8 % de cloruro de sodio con cal ya que incrementa el valor del CBR del suelo (20).

Cuzco, para obtener el título profesional de Ingeniera Civil, la autora sustentó la tesis titulada: *“Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland tipo I, en la Asociación Los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019”*. Con el objetivo general de, evaluar la influencia de la incorporación del estabilizador cemento Portland Tipo I en la subrasante de la Asociación Los Rosales II, distrito de Carabayllo.

El método de investigación fue científico, de tipo aplicado y con nivel explicativo. La población estuvo delimitada por el distrito de Carabayllo en la provincia y departamento de Lima; y la muestra estuvo delimitada por el tramo no pavimentado ubicado entre la Mz. A y B de la Asociación Los Rosales del distrito de Carabayllo. Para lograr el objetivo, se realizaron ensayos de laboratorio como; análisis granulométrico por tamizado para determinar el tipo de suelo existente, ensayo de CBR para determinar el esfuerzo cortante, ensayo de contenido de sulfatos, resistencia a la compresión no confinada y resistencia a la compresión en probetas con cemento en porcentajes de 1 %; 1.5 % y 2 %. Los resultados demostraron que, la inclusión de cemento incrementó el valor de CBR, ya que se obtuvo el 20.7 % de valor de CBR para una máxima densidad seca al 95 % con una proporción de cemento del 1 %. Llegó a la conclusión de que, la proporción del 1 % de cemento permite que la subrasante pobre pase a ser muy buena, siendo apta para soportar la estructura de un pavimento y se mejoren las condiciones de circulación en el área de estudio (8).

Ventura y Alarcón, desarrollaron un estudio para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentaron la tesis titulada “Suelos arcillosos mejorados con cemento y aditivo Con-Aid, para la estabilización de subrasante, camino vecinal Ruta PA-701, Pasco, 2018”. Con el objetivo general de mejorar la capacidad portante de los suelos arcillosos aplicando cemento y aditivo Con – Aid, para la estabilización de la subrasante del camino vecinal Ruta N° PA 701, en Pasco. El método de la investigación fue científico, del tipo aplicado, nivel explicativo y diseño experimental. La población estuvo compuesta por 40 km del camino vecinal Ruta PA – 701 y la muestra estuvo delimitada por una calicata en un tramo de 1000 m o 1 km según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Para el desarrollo de la investigación, recolectaron información del Manual de suelos y pavimentos del MTC para el cual realizaron ensayos de caracterización del suelo como análisis granulométrico, límites de Atterberg y CBR. De los resultados, se obtuvo el tipo de suelo A-7-5 (11) según la clasificación AASHTO y OL (limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad) según la clasificación SUCS, con límite líquido de 48.08 %, límite plástico de 35.35 % e índice de plasticidad de 12.73 %, con CBR al 100 % de la máxima densidad seca igual a 7.8 % y CBR al 95 % de la máxima densidad seca de 6.2 %. Tras la aplicación de cemento en las proporciones de 6 %; 7.2 % y 8.4 % con 0.007 lts de aditivo Con – Aid los valores de CBR al 100 % de la máxima densidad seca fueron 17 %; 36 % y 63 % respectivamente. Demostrando que el uso de estabilizadores como cemento y aditivo Con – Aid, incrementan el valor de CBR de un suelo de tipo A-7-5(11) brindando una capacidad de soporte mayor. Llegaron a la conclusión de que, es posible estabilizar suelos arcillosos

con cemento y aditivo Con – Aid para su uso como subrasante en el camino vecinal Ruta PA – 701 (4).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cloruro de sodio

El cloruro de sodio es un compuesto químico con fórmula NaCl, está formado por cristales que pueden ser de tamaños grandes o en forma de polvo fino y son solubles en agua; se caracteriza por sus enlaces iónicos y conductividad eléctrica, que dan lugar a puntos altos de fusión por lo que tiene la propiedad de atraer y mantener el agua (21).

Es un producto que se emplea en la estabilización y mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos que se usan en bases y subbases, esencialmente para aumentar su resistencia mediante el control de los cambios de humedad en las capas e impidiendo que el agua se evapore (7); también reduce la temperatura de congelamiento, por otro lado tiene un precio económico y es de fácil obtención; para su aplicación se tiene una secuencia de pasos (22):

- Escarificación: Consiste en disgregar superficialmente el terreno mediante medios mecánicos para luego compactarlo.
- Disgregación
- Se añade el cloruro de sodio
- Se añade el agua
- Mezclado con moto conformadora
- Tendido y compactación.

Se puede aplicar de dos formas:

- En grano: Consiste en aplicarlo directamente en el suelo, aunque lograr una homogenización 100% eficiente entre suelo y sal no es tan fácil, pues quedan porciones de suelo con porcentajes menores de NaCl.

Figura 1
Cloruro de sodio aplicado en granos



Fuente: Díaz ⁽²¹⁾.

- En salmuera: Se logra mediante la dilución del cloruro de sodio en agua, mediante este método se logra aplicarlo de forma homogénea y fácil al suelo haciéndolo más eficiente, pues llena los espacios entre las partículas de suelo y a la vez se agrega la humedad óptima necesaria.

Figura 2
Cloruro de sodio en salmuera



Fuente: Díaz ⁽²¹⁾.

Se puede obtener de tres formas: colocando agua de mar en lugares con alta energía solar y mediante los rayos solares se evapora el agua resultando en partículas de sal; también se puede obtener mediante la extracción de minas de sal o por la evaporación del agua de océano en hornos industrializados (7).

Las principales características típicas del cloruro de sodio son:

Tabla 2

Características del cloruro de sodio

Características	Límites
Cloruro de sodio %	98 – 99.7
Humedad %	2 – 3.6
Materia insoluble %	0.007 – 0.175
Ion calcio %	0.035 – 0.910
Ion magnesio %	0.002 – 0.074
Ion sulfato %	0.125 – 0.355
Tamiz 4.75 mm	20% - 55%
Tamiz 1.18 mm	50% - 70%
% que pasa por el tamiz 1.18 mm	13% máximo

Fuente: Roldán ⁽²³⁾.

Las propiedades físicas del NaCl son (23):

- Estado: sólido
- Apariencia: incoloro
- Olor: inodoro
- Densidad: 2200 kg/m³
- Masa: 58.4 Uma
- Punto de fusión: 801 °C
- Punto de ebullición: 1465 °C
- Punto de descomposición: -273.16 °C
- Temperatura crítica: -273.16 °C
- Densidad relativa: 1.165

Los efectos de la adición del cloruro de sodio en el suelo son (23):

- Incremento de hasta un 3 % de la resistencia a la compresión y peso volumétrico
- Reducción de los límites líquido y el índice plástico
- Aumento en la capacidad de retención de la humedad de los suelos.

- Cambio en el peso volumétrico dependiendo del tipo de suelo

Los cloruros, tienen la capacidad de reducir la cantidad de emisión de polvo de vías terrestres no pavimentadas. La propiedad higroscópica de los cloruros, es reducir la evaporación manteniendo la humedad en la superficie. Además de absorber hasta diez veces su peso cuando la humedad ambiental es alta, donde la humedad se puede mantener en dos terceras partes durante un día con calor seco, lo que comprueba su eficacia e reducir la emisión de polvo.

Existen muchos tipos de sales que sirven para la estabilización de suelos y en especial los suelos arcillosos. Siendo los más destacados el cloruro de magnesio, cloruro de potasio nitrato de sodio, cloruro de bario, carbonato de sodio, cloruro de calcio y cloruro de sodio, siendo este último el más utilizado en carreteras.

Al mezclar cloruro de sodio con una arcilla la contracción volumétrica se reduce, se forma una costra superficial y los cambios de humedad se reducen; debido a que las partículas no arcillosas se mantienen unidas y las que se encuentran en la superficie se disgregan con menor facilidad ante la abrasividad del tránsito. Debido a la propiedad coagulante de la sal se requiere menor energía de compactación, por el intercambio iónico con los minerales de las partículas finas del suelo que genera un efecto cementante.

Para que el cloruro de sodio tenga eficacia, se debe tener humedad relativa ambiental superior al 3 % y el suelo debe de tener material que pase por la malla N° 200 y que reaccione favorablemente con la sal (24).

De acuerdo con el Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos, el suelo que se emplee con sal debe de estar limpio y no tener más del 3 % de su peso de materia orgánica. Así mismo, el índice de plasticidad debe ser mayor a 8 %. Para suelos que pasen la malla N° 200 el índice de plasticidad requerido es 12 % y para índices de plasticidad mayor se acepta la fracción de suelo que pasa por el tamiz N° 200. Finalmente, el tamaño máximo del agregado suelo debe ser menor de 1/3 del espesor de la capa compactada con suelo y sal, donde el espesor de la capa estabilizada con sal debe ser 150 mm a 200 mm, según las especificaciones del proyecto (9).

2.2.2 Cemento

Es posible la estabilización de suelos con cemento, siempre que se realice una mezcla íntima, homogénea y una buena compactación, con las cantidades adecuadas de cemento portland y agua. Y así poder obtener óptimas condiciones de resistencia y durabilidad (24).

2.2.2.1 Cemento portland

Tipos de cemento portland existen para cumplir con los diversos requisitos químicos y físicos para casos particulares (8).

Tabla 3

Tipos de cementos

Tipos	Características
I	Normal
IA	Normal con presencia de aire
II	Posee resistencia a sulfatos (moderado)
IIA	Posee resistencia a los sulfatos con presencia de aire (moderado)
III	Mayor resistencia
IIIA	Mayor resistencia con presencia de aire
IV	Menor calor de hidratación
V	Resistencia a los sulfatos (Alta)

Fuente: Cuzco ⁽⁸⁾.

En el tipo I el cemento tiene un uso general, es el más apropiado en donde no sea necesaria tener en cuenta todas las propiedades específicas que requieren los demás cementos. Sus tipos de utilidades se pueden dar en los pisos, pavimentos, etc.

En el tipo II, el cemento está realizado con el fin de evitar la presencia de sulfatos. Casualmente se usa en las construcciones normales o en los casos donde los suelos tienen presencia de sulfatos. Dicho suelo se suele caracterizar por tener regular resistencia a los sulfatos ya que entre sus tantos componentes posee más de un 8% de aluminato tricálcico.

En el tipo III, el cemento presenta resistencia usualmente dentro de una semana o menos. Suele ser requerido para el desarrollo de estructuras rápidas cuando el clima es frío y tiene mayor rapidez de secado.

En el tipo IV, el cemento es requerido para la disminución del calor producto de la hidratación.

En el tipo V, este cemento es aplicado en lugares donde el porcentaje de sulfato en el suelo es demasiado alto.

2.2.2.2 Suelos

De acuerdo con Toirac, el suelo puede definirse como aquel material trifásico que está compuesta por una fase sólida, una líquida y gaseosa.

Tomando el suelo como un material de construcción el suelo se diferencia en dos grandes grupos que son suelos finos y gruesos (25).

- **Suelos finos**

Los suelos finos están compuestos por arcillas y limos que cuando son mezclados con agua y cemento se produce la unión de dichas partículas formando una microestructura (25).

- **Suelos gruesos**

Los suelos gruesos se encuentran conformados por arenas y gravas que se encargan de formar partículas resistencia, que no son tan solubles en agua y que cuando se añade pasta de cemento no se obtiene la integración estructural íntima deseada. Para este grupo de suelo, el cemento realiza los puentes de unión entre las partículas sin dejar irregularidades entre ellas (25).

- **Suelos aptos para la mezcla suelo – cemento**

Los suelos aptos para la mezcla suelo- cemento son aquellos cuyo consumo de cemento en peso debe ser entre 5 a 12 % con respecto del suelo. Con estos suelos aptos en la mezcla se produce una absorción de agua adecuada alcanzando la resistencia adecuada en un lapso de tiempo corto. Además, de que estos suelos aptos poseen proporciones de suelos gruesos y finos para la obtención de una granulometría abierta; asimismo, su plasticidad debe aportar una cohesión adecuada a la mezcla mejorando su laboralidad (25).

- **Clasificación de los suelos para mezclas de suelo cemento**

El sistema de clasificación HRB (Highway Research Borad) abarca ciertas exigencias que puede determinar las mezclas de suelo-cemento bajo ciertas valoraciones (25). Como se muestra en la figura siguiente.

Figura 3

Sistema de clasificación de suelos HRB

Clasificación General	Suelos Granulares (35% o menos pasando el tamiz No. 200)							Suelos Finos (Más del 35% pasa tamiz No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB-GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz No.											
10 (2.0 mm)	50 máx.										
40 (0.42 mm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
200 (0.074 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Característica del material que pasa el tamiz No.40											
Límite Líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice Plástico	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
INDICE DE GRUPO	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
TIPO DE MATERIAL	Frag. de piedra, grava y arena		arena fina	Grava y arenas limosas o arcillosas				suelos limosos		suelos arcillosos	
VALORACION	Bueno requiere adición de suelo fino para hacerlo laborable		requiere añadir suelos finos	Excelente	Buenos			Regular		No es recomendable su uso por requerir elevados consumos de cementos	

Fuente: Toirac ⁽²⁵⁾.

De la figura mostrada es necesario realizar una breve explicación de los distintos tipos de suelos.

En primer lugar, el suelo A-1 se caracteriza por estar formado por rocas, gravas y arenas que no llegan a lograr mezclas económicas; es así que estos suelos son encontrados en casos donde es necesario añadir otros suelos que posean un elevado contenido de fracción fina.

Los suelos A-2 son ideales para la producción de suelo-cemento gracias a su variada granulometría pues contiene todas las fracciones como gravas, arenas, limos y arcillas. Además de que con estos suelos casi nunca se supera el 6% de cemento en las mezclas.

Los suelos A-3 están compuestos por arena más fina lo cual ocasiona la carencia de una fracción más gruesa (gravilla y arena gruesa) llegando a ser perjudicial puesto se necesitaría mayor cantidad de pasta de cemento incrementándose así los costos.

Los suelos A-4 y A-5 suelen caracterizarse por ser limosos ligados con arcilla y arena fina a media. En caso se planifique la realización de áreas grandes de construcción se va a recurrir a la mezcla de estos suelos con suelos más gruesos o al incremento de cemento.

Por último, los suelos A-6 y A-7 poseen altos contenidos de arcilla siendo muy costosos para la mezcla de suelo-cemento pues consumen grandes cantidades de cemento, demoran su proceso de secado, se producen grietas y fisuras (25).

La siguiente tabla presenta los porcentajes adecuados de cemento según al tipo de suelo presentado por la clasificación HRB.

Tabla 4

Porcentaje de cemento recomendado según clasificación HRB

Tipo de suelo HRB	Rangos promedios de cemento		Contenido de cemento
	% por volumen	% por peso	Recomendado en % de peso
A-I-a	5-7	3-5	5
A-I-b	7-9	5-8	6
A-2	7-10	5-9	7
A-3	8-12	7-11	9
A-4	8-12	7-11	10
A-5	8-12	8-13	10
A-6	10-14	9-15	12
A-7	10-14	10-16	13

Fuente: Toirac ⁽²⁵⁾.

La siguiente tabla presenta la cantidad porcentual de cemento que debe tener la mezcla según el tipo de suelo.

Tabla 5*Cantidad porcentual de cemento según el tipo de suelo*

Tipo de suelo	Cantidad del cemento (%)
Roca triturada, grava con arena y arcilla bien graduada	0.5-2
Arena bien graduada	2-4
Arena probablemente graduada	4-6
Arcilla arenosa	4-6
Arcilla limosa	6-8
Arcilla con plasticidad media	8-12
Arcilla con plasticidad alta	12-15
Suelos orgánicos	10-15

Fuente: Toirac ⁽²⁵⁾.

Así mismo, se debe mencionar que, de acuerdo al Manual de carreteras, sección de suelos y pavimentos; la dosificación de cemento se puede establecer según el cuadro 9.4, que en la investigación se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6*Rango de cemento requerido en la estabilización de suelo con cemento*

Clasificación AASHTO	Rango usual de cemento requerido (%)
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	5-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽⁹⁾.

2.2.2.3 Factores que afectan la mezcla suelo – cemento

Es importante controlar los factores que pueden ocasionar problemas en la mezcla suelo-cemento (14). A continuación, se presenta los factores a controlar:

- Se debe procurar no presente más del 2 % de materia orgánica, ya que provocaría demoras en la aglutinación del cemento.
- El tipo de suelo no debe contener partículas mayores a 7.5 cm, el límite líquido debe ser inferior a 40 y el índice plástico debe ser menor a 18.
- Dosificar el suelo debe ser fundamental, ya que al ser el componente más costoso un uso inadecuado llegaría a incurrir en gastos innecesarios.

- La cantidad de agua debe ser determinada por ensayos de proctor normal, ya que esto garantizaría una compactación óptima que logrará llegar a los valores más altos de densidad.
- Los curados de la mezcla deben tomar largos tiempos para garantizar una alta resistencia a la compresión.

2.2.2.4 Clasificación del suelo estabilizado con cemento

La estabilización del suelo puede lograrse con la adición de cemento, dicha mezcla consiste en compactación de cemento, agua y en ocasiones de aditivos. Según las propiedades obtenidas de la mezcla, el suelo estabilizado con cemento puede ser dividido en dos grupos (24).

- Suelo mejorado con cemento

Al suelo mejorado con cemento se le puede agregar pequeñas cantidades de cemento mejorando algunas de sus propiedades como su sensibilidad o su capacidad de soporte y luego el material queda suelto. Esta técnica suele ser aplicada en la mejora de explanadas (24).

- Suelo estabilizado con cemento

Con estos suelos suele obtenerse un material con cierta disposición a la resistencia mecánica tras el fraguado del cemento. La unión de los granos es puntual evitando ser envueltos en pastas de cemento para que no se conviertan en hormigón (24).

2.2.3 Estabilización de suelos

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación (9).

Cuando se presenta un suelo que no reúne las características mecánicas necesarias para trabajar directamente con él, se tendrá tres posibilidades:

- Utilizar el material como de bajo aporte.
- Sustituir el material.
- Modificar sus propiedades (estabilizar) (26).

“Se dice que un suelo es estable cuando alcanza la resistencia suficiente para no sufrir deformaciones ni desgastes por la acción del uso o de los agentes atmosféricos y conserva además esta condición bajo los efectos climatológicos normales en la localidad” (27).

Por lo tanto, se definirá como estabilización al mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos, obteniéndose un suelo firme y estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas. En general, “puede decir que todos los suelos pueden ser estabilizados, pero si la estabilización ha de lograrse por aportaciones de otros suelos o por medios de otros elementos (por ejemplo, cemento, cal, cloruro de sodio) el costo de la operación puede resultar demasiado alto si el suelo que se trata de corregir no posee determinadas condiciones. Entre las aplicaciones de un suelo modificado o estabilizado se encuentran la mejora de los suelos granulares susceptibles a las heladas y el tratamiento de los suelos limosos y/o arcillosos para reducir los cambios de volumen, etc.” (26).

2.2.3.1 Fundamentos para la estabilización de suelos para carreteras

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo, como son la estabilidad volumétrica, la resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad son las propiedades más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. “Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se deben concentrar en verificar si mejora alguna de estas propiedades” (26). En las siguientes líneas se describen las propiedades.

- Estabilidad volumétrica

Los problemas de estabilidad volumétrica se originan sobretodo en suelos expansivos, licuables (ante cargas dinámicas) y suelos colapsables; relacionados por los cambios de humedad de éstos, originando en muchos casos por ejemplo levantamiento de los pavimentos (si son suelos expansivos); a su vez el cambio de humedad está relacionado con los cambios estacionales, o depende de la actividad del ingeniero. Suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa, en ciertas circunstancias, se comportan como si fuesen líquidos.

Para el desarrollo de esta propiedad nos enfocaremos en los suelos arcillosos; los cuales tienen la capacidad de hinchamiento o de retracción dependiendo de su contenido de humedad. En un suelo de estas características la finalidad principal es transformar esa masa de arcilla expansiva a una masa completamente rígida o en una masa granulada, pero con una capacidad de expansión mínima; esto es unir las partículas que la forman, de tal manera que puedan resistir las presiones internas que provocan la expansión y/o hinchamiento. Esto generalmente se logra con la aplicación de tratamientos químicos o térmicos. Para arcillas ubicadas en la superficie los

tratamientos químicos son efectivos; los tratamientos térmicos se han aplicado a arcillas más profundas.

- **Resistencia**

Para mejorar esta propiedad se suele usar la estabilización mecánica (compactación). Algunas formas de estabilización más usadas para lograr una mayor resistencia son:

- ✓ Compactación
- ✓ Vibro-flotación
- ✓ Precarga
- ✓ Drenaje
- ✓ Estabilización mecánica con mezclas de otros suelos
- ✓ Estabilización química con cemento, cal u otros aditivos.

La falta de resistencia ocurre sobretodo en suelos orgánicos, ya que la presencia de material orgánico no permite la buena estabilización de estos suelos.

- **Permeabilidad**

“Es la capacidad que tiene un medio de transmitir agua (u otra sustancia); el medio es permeable cuando éste deja pasar a través de él una cantidad significativa de fluido, y es impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. El suelo se puede definir como permeable pues presenta poros; en este caso son los espacios vacíos que le permiten absorber el agua; a su vez estos espacios vacíos están interconectados de tal forma que dispone de caminos por los que el agua puede pasar fácilmente; si no ocurre esto, es decir, la cantidad de espacios vacíos es mínima; entonces el suelo será impermeable. Si la presión de poros es elevada provocará deslizamientos y el flujo de agua a través del suelo puede provocar el arrastre de las partículas sólidas originando tubificación” (26).

El tamaño de los poros tiene gran importancia con respecto a la cantidad de agua que se mueve hacia dentro del suelo (filtración), y al movimiento a través del agua. La permeabilidad también se ve afectada por la textura y la estructura del suelo; las que a su vez dependerán del número y del tamaño de los poros del suelo.

Tabla 7*Permeabilidad según la textura del suelo*

Suelo	Textura	Permeabilidad
Arcilloso	Fina	De muy lenta a muy rápida
Limoso	Moderadamente fina	
	Moderadamente gruesa	
Arenoso	Gruesa	

Fuente: Mamani ⁽²⁸⁾.**Tabla 8***Permeabilidad según la estructura del suelo*

Tipo de estructura	Permeabilidad
Laminar	De muy lenta a muy rápida
Gran traslapo	
	Ligero traslapo
En bloque	
Primitica	
Granular	

Fuente: Aguilar ⁽²⁹⁾.**- Compresibilidad**

“Es el grado en que la masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Esta propiedad afecta a otras como la permeabilidad; también altera la magnitud y el sentido de las fuerzas interpartículas; modificando la resistencia del suelo al esfuerzo cortante o pudiendo provocar deslizamientos” (30).

“Si se habla de los suelos de textura gruesa (gravas y arenas); la compresibilidad será mínima, pues sus partículas están en contacto. Nos centraremos en los suelos de grano fino, las arcillas y limos; si se comprime una masa húmeda de estos suelos, se produce una reducción en su volumen, pues gran parte de la humedad y el aire presentes se eliminarán; la compresibilidad llega al máximo mientras mayor cantidad de materia orgánica esté presente. La compresibilidad es aproximadamente proporcional al índice de plasticidad; mientras mayor es el índice plástico mayor es la compresibilidad del suelo” (26).

- Durabilidad

Esta propiedad se relaciona con la resistencia al intemperismo, erosión o a la abrasión del tránsito; generalmente se asocia a los suelos cercanos a la superficie de rodamiento. Una de las maneras de mejorarla es la adición de químicos; dependiendo del tipo de suelo.

2.2.3.2 Tipos de estabilización

La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo (31). “Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación” (26). En la actualidad se emplean los siguientes métodos:

- Estabilización mecánica (compactación).
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos.
- Estabilización por calor y calcinación.
- Estabilización química (cemento, cal, asfalto, otros productos).

En las siguientes líneas, se describen los tipos de estabilización más conocidos.

a) Estabilización mecánica

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo parcialmente saturada, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Para esta acción se utilizan equipos llamados compactadores, los cuales tienen como fin lograr aumentar la resistencia al corte reduciendo el volumen de vacíos presentes en el suelo. Entre los procedimientos de estabilización mecánica se tiene:

- ✓ Amasado: Se suele usar rodillos de pata de cabra, se utilizan para suelos finos cohesivos.
- ✓ Impactador de carga: Se utilizan pisones los cuales combinan el impacto, la vibración y el mezclado; son perfectas para áreas confinadas y se utilizan para compactar suelos finos.
- ✓ Presión estática: Con rodillos lisos y neumáticos que combinan utilizan la acción de amasado con el peso estático.
- ✓ Vibración: Se usan los rodillos vibratorios para ayudar al reacomodo de las partículas.
- ✓ Métodos mixtos: Es la combinación de los anteriores procedimientos.

Se define como un método de mejoramiento de las propiedades de los suelos a partir de ejercer una acción mecánica de corta duración de manera repetitiva sobre una masa de suelo.

Las especificaciones para la compactación en terreno exigen la obtención de una densidad mínima, que es un mínimo porcentaje de la densidad máxima que se obtiene en laboratorio. Es muy común exigir por lo menos el 95% del Proctor Modificado.

b) Estabilización por sustitución de suelos

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) (32). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación.

En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. Una vez alcanzado el nivel de excavación indicado, conformado y compactado el suelo, se procederá a la colocación y compactación en capas de los materiales, hasta alcanzar las cotas exigidas.

c) Estabilización por combinación de suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo. El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere.

Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios

indicados en los documentos del proyecto, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente cumpla las exigencias de la Sección 207 del manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para la construcción (32).

2.2.3.3 Subrasante

Capa de la estructura del pavimento, que tiene como objetivo recibir las cargas de la base o sub-base y distribuir las adecuadamente a las capas de pavimento subsecuentes. La función principal es proporcionar soporte al pavimento, por lo que resulta indispensable evaluar las propiedades de los suelos para llevar un control de calidad adecuado.

a) Materiales

Tendrá una granulometría tal que todas las partículas pasen por un tamiz de 4 in (100 mm), y no más del 20 % pasen el tamiz No 200 (0.075 mm), mediante el ensayo de granulometría por vía húmeda, (ASTHO T – 11). La parte del material que pase el tamiz No 40 (0.425 mm) deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 9, y límite líquido hasta 35 % (AASHTO T 89). Valor de CBR mayor al 20 % (AASHTO T 193).

b) Compactación

Para compactar la capa de la subrasante el espesor de esta debe mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad hasta lograr la densidad máxima de laboratorio (Proctor Modificado, AASHTO T 180, método D). Según las especificaciones MOP – 001 – F - 2002, la densidad de la capa compactada deberá ser del 95 %, y su cota no podrá variar en más de 2 cm.

2.2.4 Ensayos de laboratorio

2.2.4.1 Ensayo de análisis granulométrico

El análisis granulométrico de suelos tiene como objetivo determinar la distribución según los tamaños de las partículas presentes en una muestra, se puede utilizar la serie de tamices completa o una alternativa que también brinda una separación uniforme (33):

Tabla 9*Serie de tamices completa*

Tamices	Abertura (mm)
3"	75.000
2"	50.800
1 1/2"	38.100
1"	25.400
3/4"	19.000
3/8"	9.500
N°4	4.760
N°10	2.000
N°20	0.840
N°40	0.425
N°60	0.260
N°140	0.106
N°200	0.075

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

Para seleccionar el tamaño de porción, se debe conocer el tamaño máximo de partículas.

Tabla 10*Peso mínimo de la muestra según el tamaño máximo de partículas*

Diámetro nominal de las partículas más grande mm (plg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9.5 (3/8")	500
19.6 (3/4")	1000
25.7 (1")	2000
37.5 (1 1/2")	3000
50.0 (2")	4000
75.0 (3")	5000

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

2.2.4.2 Ensayo de contenido de humedad

Es un ensayo que busca conocer el peso del agua en una masa de suelo, se expresa en porcentaje, hallar este valor es fácil teniendo: un horno de secado, balanzas y recipientes se determina mediante la fórmula (33):

$$w = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

2.2.4.3 Ensayo de límite líquido y límite plástico

- Límite líquido: Es el porcentaje de agua que el suelo necesita para estar entre los límites líquido y plástico; para poder determinarlo se necesita: el aparato de Casagrande, un acanalador, calibrador, recipientes, balanza y estufa. Para su determinación se aplica la fórmula (33):

$$LL = w^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL = kw^n$$

Donde:

N: Número de golpes para cerrar la ranura

w^n : Contenido de humedad del suelo

k: Factor para límite líquido

Tabla 11

Factor para el límite líquido por número de golpes

N (Número de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0.974
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

- Límite plástico: Es el menor contenido de agua con el que se pueden formar barritas de 3.2 mm de diámetro, es necesario contar con: una espátula, recipientes, balanza, tamiz N° 4, vidrio de reloj, una superficie de rodadura, agua destilada y un horno. Su cálculo es mediante la simple fórmula (33):

$$LP = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso del suelo secado}} \times 100$$

2.2.4.4 Ensayo de Proctor Modificado

El ensayo de Proctor modificado tiene como finalidad determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco del suelo para al final poder realizar la curva de compactación; existen tres distintos métodos dependiendo de las características del suelo:

- Método A: Este método aplica cuando el 20 % o menos de la muestra de suelo es retenida en el tamiz N° 4, para el ensayo se utiliza la parte de la muestra que pasa por el tamiz N° 4 y un molde de 101.6 mm, en 5 capas con 25 golpes por cada una compactado (33).

- Método B: Este método aplica cuando más del 20 % de la muestra de suelo es retenida en el tamiz N° 4 y 20 % o menos en el de 3/8'', para el ensayo se utiliza la parte de la muestra que pasa por el tamiz N° 3/8'' y un molde de 101.6 mm, en 5 capas con 25 golpes por cada una compactado (33).
- Método C: Este método aplica cuando más del 20 de la muestra de suelo es retenida en el tamiz N° 3/8'' y menos del 30 % en el de 3/4'', para el ensayo se utiliza la parte de la muestra que pasa por el tamiz N° 3/4'' y un molde de 152.4 mm, en 5 capas con 25 golpes por cada una compactado (33).
- Se debe calcular la densidad húmeda ρ_m del espécimen compactado (33):

$$\rho_m = \frac{(Mt - Mmd)}{V} \times 1000$$

Donde:

Mt: Masa del espécimen húmedo más molde

Mmd: Masa del molde de compactación

V: Volumen del molde de compactación

Para calcular la densidad seca ρ_d del espécimen compactado (33):

$$\rho_d = \frac{\rho_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

Donde:

w: Contenido de agua

El peso unitario γ_d se calcula mediante (33):

$$\gamma_d = 62.43\rho_d$$

$$\gamma_d = 9.807\rho_d$$

Finalmente, para calcular el contenido de agua para una saturación completa W_{sat} (33):

$$W_{sat} = \frac{\gamma_w \cdot G_s - \gamma_d}{\gamma_d \cdot G_s} \times 100$$

Donde:

γ_w : Peso unitario del agua

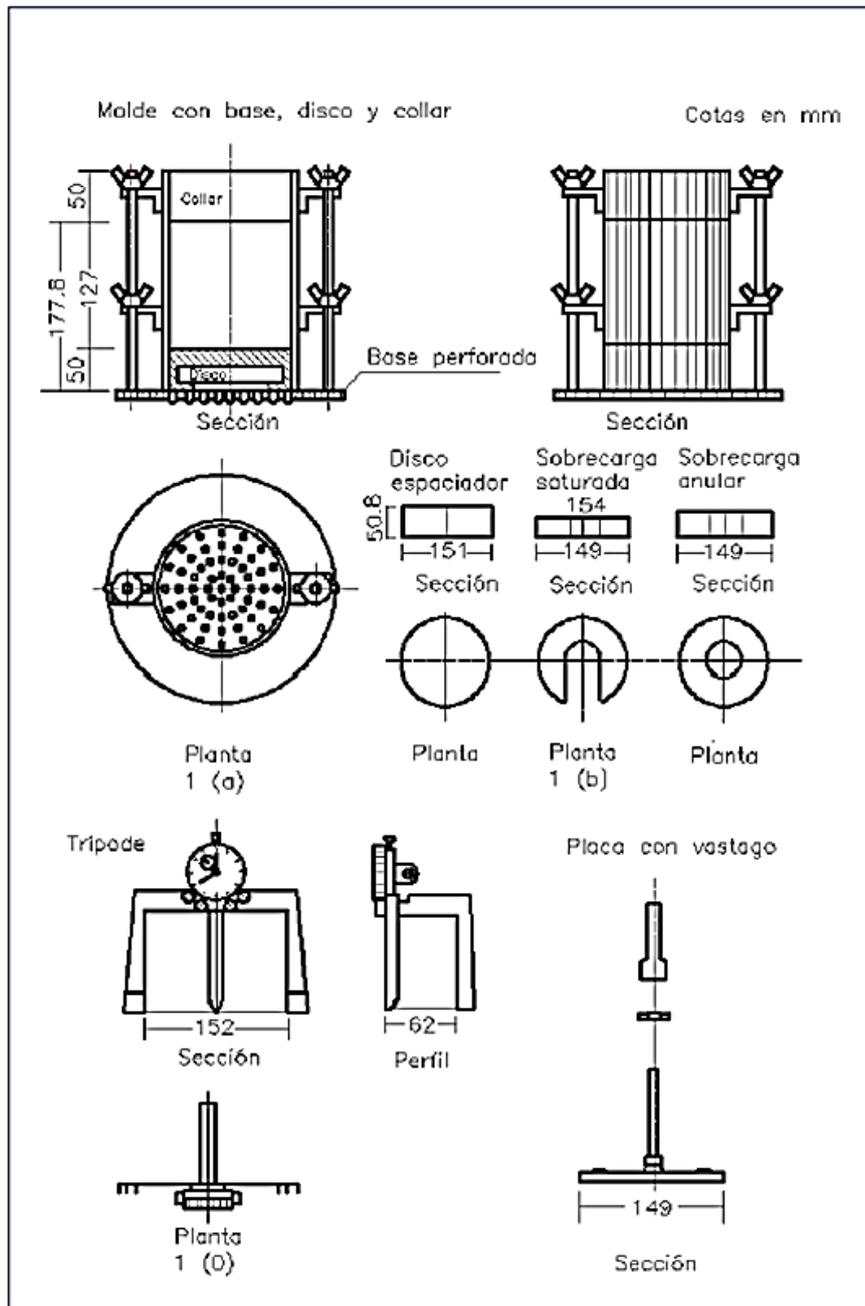
G_s : Gravedad específica del suelo

2.2.4.5 Ensayo de CBR

Este ensayo se emplea para evaluar la resistencia potencial de suelos que vayan a ser utilizados como material para subrasante, subbase o base. Se necesita:

- Prensa para forzar la penetración de un pistón en el espécimen
- Molde con diámetro interior de $152.4 \text{ mm} \pm 0.66 \text{ mm}$, $177.8 \text{ mm} \pm 0.46 \text{ mm}$ de altura y un collar de 50.8 mm de altura, una placa base de 9.53 mm de espesor
- Disco espaciador circular de metal de 150,8 mm de diámetro exterior y de $61,37 \pm 0,127 \text{ mm}$
- Pisón de compactación
- Aparato medidor de expansión
- Pesas
- Pisón de penetración
- Dos diales de 25 mm de recorrido como mínimo
- Tanque
- Estufa
- Balanzas
- Tamices N° 4, $\frac{3}{4}$ '' y 2''
- Misceláneos

Figura 4. Detalles de los equipos utilizados para el ensayo CBR



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

Se debe calcular el porcentaje de agua que se debe añadir para alcanzar la humedad prefijada (33):

$$\% \text{ de agua añadida} = \frac{H - h}{100 + h} \times 100$$

Donde:

H: Humedad prefijada

h: Humedad natural

Para el porcentaje de expansión.

$$\% \text{ expansión} = \frac{L2 - L1}{127} \times 100$$

Donde:

L1: Lectura inicial

L2: Lectura final

Esfuerzos de referencia en relación a los datos de penetración.

Tabla 12

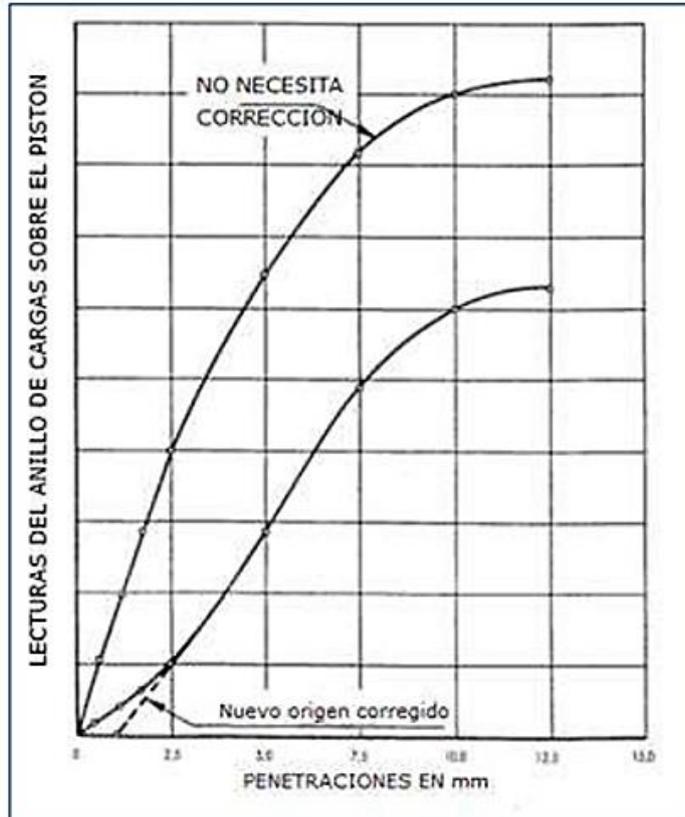
Esfuerzo – penetración de referencia

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m ²	kg/cm ²	lb/plg ²
2.54	0.1	6.9	70.31	1.000
5.08	0.2	10.35	105.46	1.500

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

Para calcular el índice de CBR se debe dibujar una curva de presiones y penetraciones, la cual debe tener un punto de inflexión, como muestra la siguiente figura.

Figura 5
Curva para calcular el CBR



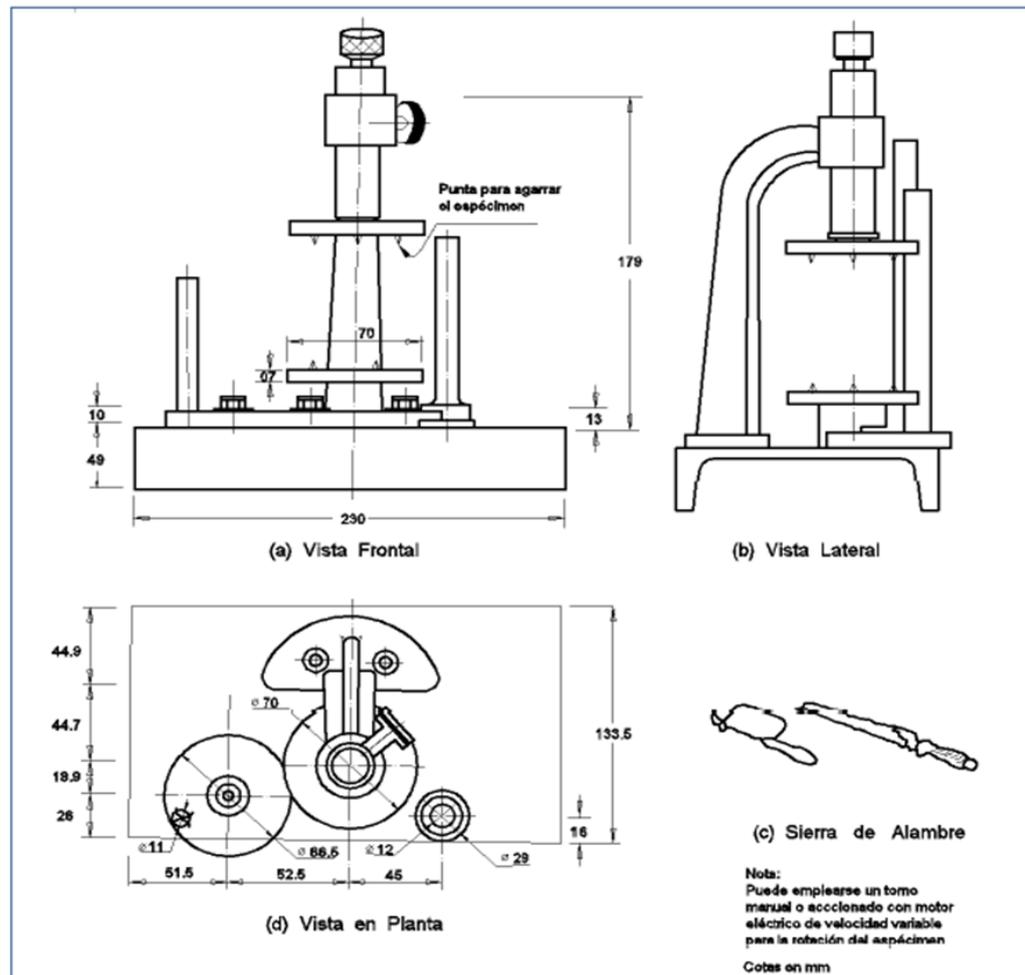
Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

2.2.4.6 Ensayo de presión no confinada en muestras de suelo

Tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos bajo condiciones inalteradas o remoldeadas mediante la aplicación de una carga axial. Para su determinación se necesita (33):

- Aparato de compresión con 1% de sensibilidad de la resistencia a la compresión
- Extractor de muestras
- Torno tallador de probetas
- Cronómetro
- Balanzas
- Estufa que mantenga una temperatura de $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Figura 6
Torno tallador de probetas



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

Con los resultados se debe calcular la deformación unitaria ϵ , con la siguiente fórmula

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Donde:

ϵ : Deformación unitaria axial

ΔL : Cambio de longitud de la muestra

L_0 : Longitud inicial de la muestra

También se debe calcular el promedio de la sección transversal A de la muestra.

$$A = \frac{A_0}{(1 - \epsilon)}$$

Donde:

ϵ : Deformación unitaria axial

Ao: Área inicial promedio de la probeta

$$A_o = \frac{(A_t + 2 \cdot A_m + A_b)}{4}$$

Donde:

At: Área en la parte superior de la probeta

Am: Área en la parte media de la probeta

Ab: Área en la parte inferior de la probeta

Finalmente, el cálculo del esfuerzo σ en kg/cm²

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

P: Carga aplicada

A: Área de la sección promedio

La resistencia a la compresión no confinada se clasifica en:

Tabla 13

Consistencia del suelo según la resistencia a la compresión no confinada

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión no confinada	
	kg/cm ²	(kPa)
Muy blanda	< 0.25	(< 25)
Blanda	0.25 - 0.50	(25 - 50)
Mediana	0.50 - 1.00	(50 - 100)
Firme	1.00 - 2.00	(100 - 200)
Muy firme	2.00 - 4.00	(200 - 400)
Dura	> 4.00	(> 400)

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones ⁽³³⁾.

2.3 Definición de términos básicos

- **AASHTO:** Norma para el cálculo y el diseño vial. Sistema de clasificación que está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.
- **CBR:** California Bearing Ratio, que traducido al español sería capacidad de Soporte de Suelos y Agregados Compactados en laboratorio.
- **Coefficiente de estabilidad volumétrico:** Cifra que expresa la resistencia de un material a los cambios elásticos, relación entre la presión que actúa sobre el material y el cambio

fraccional que se produce en su volumen dentro de los límites de elasticidad del material. También llamado módulo volumétrico.

- **Compresibilidad:** Grado en que una masa de suelo disminuye su volumen bajo el efecto de una carga. Es mínima en los suelos de textura gruesa, que tienen las partículas en contacto.
- **Durabilidad:** Capacidad de materiales y componentes de conservar las características y funcionalidad para la que fue seleccionado durante su vida útil prevista.
- **Ensayo:** Prueba que se hace para determinar si un elemento o material funciona o resulta como se desea.
- **Estabilización de suelos:** Concepto más amplio y general que el de compactación, pues incluye cualquier procedimiento útil para mejorar las propiedades ingenieriles del suelo, como estructura.
- **Módulo volumétrico:** Cifra que expresa la resistencia de un material a los cambios elásticos, relación entre la presión que actúa sobre el material y el cambio fraccional que se produce en su volumen dentro de los límites de elasticidad del material. También llamado coeficiente de estabilidad volumétrico.
- **Permeabilidad:** Propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire.
- **Proctor:** Prueba de laboratorio que sirve para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado.
- **Resistencia de suelo:** Capacidad mecánica del subsuelo se analiza en forma empírica o por formulación analítica.
- **SUCS:** (Por sus siglas en inglés) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

Sánchez y Reyes, afirman que el método científico es el proceso de indagación para tratar un conjunto de problemas que no conocemos y es la manera de sistematizada de hacer uso del pensamiento reflexivo; incluyendo la solución de problemas de la sociedad que aún no han sido investigados o llevan hacia otra dirección.

En ese sentido, la presente investigación es científica ya que se desarrollará de manera organizada y sistemática la información y los resultados necesarios para hacer posible la investigación (34).

3.1.2 Alcance de investigación

El alcance o nivel de la investigación es explicativo, ya que “está dirigido a responder por las causas de los efectos y fenómenos físicos o sociales”.

De acuerdo con los mencionado en el párrafo anterior, la investigación evaluará las características del suelo (consecuencia) tras la aplicación del cloruro de sodio y cemento en diferentes proporciones (causa), además se contará con un grupo de tratamiento control y un grupo experimental (35).

3.1.3 Tipo de investigación

De acuerdo con Ramírez, la investigación aplicada utiliza la teoría para la solución de problemas concretos y se encuentra relacionada de manera directa con la investigación pura, ya que las teorías que descubre esta última permiten la estructuración de soluciones concretas a problemas de la realidad.

Razón por la cual, el tipo de investigación es aplicada ya que se hará uso de los conocimientos en el área de suelos y pavimentos para el beneficio de los usuarios del tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, del departamento de Huánuco (36).

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental, debido a que “la esencia de esta concepción de experimento es que requiere la manipulación intencional de una acción, para analizar sus posibles resultados”, es así que la investigación desarrollará la manipulación de la adición del cloruro de magnesio hexahidratado y cemento en diferentes proporciones para determinar el

efecto en la estabilización de suelos (material propio de la carretera) a nivel de subrasante, incluyendo el material de cantera (35).

GE: $O_1 \times O_2$

GC: O_3

T0: Tratamiento control

T1: Suelo propio + Cloruro de sodio al 2%

T2: Suelo propio + Cloruro de sodio al 4%

T3: Suelo propio + Cloruro de sodio al 6%

T0: Tratamiento control

T1: Suelo propio + Cemento al 2%

T2: Suelo propio + Cemento al 4%

T3: Suelo propio + Cemento al 6%

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

De acuerdo con Castro, la población es la totalidad de elementos que conforman la realidad que se va a investigar. En se sentido, la población está compuesta por la carretera departamental HU – 108, del departamento de Huánuco (6).

En la siguiente figura, se puede observar el tramo de la carretera departamental HU – 108 del departamento de Huánuco.

Figura 7
Tramo de la carretera departamental HU - 108



Fuente: Google Earth.

3.3.2 Muestra

De acuerdo con Castro, la muestra es parte de la población la cual se selecciona por métodos diversos y representa a la población. Para el cual la muestra de la investigación es no probabilística y por conveniencia ya que se realizarán los estudios de laboratorio para una calicata en el tramo de 500 m de la ruta: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, de la carretera departamental HU – 108, del departamento de Huánuco (6).

Tabla 14
Tratamiento de muestras

N° de muestra	T0	T1	T2	T3
1	W1	X1	Y1	Z1
2	W2	X2	Y2	Z2
3	W3	X3	Y3	Z3
	\bar{W}	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas

Observación directa: Técnica que consiste en determinar las propiedades mediante la percepción al momento de la toma de datos, en ese sentido esta técnica tuvo mayor relevancia cuando se realizaron los trabajos de campo y los ensayos de laboratorio, para posteriormente discutir en función a los resultados obtenidos.

3.4.2 Instrumentos

Fichas de ensayos de laboratorio: Medio empleado para la recolección y almacenamiento de la información durante los ensayos realizados en laboratorio. Los instrumentos de recolección de datos se adjuntan en el anexo de ensayos de laboratorio, los mismos que se encuentran con la información de los ensayos realizados.

3.4.3 Análisis de confiabilidad y validez

La confiabilidad de un cuestionario se refiere a la consistencia de las puntuaciones obtenidas por las mismas personas, cuando se las examinan en distintas ocasiones con los mismos cuestionarios.

La validez un instrumento de medición es válido cuando mide aquello para lo cual está destinado tiene que ver con lo mide el cuestionario y cuan bien lo hace.

a) Validez

La validez tiene alto nivel en la medida que los resultados reflejan una vista completa, clara y representativa de la realidad o situación estudiada. En la tabla, se muestran los rangos de validez.

Tabla 15

Rangos de validez

Rango de validez	Interpretación
0.81 - 1.00	Muy alta
0.61 - 0.80	Alta
0.41 - 0.60	Media
0.21 - 0.40	Baja
0.00 - 0.20	Muy baja

Fuente: Ruíz ⁽³⁷⁾.

b) Confiabilidad

Respecto a la confiabilidad, Martínez, menciona que una investigación es estable cuando segura, congruente, estable e igual para diferentes tiempos y previsible para el futuro. Donde la confiabilidad tiene dos caras; la confiabilidad interna cuando los investigadores estudian la misma realidad concuerda en las conclusiones y la confiabilidad externa cuando los investigadores estudian una realidad en situaciones y/o tiempos diferentes obtienen los mismos resultados. La tabla muestra los rangos de confiabilidad (38).

Tabla 16
Rangos de confiabilidad

Rango de confiabilidad	Interpretación
0.81 - 1.00	Muy alta
0.61 - 0.80	Alta
0.41 - 0.60	Media
0.21 - 0.40	Baja
0.00 - 0.20	Muy baja

Fuente: Ruíz ⁽³⁷⁾.

3.5 Procedimiento

El procedimiento de la investigación partió de la recolección de suelo del tramo de 500 m de la ruta: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba que pertenece a la carretera departamental HU – 108 de Huánuco. Se llevó el material recolectado al laboratorio para el desarrollo de los ensayos como; análisis granulométrico, contenido de humedad, límite líquido y límite plástico, CBR y compresión no confinada.

3.6 Método de análisis de datos

Los datos se analizaron con la ayuda del programa Ms – Excel, así como también se empleó el programa SPSS 23 para la prueba de Tukey que evalúa la diferencia de medias de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Características físicas del suelo

4.1.1.1. Cloruro de sodio en el tipo de suelo

La tabla, muestra la granulometría del suelo natural y la figura, representa la curva granulométrica del suelo natural.

Tabla 17

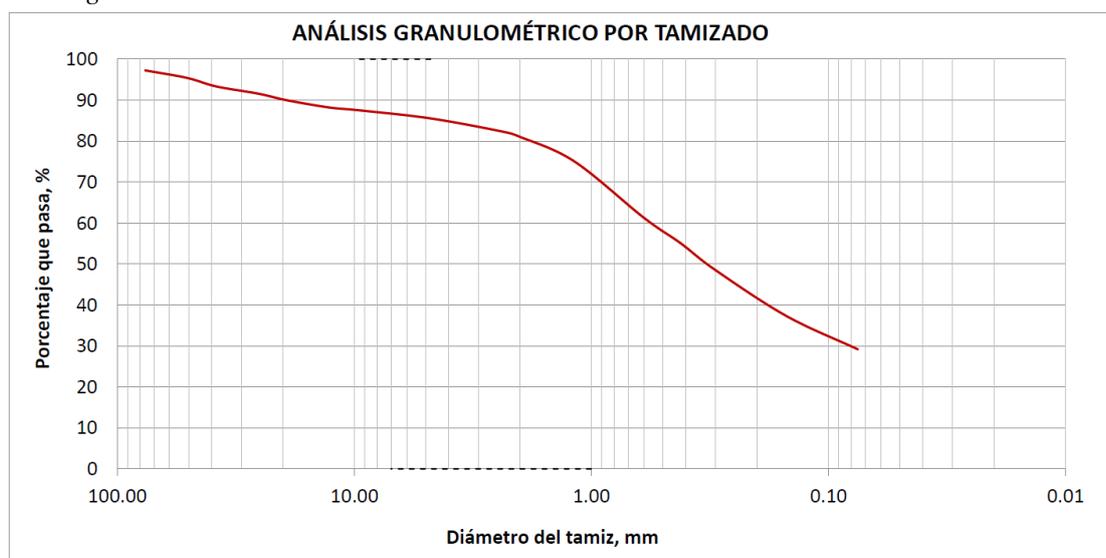
Granulometría suelo natural

TAMIZ		Peso retenido, g	Peso retenido acumulado, g	Porcentaje retenido, %	Porcentaje que pasa, %
Pulgadas	(mm)				
3"	76.200	948.0	948.0	2.8	97.2
2"	50.800	630.0	1578.0	4.6	95.4
1 1/2"	38.100	723.0	2301.0	6.7	93.3
1"	25.400	601.0	2902.0	8.4	91.6
3/4"	19.050	570.0	3472.0	10.1	89.9
1/2"	12.700	595.0	4067.0	11.8	88.2
3/8"	9.520	233.0	4300.0	12.5	87.5
No. 4	4.750	683.0	4983.0	14.5	85.5
No. 8	2.360	1,108.4	6091.4	17.7	82.3
No. 10	2.000	433.3	6524.7	19.0	81.0
No. 16	1.180	2,053.8	8578.5	24.9	75.1
No. 30	0.600	4,734.8	13313.3	38.7	61.3
No. 40	0.420	2,136.2	15449.5	44.9	55.1
No. 50	0.300	2,245.0	17694.5	51.5	48.5
No. 100	0.150	3,873.3	21567.8	62.7	37.3
No. 200	0.075	2,792.9	24360.7	70.8	29.2
Fondo		10,026.3	34387.0	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia. Laboratorio

Figura 8

Curva granulométrica del suelo natural



Fuente: Elaboración propia.

También se pudo obtener el porcentaje de grava, arena y finos, que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 18

Contenido de grava, arena y finos del suelo natural

Contenido, %	
Grava (3" - N°4)	14.5
Arena (N°4 - N°200)	56.4
Finos (menor a N°200)	29.2

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se obtuvo la clasificación del suelo como SM – SC según la clasificación SUCS y A – 2 – 4 según la clasificación AASHTO. Y un material compuesto por arena limosa y arcillosa, con una mezcla de grava, arena y finos limosos arcillosos de baja plasticidad con coloración marrón.

Las siguientes tablas, se muestran el contenido de grava, arena y finos para las mezclas de suelo con 2 %; 4 % y 6 % de cloruro de sodio.

Tabla 19

Contenido de grava, arena y finos del suelo + 2 % NaCl

Contenido, %	
Grava (3" - N°4)	15.3
Arena (N°4 - N°200)	54.2
Finos (menor a N°200)	30.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20*Contenido de grava, arena y finos del suelo + 4 % NaCl*

Contenido, %	
Grava (3'' - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N° 200)	54.2
Finos (menor a N° 200)	30.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21*Contenido de grava, arena y finos del suelo + 6 % NaCl*

Contenido, %	
Grava (3'' - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N° 200)	54.2
Finos (menor a N° 200)	30.6

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2. Cemento residual en el tipo de suelo

En las tablas siguientes, se presentan el contenido de grava, arena y finos para las mezclas de suelo con 2 %; 4 % y 6 % de cemento residual.

Tabla 22*Contenido de grava, arena y finos del suelo + 2 %Cemento*

Contenido, %	
Grava (3'' - N° 4)	15.6
Arena (N° 4 - N° 200)	54.0
Finos (menor a N° 200)	30.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23*Contenido de grava, arena y finos del suelo + 4 % Cemento*

Contenido, %	
Grava (3'' - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N° 200)	54.1
Finos (menor a N° 200)	30.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24*Contenido de grava, arena y finos del suelo + 6%Cemento*

Contenido, %	
Grava (3'' - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N°200)	54.7
Finos (menor a N° 200)	29.9

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3. Cloruro de sodio y cemento en la humedad natural del suelo

La tabla, muestra el resumen del contenido de humedad natural del suelo.

Tabla 25

Humedad natural del suelo

MUESTRAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Suelo 100 %	10.50

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.4. Cloruro de sodio en el índice de plasticidad del suelo

En la tabla siguiente, se muestra el resumen del índice de plasticidad del suelo con cloruro de sodio al 0 %; 2 %; 4 % y 6 %; los cuales responden a los tratamientos 0; 1; 2; 3 y 4 respectivamente.

Tabla 26

Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cloruro de sodio

TRATAMIENTOS	MUESTRAS	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
T0	Suelo 100 %	22.0	16.0	6.0
T1	Suelo 98 % + 2 % NaCl	22.0	16.0	6.0
T2	Suelo 96 % + 4 % NaCl	22.0	16.0	6.0
T3	Suelo 96 % + 4 % NaCl	22.0	16.0	6.0

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5. Cemento residual en el índice de plasticidad del suelo

Del mismo modo, se muestra la tabla de resumen del índice de plasticidad del suelo con cemento residual al 0 %; 2 %; 4 % y 6 %, que también responden a los tratamientos 0; 1; 2; 3 y 4 respectivamente. También se adjunta la representación gráfica del índice de plasticidad.

Tabla 27

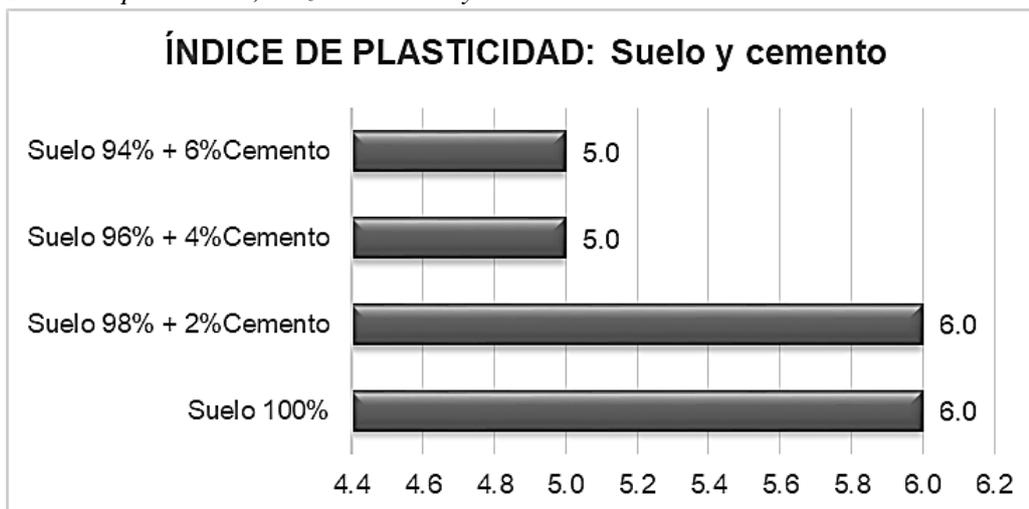
Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cemento

TRATAMIENTOS	MUESTRAS	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD
T0	Suelo 100 %	22.0	16.0	6.0
T1	Suelo 98 % + 2 % Cemento	21.0	15.0	6.0
T2	Suelo 96 % + 4 % Cemento	21.0	16.0	5.0
T3	Suelo 94 % + 6 % Cemento	22.0	17.0	5.0

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9

Índice de plasticidad, mezcla de suelo y cemento



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo

4.1.2.1. Cloruro de sodio en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo

Las siguientes tablas, contienen los resultados de la máxima densidad seca y el contenido de humedad para la mezcla de suelo con 0%; 2%; 4% y 6% de cloruro de sodio. Así mismo, se muestran las figuras con la representación gráfica de la máxima densidad seca y el contenido de humedad, para cada tratamiento.

Tabla 28

Máxima densidad seca, mezcla de suelo y cloruro de sodio

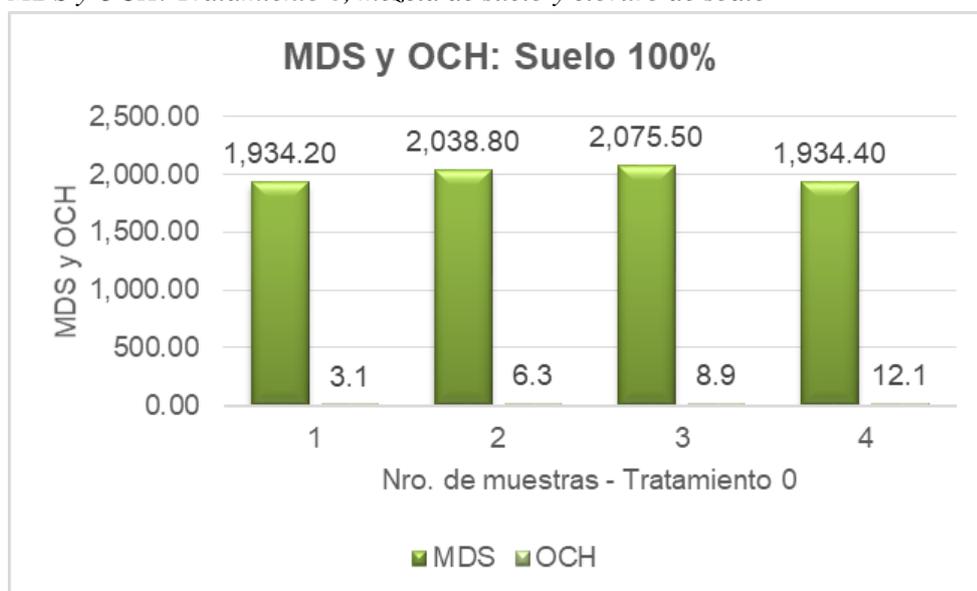
N°	MDS - SUELO Y CLORURO DE SODIO			
	T0	T1	T2	T3
1	1,934.20	1,852.20	1,853.10	1,851.30
2	2,038.80	1,984.30	1,963.50	1,956.50
3	2,075.50	2,123.70	2,079.90	2,061.20
4	1,934.40	1,994.90	1,892.70	1,978.30
MDS	2,081.00	2,124.00	2,079.90	2,061.40

Fuente: Elaboración propia.

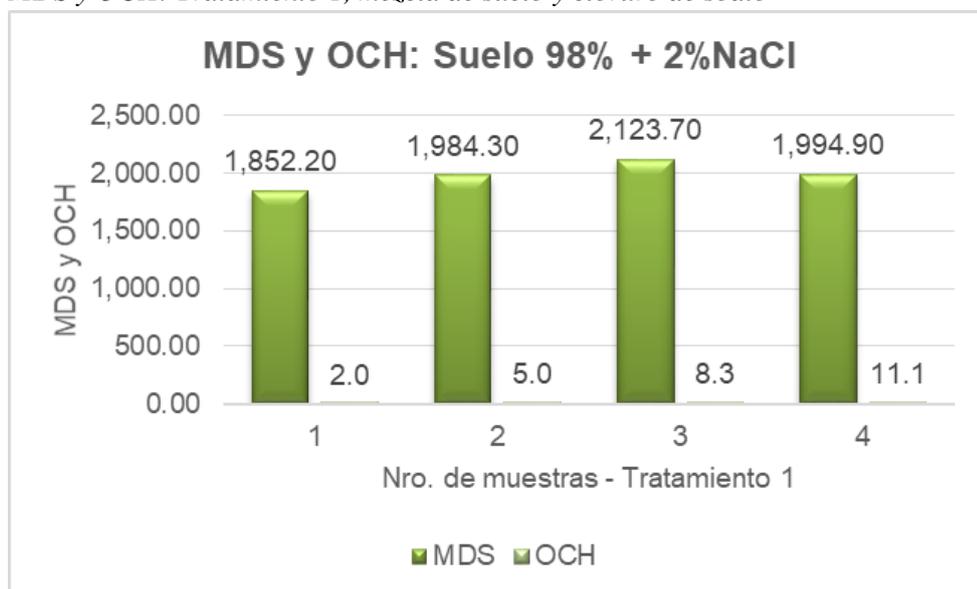
Tabla 29*Óptimo contenido de humedad mezcla de suelo y cloruro de sodio*

N° MUESTRA	OCH - SUELO Y CLORURO DE SODIO			
	T0	T1	T2	T3
1	3.1	2.0	2.8	2.5
2	6.3	5.0	4.9	4.9
3	8.9	8.3	8.2	8.2
4	12.1	11.1	11.5	10.7
OCH	8.4	8.3	8.2	8.2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10*MDS y OCH: Tratamiento 0, mezcla de suelo y cloruro de sodio*

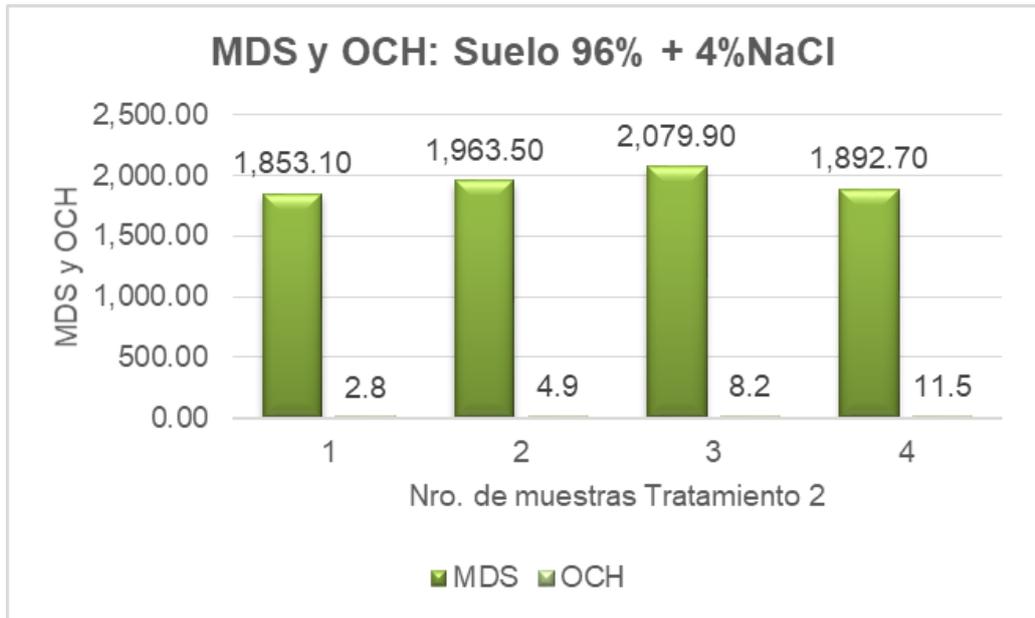
Fuente: Elaboración propia.

Figura 11*MDS y OCH: Tratamiento 1, mezcla de suelo y cloruro de sodio*

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

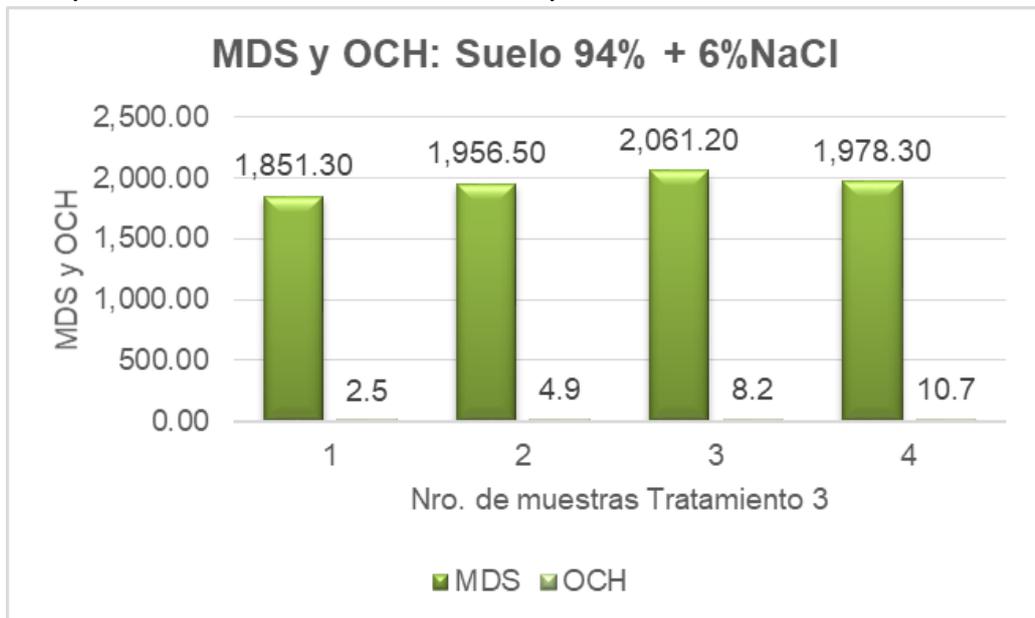
MDS y OCH: Tratamiento 2, mezcla de suelo y cloruro de sodio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

MDS y OCH: Tratamiento 3, mezcla de suelo y cloruro de sodio



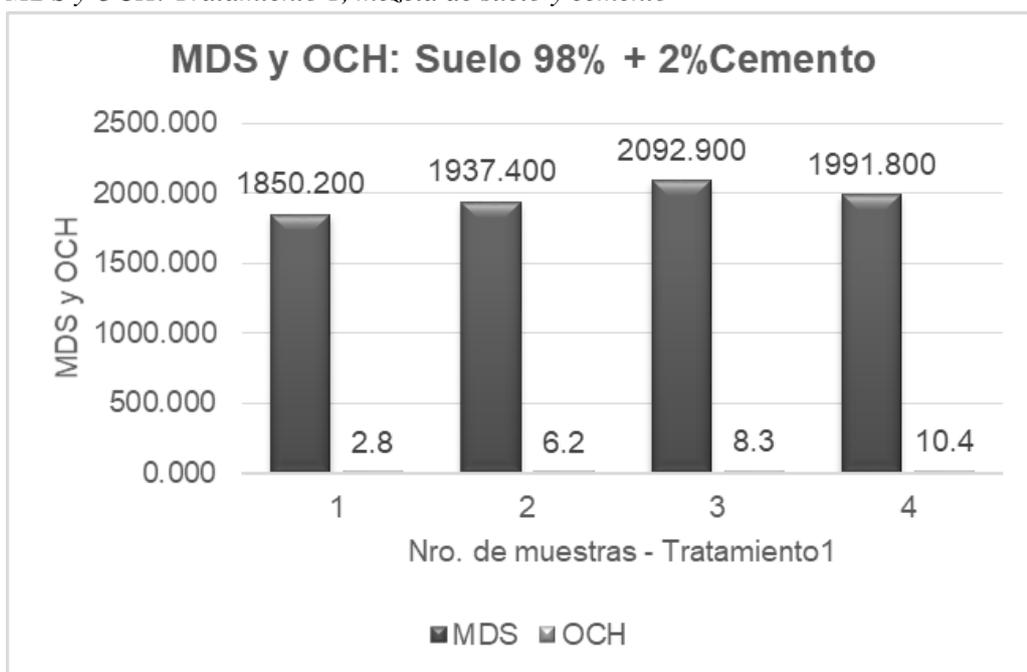
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo

En las siguientes figuras, se muestran los resultados del ensayo de proctor modificado, de los tratamientos 0; 1; 2 y 3 correspondientes a las mezclas de suelo con 2 %; 4 % y 6 % de cemento residual respectivamente.

Figura 14

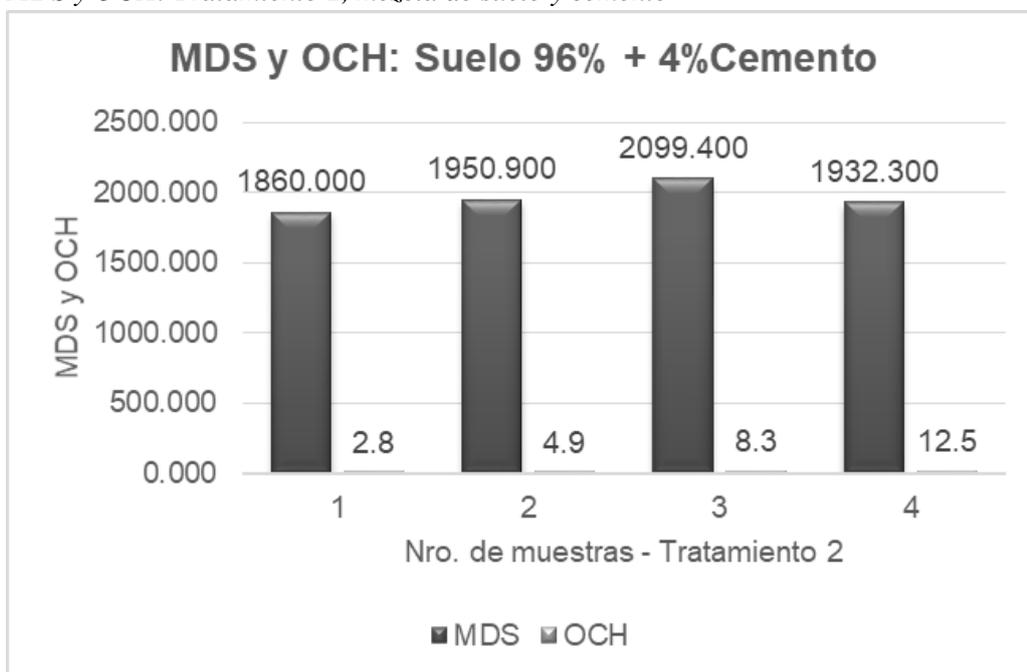
MDS y OCH: Tratamiento 1, mezcla de suelo y cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

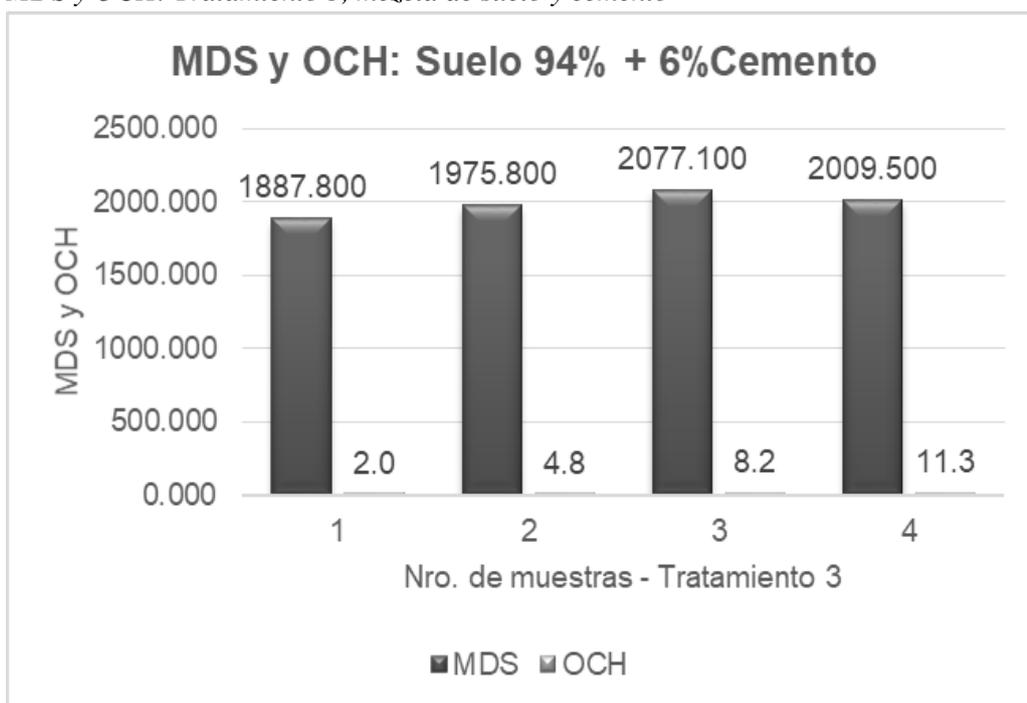
MDS y OCH: Tratamiento 2, mezcla de suelo y cemento



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

MDS y OCH: Tratamiento 3, mezcla de suelo y cemento



Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo

La tabla siguiente, muestra los resultados del ensayo de CBR realizado a la muestra de suelo natural y con 6 % de cemento + 1 % de cloruro de sodio.

Tabla 30

CBR del suelo

Descripción	CBR AL 95 % DE MDS	CBR AL 100 % DE MDS
Suelo 100 %	41	58.3
Suelo 98 % + 2 % cloruro de sodio	35	28.4
Suelo 94 % + 6 % cemento	320	368.1
Suelo + 6 % cemento + 1 % cloruro de sodio	173.00	338.3

Fuente: Elaboración propia.

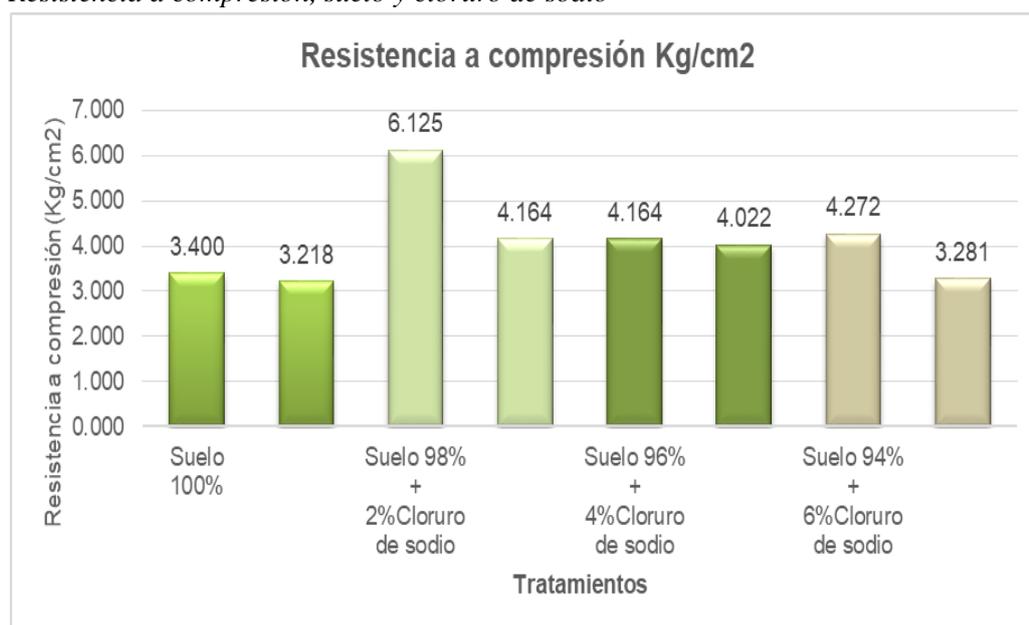
4.1.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia del suelo

Las tablas que se presentan a continuación corresponden a los resultados de compresión no confinada, para la mezcla de suelo con 0 %; 2 %; 4 % y 6 % de cloruro de magnesio hexahidratado.

Tabla 31*Compresión no confinada, suelo y cloruro de sodio*

Tratamientos	Muestras	Resistencia a compresión kg/cm ²	Consistencia	Deformación en la falla (%)	Cohesión no drenada (Cu), kg/cm ²
Suelo 100%	M1	3.400	Muy firme	0.000	1.700
	M2	3.218	Muy firme	0.000	1.609
Suelo 98% + 2%Cloruro de sodio	M1	6.125	Dura	0.000	3.063
	M2	4.164	Dura	0.000	2.082
Suelo 96% + 4%Cloruro de sodio	M1	4.164	Dura	0.000	2.082
	M2	4.022	Dura	0.000	2.011
Suelo 94% + 6%Cloruro de sodio	M1	4.272	Dura	0.000	2.136
	M2	3.281	Muy firme	0.000	1.641

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17*Resistencia a compresión, suelo y cloruro de sodio*

Fuente: Elaboración propia.

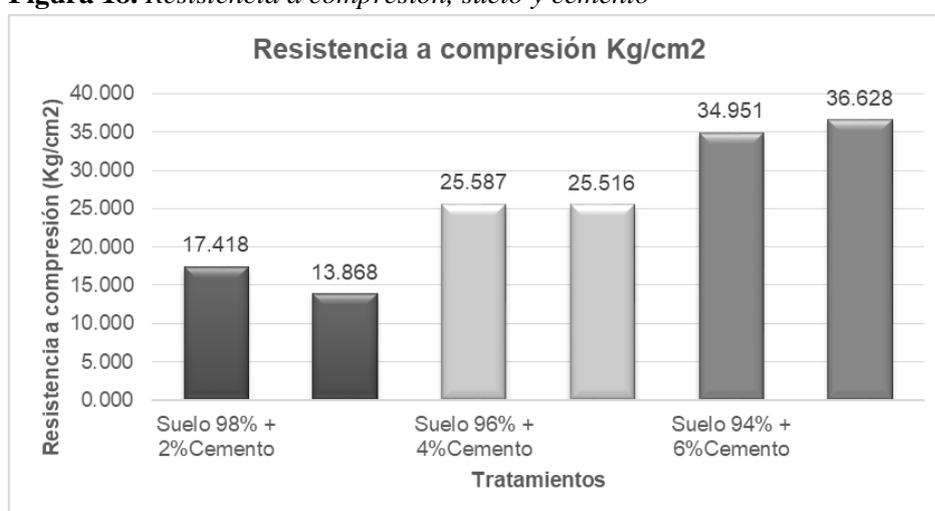
4.1.3.2. Cemento residual en la capacidad de resistencia del suelo

En las siguientes figuras, se presentan los resultados del CBR, de los tratamientos 0; 1; 2 y 3 correspondientes a las mezclas de suelo con 0 %; 5 %; 7.5 % y 15 % de cemento residual.

Tabla 32*Compresión no confinada, suelo y cemento*

Tratamientos	Muestras	Resistencia a compresión kg/cm ²	Consistencia	Deformación en la falla (%)	Cohesión no drenada (Cu), kg/cm ²
Suelo 98 % + 2 % Cemento	M1	17.418	Dura	0.000	8.709
	M2	13.868	Dura	0.000	6.934
Suelo 96 % + 4 % Cemento	M1	25.587	Dura	0.000	12.793
	M2	25.516	Dura	0.000	12.758
Suelo 94 % + 6 % Cemento	M1	34.951	Dura	0.000	17.475
	M2	36.628	Dura	0.000	18.314

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Resistencia a compresión, suelo y cemento

Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los resultados de la resistencia a compresión del suelo con cloruro de sodio y cemento.

Tabla 33*Compresión no confinada, suelo, cloruro de sodio y cemento*

Tratamientos	Muestras	Resistencia a compresión kg/cm ²	Consistencia	Deformación en la falla (%)	Cohesión no drenada (Cu), kg/cm ²
Suelo + 6 % Cemento + 1% cloruro de sodio	M1	42.170	Dura	4.058	21.085
	M2	41.257	Dura	4.061	20.628
Suelo + 6 % Cemento + 2 % cloruro de sodio	M1	31.345	Dura	4.121	15.673
	M2	34.655	Dura	4.123	17.327

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1. Cloruro de sodio y cemento en el índice de plasticidad del suelo

4.2.1.2. Cemento residual en el índice de plasticidad del suelo

La prueba de hipótesis para este ítem consistió en realizar la correlación de Pearson para comprobar la hipótesis planteada.

H0: La adición de cemento influye significativamente en el índice de plasticidad del suelo

H1: La adición de cemento no influye significativamente en el índice de plasticidad del suelo

De la correlación realizada en el programa Ms-Excel, se obtuvo la estadística de relación y la curva de regresión ajustada, como se muestra.

Tabla 34

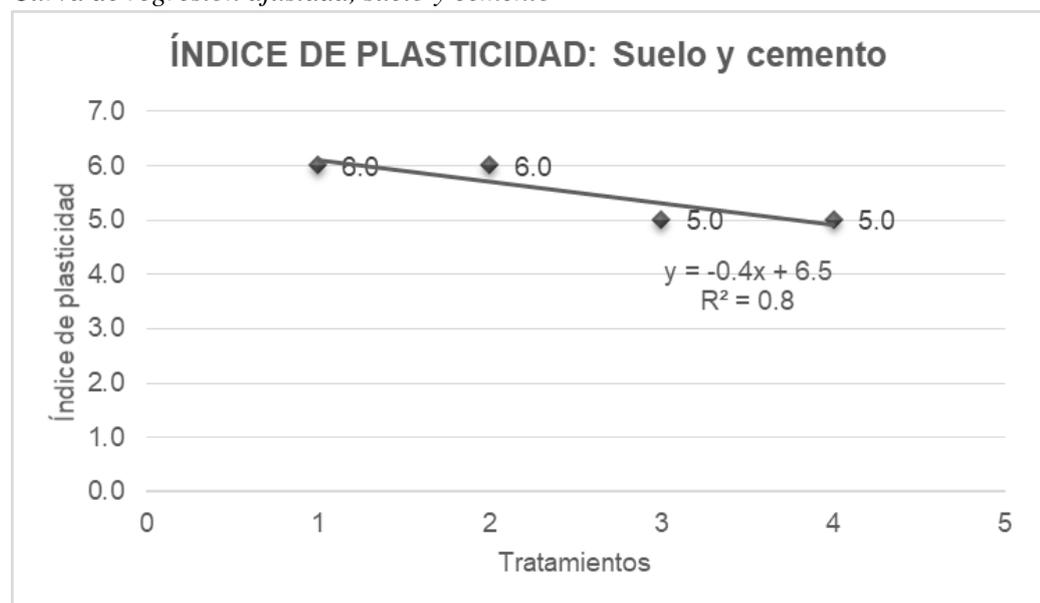
Estadística de regresión, suelo y cemento

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.89
Coefficiente de determinación R ²	0.80
R ² ajustado	0.70
Error típico	0.32
Observaciones	4.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Curva de regresión ajustada, suelo y cemento



Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

De la tabla de estadística de regresión, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple de 0.89 que corresponde a una correlación alta directa entre el índice de plasticidad y la adición de cemento al suelo. Así mismo de la curva de regresión ajustada el coeficiente de determinación fue 0.80 el cual indica que 80% del índice de plasticidad depende de la adición de cemento. Comprobando la hipótesis de que la adición de cemento influye significativamente en el índice de plasticidad del suelo.

4.2.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo

4.2.2.1. Cloruro de magnesio hexahidratado en la máxima densidad seca y humedad del suelo

La prueba de hipótesis en este ítem se realizó con el diseño de bloques completamente al azar ya que se tuvieron mayor cantidad de resultados. En este diseño experimental, se denominó bloques a las muestras las cuales se muestran en la parte vertical izquierda y los tratamientos se muestran en la parte horizontal superior.

Del diseño de bloques completamente al azar se obtuvo el análisis de varianza para comprobar la hipótesis.

- Máxima densidad seca

Las hipótesis para este caso fueron las siguientes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

En la tabla, se muestra el agrupamiento de los resultados obtenidos para el diseño experimental de bloques completamente al azar. Así mismo, se adjunta la tabla con los resultados del análisis de varianza obtenido del diseño experimental aplicado.

Tabla 35

Diseño de bloques completamente al azar, MDS: suelo y cloruro de sodio

BLOQUES	TRATAMIENTOS				Σ Trat
	T0 (Suelo 100 %)	T1 (Suelo 98%+2%cloruro de sodio)	T2 (Suelo 96%+4%cloruro de sodio)	T3 (Suelo 94%+6%cloruro de sodio)	
1	1934.200	1852.200	1853.100	1851.300	7,490.80
2	2038.800	1984.300	1963.500	1956.500	7943.1
3	2075.500	2123.700	2079.900	2061.200	8340.300
4	1934.400	1994.900	1892.700	1978.300	7800.300
Σ Bloque:	7,982.90	7,955.10	7,789.20	7,847.30	31,574.50
MEDIA:	1995.73	1988.78	1947.30	1961.83	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36*Análisis de varianza, MDS: suelo y cloruro de sodio*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	93,235.97	3.00	31,078.66	24.25	3.86
Tratamientos	6,199.95	3.00	2,066.65	1.61	3.86
Error	11,535.60	9.00	1,281.73		
Total	110,971.51	15.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o muestras se obtuvo F_c igual a 24.25 y F_t igual a 3.86, con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=9$ del cual se entiende que existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo que se puede decir que la máxima densidad seca del suelo con cloruro de sodio son diferentes y significativas. En cuanto a los tratamientos el valor de F_c fue 1.61 y el valor de F_t fue 3.86 con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=9$, del cual se entiende que no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Del cual se entiende que los resultados de los tratamientos de cloruro de sodio en la máxima densidad seca son similares. Es así que, se acepta la hipótesis alterna y se menciona que el cloruro de sodio influye significativamente en la máxima densidad seca del suelo para una subrasante.

Debido a la similitud de los resultados de los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre las medias, cuando tienen valores cercanos. Para el cual se empleó el programa SPSS23.

Tabla 37*Prueba de Tukey para bloques, MDS: suelo y cloruro de sodio*

Máxima densidad seca				
HSD Tukey ^{a,b}				
Bloques	N	Subconjunto		
		1	2	3
1,00	4	1872,7000		
4,00	4	1950,0750	1950,0750	
2,00	4		1985,7750	
3,00	4			2085,0750
Sig.		,055	,524	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1281,733.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Tabla 38*Prueba de Tukey para tratamientos, MDS: suelo y cloruro de sodio*

Máxima densidad seca			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	
2,00	4		1947,3000
3,00	4		1961,8250
1,00	4		1988,7750
0,00	4		1995,7250
Sig.			,288

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1281,733.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques o muestras, se obtuvo que la muestra 3 para todas las proporciones de cloruro de sodio evidenció un valor mayor de densidad máxima seca media. Mientras que las medias de las otras muestras como la 4 y la 2 son similares, como también las muestra 1 y 4 son similares, cuyos valores medios de densidad seca máxima son menores a la muestra 3. De los tratamientos, se obtuvo que las medias son similares indicando que los ensayos fueron realizados de forma uniforme y según las normativas.

- Óptimo contenido de humedad

Las hipótesis para este caso fueron las siguientes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

La tabla siguiente, muestra el agrupamiento de los resultados obtenidos para el diseño experimental de bloques completamente al azar. También se muestra la tabla con los resultados del análisis de varianza obtenido del diseño experimental aplicado.

Tabla 39

Diseño de bloques completamente al azar, OCH: suelo y cloruro de sodio

BLOQUES	TRATAMIENTOS				Σ Trat
	T0 (Suelo 100%)	T1 (Suelo 98%+2%cloruro de sodio)	T2 (Suelo 96%+4%cloruro de sodio)	T3 (Suelo 94%+6%cloruro de sodio)	
1	3.100	2.000	2.800	2.500	10.40
2	6.300	5.000	4.920	4.900	21.12
3	8.900	8.300	8.200	8.200	33.6
4	12.100	11.100	11.500	10.700	45.4
Σ Bloque:	30.40	26.40	27.42	26.30	110.52
MEDIA:	7.60	6.60	6.86	6.58	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40

Análisis de varianza, OCH: suelo y cloruro de sodio

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	172.67	3.00	57.56	726.41	3.86
Tratamientos	2.75	3.00	0.92	11.57	3.86
Error	0.71	9.00	0.08		
Total	176.13	15.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o muestras se obtuvo F_c igual a 726.41 y F_t igual a 3.86, con $gl_1=3$ y $gl_2=9$ del cual se entiende que existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo que se puede decir que el óptimo contenido de humedad del suelo con cloruro de sodio es diferentes y significativas. En cuanto a los tratamientos el valor de F_c fue 11.57 y el valor de F_t fue 3.86 con $gl_1=3$ y $gl_2=9$, del cual se entiende que existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Es así que, se acepta la hipótesis alterna y se comprueba que el cloruro de sodio influye significativamente en el óptimo contenido de humedad del suelo para una subrasante.

Por otro lado, se realizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre las medias, cuando tienen valores cercanos.

Tabla 41

Prueba de Tukey para bloques, OCH: suelo y cloruro de sodio

Óptimo contenido de humedad					
HSD Tukey ^{a,b}					
Bloques	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	4	2,6000			
2,00	4		5,2800		
3,00	4			8,4000	
4,00	4				11,3500
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,079.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42*Prueba de Tukey para tratamientos, OCH: suelo y cloruro de sodio*

Óptimo contenido de humedad			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
3,00	4	6,5750	
1,00	4	6,6000	
2,00	4	6,8550	
,00	4		7,6000
Sig.		,526	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,079.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques en los cuales se agruparon las muestras, se obtuvo que la muestra 4 evidencia un mayor contenido óptimo de humedad a diferencia de las muestras. De los tratamientos, el tratamiento 0 presentó un mayor valor de óptimo contenido de humedad mientras que los otros tratamientos presentaron menor contenido de humedad óptimo debido a la adición de cloruro de sodio.

4.2.2.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y humedad del suelo

- Máxima densidad seca

Las hipótesis para este caso fueron las siguientes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

En la tabla, se muestra el agrupamiento de los resultados obtenidos para el diseño experimental de bloques completamente al azar. Así mismo, se adjunta la tabla con los resultados del análisis de varianza obtenido del diseño experimental aplicado.

Tabla 43*Diseño de bloques completamente al azar, MDS: suelo y cemento*

BLOQUES	TRATAMIENTOS				Σ Trat
	T0 (Suelo 100%)	T1 (Suelo 98%+2%cemento)	T2 (Suelo 96%+4%cemento)	T3 (Suelo 94%+6%cemento)	
1	1934.200	1850.200	1860.000	1887.800	7,532.20
2	2038.800	1937.400	1950.900	1975.800	7902.9
3	2075.500	2092.900	2099.400	2077.100	8344.900
4	1934.400	1991.800	1932.300	2009.500	7868.000
Σ Bloque:	7,982.90	7,872.30	7,842.60	7,950.20	31,648.00
MEDIA:	1995.73	1968.08	1960.65	1987.55	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44*Análisis de varianza, MDS: suelo y cemento*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	83,417.31	3.00	27,805.77	20.52	3.86
Tratamientos	3,219.62	3.00	1,073.21	0.79	3.86
Error	12,197.80	9.00	1,355.31		
Total	98,834.74	15.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o muestras se obtuvo Fc igual a 20.52 y Ft igual a 3.86, con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=9$ del cual se entiende que existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo que se puede decir que la máxima densidad seca del suelo con cemento en las muestras es diferente y significativa. En cuanto a los tratamientos el valor de Fc fue 0.79 y el valor de Ft fue 3.86 con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=9$, del cual se entiende que no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Del cual se entiende que los resultados de los tratamientos de cemento en la máxima densidad seca son similares. Es así que, se acepta la hipótesis alterna y se deduce que el cemento influye significativamente en la máxima densidad seca del suelo para una subrasante.

Debido a la similitud de los resultados de los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre las medias, cuando tienen valores cercanos.

Tabla 45*Prueba de Tukey para bloques, MDS: suelo y cemento*

Máxima densidad seca				
HSD Tukey ^{a,b}				
Bloques	N	Subconjunto		
		1	2	3
1,00	4	1883,0500		
4,00	4		1967,0000	
2,00	4		1975,7250	
3,00	4			2086,2250
Sig.		1,000	,986	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1355,311.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Tabla 46*Prueba de Tukey para tratamientos, MDS: suelo y cemento*

Máxima densidad seca			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	
2,00	4		1960,6500
1,00	4		1968,0750
3,00	4		1987,5500
,00	4		1995,7250
Sig.			,559

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 1355,311.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques o muestras, se obtuvo que la muestra 3 para todas las proporciones de cemento evidenció un valor mayor de densidad máxima seca media. Mientras que las medias de las otras muestras como la 4 y la 2 son similares, siendo la muestra 3 la que menores valores de máxima densidad seca evidenció. De los tratamientos, se obtuvo que las medias son similares indicando que los ensayos fueron realizados de forma uniforme y según las normativas.

- Óptimo contenido de humedad

Las hipótesis para este caso fueron las siguientes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

La tabla siguiente, muestra el agrupamiento de los resultados obtenidos para el diseño experimental de bloques completamente al azar. También se muestra la tabla con los resultados del análisis de varianza obtenido del diseño experimental aplicado.

Tabla 47

Diseño de bloques completamente al azar, OCH: suelo y cemento

BLOQUES	TRATAMIENTOS				Σ Trat
	T0 (Suelo 100%)	T1 (Suelo 98%+2%cemento)	T2 (Suelo 96%+4%cemento)	T3 (Suelo 94%+6%cemento)	
1	3.100	2.800	2.800	2.000	10.70
2	6.300	6.230	4.940	4.800	22.27
3	8.900	8.300	8.300	8.200	33.7
4	12.100	10.400	12.500	11.300	46.3
Σ Bloque:	30.40	27.73	28.54	26.30	112.97
MEDIA:	7.60	6.93	7.14	6.58	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Análisis de varianza, OCH: suelo y cemento

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	174.82	3.00	58.27	157.68	3.86
Tratamientos	2.19	3.00	0.73	1.98	3.86
Error	3.33	9.00	0.37		
Total	180.34	15.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o muestras se obtuvo F_c igual a 157.68 y F_t igual a 3.86, con $gl_1=3$ y $gl_2=9$ del cual se entiende que existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Por lo que se puede decir que el óptimo contenido de humedad del suelo con cemento es diferente y significativo. En cuanto a los tratamientos el valor de F_c fue 1.98 y el valor de F_t fue 3.86 con $gl_1=3$ y $gl_2=9$, del cual se entiende que no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Es así que, se acepta la hipótesis alterna y se comprueba que el cemento influye significativamente en el óptimo contenido de humedad del suelo para una subrasante.

Por otro lado, se realizó la prueba de Tukey para determinar la diferencia entre las medias, cuando presentan valores cercanos.

Tabla 49

Prueba de Tukey para bloques, OCH: suelo y cemento

Óptimo contenido de humedad					
HSD Tukey ^{a,b}					
Bloques	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	4	2,6750			
2,00	4		5,5675		
3,00	4			8,4250	
4,00	4				11,5750
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,370.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Tabla 50
Prueba de Tukey para tratamientos, OCH: suelo y cemento

Óptimo contenido de humedad			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	
3,00	4	6,5750	
1,00	4	6,9325	
2,00	4	7,1350	
,00	4	7,6000	
Sig.		,150	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,370.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques en los cuales se agruparon las muestras, se obtuvo que la muestra 4 evidencia un mayor contenido óptimo de humedad a diferencia de las muestras. Respecto a los tratamientos, se obtuvo que las medias son similares indicando que los ensayos fueron realizados de forma uniforme y según las normativas.

4.2.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo

4.2.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia

Las hipótesis para comprobar la influencia del cloruro de sodio en la capacidad de resistencia del suelo fueron las siguientes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Donde H0 se refiere a que los resultados se ven afectados por la adición de cloruro de sodio y H1 se refiere a que los resultados obtenidos de la resistencia del suelo se vieron afectados por la adición de cloruro de sodio.

En la tabla se muestra el agrupamiento de los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión no confinada, correspondiente al diseño experimental; donde los bloques corresponden a los tratamientos aplicados. Como también se muestra la tabla con los resultados del análisis de varianza del diseño aplicado.

Tabla 51*Diseño de bloques completamente al azar, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio*

BLOQUES	Muestras		
	M1	M2	Σ Trat
1	3.400	3.218	6.62
2	6.125	4.164	10.29
3	4.164	4.022	8.19
4	4.272	3.281	7.55
Σ Bloque:	17.96	14.69	32.65
MEDIA:	4.49	3.67	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52*Análisis de varianza, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	3.64	3.00	1.21	3.31	9.28
Muestras	1.34	1.00	1.34	3.66	10.13
Error	1.10	3.00	0.37		
Total	6.08	7.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o tratamientos se obtuvo F_c igual a 3.31 y F_t igual a 9.28, con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=3$ del cual se entiende que no existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). En cuanto a las muestras el valor de F_c fue 3.66 y el valor de F_t fue 10.13 con $g_{l1}=3$ y $g_{l2}=3$, del cual se entiende que no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Es así que, se acepta la hipótesis nula y se comprueba que el cloruro de sodio no influye significativamente en la resistencia del suelo para una subrasante.

Se realizó la prueba de Tukey para comprobar la diferencia de las medias, para los resultados obtenidos de resistencia a compresión del suelo.

Tabla 53*Prueba de Tukey para bloques, resistencia del suelo: suelo y cloruro de sodio*

Resistencia			
HSD Tukey ^{a,b}			
Bloques	N	Subconjunto	
		1	
0,00	2	3,30900	
3,00	2	3,77650	
2,00	2	4,09300	
1,00	2	5,14450	
Sig.		,157	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = ,366.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques o tratamientos, se obtuvo que el tratamiento 1 evidencia una mayor resistencia del suelo con cloruro de sodio, a diferencia de los otros tratamientos y el tratamiento 0 evidenció el menor valor de las medias de los resultados, ya que este corresponde a los ensayos del suelo natural.

4.2.3.2. Cemento residual en la capacidad de resistencia

Para comprobar la influencia del cemento en la capacidad de resistencia del suelo, se plantearon las siguientes hipótesis.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Donde H₀ se refiere a que los resultados se ven afectados por la adición de cemento y H₁ se refiere a que los resultados obtenidos de la resistencia del suelo se vieron afectados por la adición de cemento.

En las tablas se muestra el agrupamiento de los resultados del diseño experimental y el análisis de varianza del diseño aplicado.

Tabla 54*Diseño de bloques completamente al azar, resistencia del suelo: suelo y cemento*

BLOQUES	Muestras		
	M1	M2	Σ Trat
1	3.400	3.218	6.62
2	17.418	13.868	31.286
3	25.587	25.516	51.103
4	34.951	36.628	71.579
Σ Bloque:	81.36	79.23	160.59
MEDIA:	20.34	19.81	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55*Análisis de varianza, resistencia del suelo: suelo y cemento*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	g.l.	Cuadrados medios	F (Fc) calculado	F (Ft) tabulado ($\alpha=0.05$)
Bloques	1,155.36	3.00	385.12	161.33	9.28
Muestras	0.56	1.00	0.56	0.24	10.13
Error	7.16	3.00	2.39		
Total	1,163.08	7.00			

Fuente: Elaboración propia.

Interpretación:

Del análisis de varianza, para los bloques o tratamientos se obtuvo Fc igual a 161.33 y Ft igual a 9.28, con $gl_1=3$ y $gl_2=3$ del cual se entiende que existe diferencia significativa entre las medias de los bloques con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). En cuanto a las muestras el valor de Fc fue 0.24 y el valor de Ft fue 10.13 con $gl_1=3$ y $gl_2=3$, del cual se entiende que no existe diferencia significativa en las medias de los tratamientos con un nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Es así que, se acepta la hipótesis alterna y se comprueba que el cemento influye significativamente en la resistencia del suelo para una subrasante.

Del mismo modo, se realizó la prueba de Tukey para comprobar la igualdad de las medias de los resultados obtenidos.

Tabla 56*Prueba de Tukey para bloques, resistencia del suelo: suelo y cemento*

Resistencia del suelo					
HSD Tukey ^{a,b}					
Bloques	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
0,00	2	3,30900			
1,00	2		15,64300		
2,00	2			25,55150	
3,00	2				35,78950
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 2,387.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2,000.

b. Alfa = 0.05.

Interpretación:

De los bloques o tratamientos, se obtuvo que el tratamiento 4 evidencia una mayor resistencia del suelo con cemento, a diferencia de los otros tratamientos y el tratamiento 0 evidenció el menor valor de las medias de los resultados, ya que este corresponde a los ensayos del suelo natural.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Características físicas del suelo

El tipo de suelo se obtiene por medio del ensayo de análisis granulométrico por tamizado ya que el tamaño máximo de las partículas de la muestra de suelo fue de 3'' (75.0 mm). Del primer ensayo realizado para una muestra de suelo natural o al 100%, en la tabla 16 se adjunta la granulometría donde se puede apreciar que el porcentaje de material retenido más abundante fue desde el tamiz N°10 hasta el fondo de la serie de tamices. Así mismo en la figura 8, se puede observar la curva granulométrica del suelo natural donde el material entre los tamices con abertura de 1.180 mm y 0.075 mm es más abundante. Razón por la cual se adjunta la tabla 17, en la que se muestra el resumen de las partículas obtenidas, en la que se identifica un 14.5% de gravas, 56.4% de arena y 29.2% de finos. La cual se contrasta con la curva granulométrica ya que se obtuvieron partículas del tamaño de arenas. De acuerdo a la clasificación SUCS el suelo es SM – SC, un material compuesto por arena limosa y arcillosa de baja plasticidad y con

coloración mayor y según la clasificación AASHTO el suelo es del tipo A – 2 - 4 correspondiente a un material con gravas y arena limoarcillosa con calificación de suelo excelente a bueno.

Después de haber obtenido el tipo de suelo natural de la zona de estudio, se realizaron los ensayos de análisis granulométrico para las mezclas de suelo con cloruro de sodio en las proporciones del 2 %; 4 % y 6 % que se adjuntan en las tablas 18 al 23. De la mezcla de suelo con 2 % de cloruro de sodio se obtuvo 15.3 % de gravas, 54.2 % de arenas y 30.4 % de material finos. De la mezcla de suelo y 4 % de cloruro de sodio se obtuvo 15.3 % de gravas, 54.2 % de arenas y 30.4 % de finos. De la mezcla de suelo con 6 % de cloruro de sodio se obtuvo 15.3 % de gravas, 54.2 % de arenas y 30.6 % de finos. Estos resultados señalan que el cloruro de sodio presenta un tamaño de partículas similar a los finos, ya que la proporción de finos se incrementó en un 1.2 % a 1.4 % respecto al suelo natural.

Del mismo modo, se realizó el ensayo de análisis granulométrico para la mezcla de suelo con cemento en las proporciones del 2 %; 4 % y 6 % cuyos resultados se adjuntan en las tablas 19; 20 y 21 respectivamente. De la mezcla de suelo con 2 % de cemento se obtuvo 15.6 % de gravas, 54 % de arenas y 30.5 % de finos. De la mezcla de suelo con 4% de cemento se obtuvo el 15.3 % de gravas, 54.1 % y 30.6 % de finos. De la mezcla de suelo con 6 % de cloruro de sodio se obtuvo 15.3 % de gravas, 54.7 % de arenas y 29.9 % de finos. De acuerdo a estos resultados, se entiende que el cemento tiene partículas del tamaño de material fino, con partículas menores a 0.075 mm.

En la investigación de Luna y Yzaguirre (19), el suelo de la red vial vecinal AN – 873 del distrito del Santa, Áncash fue limo arenoso similar al suelo obtenido en el tramo de la carretera Conchumayo – Churubamba del distrito Churubamba, Huánuco. En el cual aplicaron proporciones de 5 % y 7 % de cloruro de sodio que permite la estabilización del suelo limo arenoso. Con lo que se puede corroborar que la aplicación de cloruro de sodio presenta buenos resultados en suelos arenosos y con cierto contenido de material fino como limos. Por otro lado, en la investigación de Ventura y Alarcón (4) donde el tipo de suelo fue OL (limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad) según la clasificación SUCS y A-7-5 (11) según la clasificación AASHTO, donde se aplicó cemento incrementando considerablemente la capacidad de soporte del suelo.

El contenido de humedad natural del suelo al 100 % o sin aditivo, cuyo valor fue 10.50 %. La cual se compara con la humedad óptima de los ensayos de Proctor modificado para llegar a una máxima densidad seca, de tal forma que permita su colocación en campo.

Por otro lado, se debe mencionar que no se realizó el ensayo de humedad natural para las muestras de suelo con cloruro de sodio y cemento.

La tabla 25 muestra los resultados del índice de plasticidad del suelo natural y con el aditivo de cloruro de sodio. Es así que para el suelo natural o al 100 %, el límite líquido fue 22, el límite plástico fue 16, obteniendo de tal forma el índice de plasticidad 6 que corresponde a un suelo con plasticidad baja característico de suelos poco arcillosos. Lo que se puede comprobar con las características de clasificación del suelo del análisis granulométrico ya que el material obtenido es del tipo gravas y arena limoarcillosa. Respecto al tratamiento 1 (suelo con 2 % de cloruro de sodio), tratamiento 2 (suelo con 4 % de cloruro de sodio) y tratamiento 3 (suelo con 6 % de cloruro de sodio). De los cuales se entiende que el cloruro de sodio no afecta la plasticidad del suelo de tipo gravas y arenas limoarcillosas o que los ensayos no se efectuaron adecuadamente. Ya que según los antecedentes de la investigación la adición de cloruro de sodio al suelo logra reducir la índice plasticidad de los suelos con material arcilloso.

En cuanto a la mezcla de suelo con cemento, los resultados del índice de plasticidad del suelo se encuentran en la tabla 26. Donde el índice de plasticidad del suelo es 6 para la mezcla de suelo con 2 % de cemento. Para la mezcla de suelo con 4 % de cemento el índice de plasticidad es 5. Para la mezcla de suelo con 6 % de cemento el índice de plasticidad fue 5. Resultados que se pueden apreciar en la figura 9. De acuerdo con estos resultados, se puede comprobar que la adición de cemento reduce la plasticidad del suelo con gravas y arenas limoarcillosas, obtenido en la investigación.

Así mismo, se realizó la prueba de hipótesis para los resultados de la mezcla de suelo con cemento. En la que se aplicó la correlación de Pearson para comprobar la influencia de la adición de cemento al suelo. De la dicha prueba, se obtuvo el coeficiente de correlación múltiple (R) de 0.89 que corresponde a una relación alta directa entre el índice de plasticidad del suelo y la adición de cemento. Por otro lado, también se obtuvo la curva de regresión ajustada de la cual se obtuvo el coeficiente de determinación (R²) de 0.80 el cual indica que el 80 % del índice de plasticidad del suelo depende de la adición de cemento. De esta forma se pudo comprobar que la adición de cemento influye significativamente en la plasticidad del suelo con gravas y arena limoarcillosa de la investigación.

De acuerdo con la investigación de Fernández (3) la adición de cloruro de sodio en la estabilización de suelos arcillosos para uso en vías terrestres reduce el índice de plasticidad con una mayor concentración de cloruro de sodio, ya que el suelo con arcillas inorgánicas de alta plasticidad con una proporción de 50 % de cloruro de sodio pasa a

ser un suelo con arcillas inorgánicas de baja o mediana plasticidad, además de mejorar las propiedades de resistencia, cohesión, durabilidad e impermeabilidad. Y de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación el cloruro de sodio no tiene efectos sobre el tipo de suelo con arenas limoarcillosas, por lo que se recomienda realizar un estudio a nivel microscópico para poder observar el efecto de los agentes estabilizadores en la plasticidad del suelo en estudio. Por otro lado, en la investigación de Larrea y Rivas (15) la adición de cloruro de sodio logró reducir el índice de plasticidad de 17 % a 7.32 % debido a que cuando la sal se mezcla con el suelo, este libera sílice y alúmina generan una mezcla cementante que mejora las propiedades de compactación.

4.3.2. Cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y humedad del suelo

4.3.3.1. Cloruro de sodio en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo

La densidad seca y humedad óptima del suelo se obtuvo del ensayo Proctor modificado. Los resultados de máxima densidad seca se muestran en la tabla 27 y en la tabla 28 se muestran los resultados del óptimo contenido de humedad correspondiente a la mezcla de suelo con cloruro de sodio en las proporciones del 2 %; 4 % y 6 %.

Del tratamiento 0 o suelo al 100 % se obtuvo la máxima densidad seca de 2 081.00 kg/m³ que si se pasa a unidades de gr/cm³ sería 2.081 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 8.4 %. Del tratamiento 1 o suelo con 2 % de cloruro de sodio la máxima densidad seca fue 2 124 kg/m³ equivalente a 2.124 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 8.3 %, demostrando que la densidad seca del suelo incrementa con el 2 % de cloruro de sodio. Del tratamiento 2 o suelo con 4 % de cloruro de cemento la máxima densidad seca fue 2.079 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 8.2 %, demostrando que la densidad seca disminuye con 4 % de cloruro de sodio, así como la humedad óptima también disminuye un 0.2 %. Del tratamiento 3 o suelo con 6 % de cloruro de sodio la máxima densidad seca fue 2.061 gr/cm³ con una humedad óptima de 8.2 %, demostrando también que la densidad seca del suelo disminuye con 6 % de cloruro de sodio sucediendo lo mismo con el contenido óptimo de humedad que disminuyó un 0.2 % respecto a la humedad óptima del suelo natural. Lo que se puede corroborar con lo que menciona Yepes (24) sobre la mezcla del cloruro de sodio con arcillas, donde la contracción volumétrica se reduce debido a que las partículas no arcillosas se mantienen unidas y a la propiedad coagulante de la sal haciendo que las partículas finas del suelo con sal generen un efecto cementante, demostrando así la disminución de la densidad seca del suelo y la humedad óptima que se puede mantener constante durante un día de sol para reducir la emisión de polvo. A diferencia de la humedad óptima del suelo natural

que no puede mantener la humedad del suelo provocando emisiones de polvo. Siendo la adición de 2 % de cloruro de sodio la óptima para lograr controlar y reducir la emisión de polvo de la subrasante de la vía en estudio. Evitando así el incremento de costos por traslado de material de préstamo para estabilizar el suelo a nivel de subrasante.

Es así que se realizó la prueba de hipótesis para comprobar estadísticamente la influencia del cloruro de sodio en el suelo de tipo gravas y arenas limoarcillosas. Para la prueba de hipótesis se aplicó el diseño experimental de bloques completamente al azar, debido a que se obtuvo mayor cantidad de datos. Así mismo se aplicó la prueba de Tukey para comprobar la diferencia e igualdad de las medias de los resultados obtenidos.

Del análisis de varianza de la máxima densidad seca se obtuvo que los bloques o agrupamiento de muestras son estadísticamente diferentes, mientras que los tratamientos aplicados fueron iguales en los 4 casos (tratamiento 0; 1; 2 y 3) demostrando que los ensayos para los tratamientos se realizaron de forma uniforme. Con la prueba de Tukey se pudo comprobar que la muestra 3 de todos los tratamientos presentó mayores valores de densidad seca. Cabe resaltar que la muestra 3 corresponde al tercer punto del ensayo de proctor modificado para obtener la curva de compactación, que a la vez es el valor más cercano a la máxima densidad seca del suelo obtenida en los 4 tratamientos.

Del análisis de varianza para el óptimo contenido de humedad se obtuvo que los bloques o agrupamiento de muestras y los tratamientos desarrollados son estadísticamente diferentes, demostrando que la adición de cloruro de sodio influye significativamente en el óptimo contenido de humedad del suelo. Con la prueba de Tukey se pudo comprobar que la muestra 4 o cuarto punto de la curva de compactación del ensayo de proctor modificado presentó un mayor valor promedio de óptimo contenido de humedad con 11.35 %, siguiéndole el tercer punto o muestra 3 con un valor promedio de 8.40% de humedad óptima, y así sucesivamente con la muestra 2 y 1. Respecto a la humedad óptima promedio, la prueba de hipótesis muestra que el tratamiento 0 tiene la humedad óptima promedio mayor con 7.60 % mientras que los otros tratamientos evidenciaron menores valores de humedad óptima promedio. Con lo que se puede comprobar que el cloruro de sodio retiene la humedad y por tanto reducen la emisión de polvo en la subrasante del suelo que es donde se pretende aplicar esta investigación.

Según la investigación de Heitzer (11) las mezclas de suelos con sales como cloruro de magnesio hexahidratado o bischofita y cloruro de sodio retardan la evaporación del suelo que se traduce en la disminución del consumo de agua en los caminos no pavimentados y mejora el nivel de servicio con un menor costo de mantención. Por lo que se comprueba lo mencionado sobre la reducción de la emisión de polvo durante un día de sol debido a

la propiedad coagulante de la sal donde las partículas finas del suelo con sal generan un efecto cementante que disminuye la densidad seca del suelo y mantiene constante la humedad óptima. Así mismo en la investigación de Larrea y Rivas (15) la mezcla de suelo con sal genera una mezcla cementante que mejora las propiedades de compactación.

4.3.3.2. Cemento residual en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo

La figura 14 muestra los resultados del ensayo de proctor modificado para la mezcla de suelo con cemento en la proporción de 2 %, donde se observa que para el primer punto o muestra 1 la densidad seca del suelo con cemento es 1 850.20 Kg/m³ equivalente a 1.850 gr/cm³ con un óptimo contenido de humedad de 2.8%. Para la muestra 2 la máxima densidad seca fue 1 937.400 kg/m³ ó 1.937 gr/cm³ con una humedad óptima de 6.2 %. Para la muestra 3 la máxima densidad seca fue 2 092.900 Kg/m³ ó 2.093 gr/cm³ con humedad óptima de 8.3 %. Para la muestra 4 o cuarto punto del ensayo proctor modificado la máxima densidad seca fue 1 991.800 Kg/m³ o 1.992 gr/cm³ con una humedad óptima de 10.4 %. De la cual se observa que la máxima densidad seca incrementa con mayor notoriedad en el tercer punto o muestra 3.

La figura 15 muestra los resultados del tratamiento 2 compuesto por suelo y 4 % de cemento. Donde el punto uno o muestra uno tuvo una máxima densidad seca de 1 860 kg/m³ ó 1.860 gr/cm³ con 2.8 % de humedad óptima. En la muestra 2 la máxima densidad seca se incrementó a 1 950 kg/m³ ó 1.950 gr/cm³ con 4.9 % de humedad óptima. En la muestra 3 la máxima densidad seca se incrementó a 2 099.400 kg/m³ ó 2.099 gr/cm³ con 8.3 % de humedad óptima. En la muestra 4 o punto cuatro la densidad seca máxima se redujo a 1 932 kg/m³ ó 1.932 gr/cm³ en la que la humedad óptima se incrementó a 12.5 %.

En la figura 16 se muestran los resultados del tratamiento 3 correspondiente a la mezcla de suelo con 6 % de cemento. Donde la muestra uno o primer punto tuvo una máxima densidad seca de 1 887.800 Kg/m³ equivalente a 1.888 gr/cm³ con humedad óptima de 2.0 %. La muestra 2 o segundo punto de la curva de compactación la máxima densidad seca incrementó a 1 975.800 kg/m³ ó 1.976 gr/cm³ con 4.8 % de humedad óptima. En la muestra 3 la máxima densidad seca se incrementó a 2 077.100 Kg/m³ ó 2.077 gr/cm³ con 8.2 % de humedad óptima. La muestra cuatro tuvo una máxima densidad seca de 2 009.500 kg/m³ ó 2.010 gr/cm³ con 11.3 % de humedad óptima.

De los resultados descritos, se puede decir que el tratamiento 2 correspondiente a la mezcla de suelo con 4 % de cemento evidenció el valor más alto de densidad seca con

un óptimo contenido de humedad de 8.3 %. Como se puede observar el cemento no retiene la humedad como el cloruro de sodio, sin embargo, el óptimo contenido de humedad del suelo fue 8.3 % al igual que la mezcla del suelo con cloruro de sodio. De acuerdo con Yepes (24) el suelo estabilizado con cemento permite la unión de los granos del suelo sin que las partículas o granos se envuelvan con cemento para que no se conviertan en hormigón. Por otro lado, según el artículo de investigación Toirac (25) el suelo del tipo A – 2 como el que se obtuvo en esta investigación es adecuado para la producción de suelo – cemento debido a la granulometría variada con fracciones de grava y arena como las que se obtuvo del análisis de granulométrico realizado. Además de que la adición de cemento en estos suelos no superó el 6 % en este ensayo, cumpliendo incluso con el rango usual de cemento para un suelo del tipo A – 2 según la clasificación AASHTO que se encuentra en el cuadro 9.4 del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos del MTC.

Así mismo, se realizó la prueba de hipótesis con el diseño experimental de bloques completamente al azar del cual se obtuvo el análisis de varianza para comprobar la hipótesis planteada. Y la prueba de Tukey se realizó para comprobar la igualdad o diferencia de las medias de los resultados.

Del análisis de varianza para la máxima densidad seca se obtuvo que los bloques en lo que se agruparon las muestras, son estadísticamente diferentes a diferencia de los tratamientos desarrollados que según la estadística son iguales en los 4 casos (tratamiento 0; 1; 2 y 3) evidenciando que los ensayos realizados fueron realizados de forma uniforme. Con la prueba de Tukey fue la muestra 3 que presentó la mayor densidad seca promedio. Siendo también la muestra 3 o tercer punto del ensayo de compactación cuyos valores son cercanos a la máxima densidad seca del suelo estabilizado con cemento.

Del análisis de varianza del óptimo contenido de humedad se obtuvo que los bloques o agrupamiento de muestras son estadísticamente diferentes mientras que los tratamientos aplicados son iguales en los 4 casos (tratamiento 0; 1; 2 y 3) evidenciando que los ensayos fueron realizados adecuadamente. Con la prueba de Tukey se obtuvo que el óptimo contenido de humedad promedio mayor fue obtenido por la muestra 4 o cuarto punto de la curva de compactación, siguiéndole el tercer, segundo y primer punto en el orden de descendente, del cual se contrasta con la adición de agua en intervalos del 3% para formar la curva de compactación del suelo con cemento. En cuanto a la prueba de hipótesis para los tratamientos, fue el tratamiento Cero o suelo natural que evidenció un óptimo contenido de humedad promedio mayor respecto a los otros tratamientos, sin embargo, la densidad seca promedio fue menor a la máxima densidad seca del tratamiento 2 con 4 % de cemento.

4.3.3. Cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo

La capacidad de resistencia de soporte del suelo para subrasante se determina con la ayuda del ensayo de CBR. Siendo la tabla 29 en la que se adjuntan los resultados de los ensayos de CBR realizados. En este caso, se realizó el ensayo de CBR para una muestra de suelo natural cuyo CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 41 % y al 100 % de la máxima densidad seca fue 58.3 % evidenciando que el suelo natural presenta una subrasante excelente según el cuadro 4.10 de categorías de subrasante del Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos (10). Para una muestra de suelo con 2 % de cloruro de sodio el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 35 % y el CBR al 100 % de la máxima densidad seca fue 28.4 %, del cual se puede observar que el CBR del suelo con cloruro de sodio disminuyó sin embargo la categoría de subrasante es muy buena. Por otro lado, para una muestra de suelo con 6 % de cemento el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 320 % y el CBR al 100 % de la máxima densidad seca fue 368.1 % incrementando notablemente la capacidad de soporte del suelo y ubicándose en la categoría de subrasante excelente ya que el CBR fue mayor al 30 % estipulado en el Manual de carreteras del MTC. Finalmente, para una muestra de suelo con 7 % de aditivo (6 % de cemento y 1 % de cloruro de sodio) el CBR al 95 % de la máxima densidad seca fue 173 % y cuando el CBR está al 100 % de la máxima densidad seca el valor fue 338.3 %, correspondiendo también a una subrasante excelente según el cuadro de categorías de subrasante del Manual de carreteras del MTC.

De acuerdo a los resultados descritos, se puede decir que la adición de cloruro de sodio en la proporción del 2 % reduce la capacidad de resistencia del suelo, mientras que la adición de 6 % de cemento incrementa considerablemente el valor de soporte o CBR del suelo, a diferencia de la mezcla de cloruro de sodio y cemento donde el valor CBR del suelo disminuyó respecto a la muestra de suelo con cemento, pero el valor de CBR obtenido corresponde a una subrasante excelente. Estas combinaciones se pueden emplear para la estabilización de subrasante en el tramo de estudio y así evitar los costos altos por el traslado de material para reemplazar en la subrasante. Comprobando también que el cemento estabiliza suelos arcillosos según Ventura y Alarcón (4), donde la adición de cemento en las proporciones de 6 %; 7.2 % y 8.4 % incrementan el CBR del suelo con contenido de arcillas como lo que se obtuvo en la investigación.

4.3.3.1. Cloruro de sodio en la capacidad de resistencia del suelo

En la tabla 30 se muestran los resultados de la resistencia a compresión no confinada correspondiente a la mezcla de suelo con cloruro de sodio.

El ensayo de resistencia a compresión no confinada consiste en realizar probetas cilíndricas de 30 mm de diámetro, con suelo que pasa la malla N° 4 en tres capas. Posteriormente se envuelven en plástico para que no pierdan su humedad y se colocan en una cámara húmeda por 4 días, para ser sometidas a compresión axial el cuarto día. La resistencia a compresión se determina con un cronómetro y un medidor de deformación hasta que se produzca la ruptura.

Cabe resaltar que este ensayo se realiza en suelos cohesivos que no expulsan agua debido a la deformación del suelo en condiciones de compresión intactas o remoldeadas. De acuerdo al análisis granulométrico el suelo compuesto por gravas y arenas limoarcillosas, es apto para la prueba de resistencia a compresión no confinada debido a la presencia de arenas limoarcillosas, además de ser el material más abundante que pasa la malla N°4. También se debe mencionar que las probetas cilíndricas fueron remoldeadas.

El suelo natural presentó resistencia a compresión de 3.400 kg/cm² y 3.218 kg/cm² con consistencia muy firme. Las muestras de suelo con 2% de cloruro de sodio (tratamiento 1) presentaron resistencia a compresión de 6.125 kg/cm² y 4.164 kg/cm² con consistencia dura. Para el tratamiento 2 o mezcla de suelo con 4% de cloruro de sodio la resistencia a compresión fue 4.164 y 4.022 kg/cm² con consistencia dura. Y el tratamiento correspondiente a la mezcla de suelo con 4 % de cloruro de sodio la resistencia a compresión fue 4.272 kg/cm² con consistencia dura y 3.281 kg/cm² con consistencia muy firme, demostrando que ante el incremento de proporción de cloruro de sodio la resistencia a compresión del suelo no incrementa directamente. Es así que la adición de cloruro de sodio al 2% presentó valores de resistencia a compresión más altos que los otros tratamientos, tal como se muestra en la figura 17. Del mismo modo, se debe mencionar que la deformación de la falla (%) en todos los casos o tratamientos fueron 0.000 lo que se atribuye a la presencia predominante de arena en el suelo. Otro punto importante a mencionar es la adición de cloruro de sodio el cual retiene la humedad del suelo, por lo que las probetas no expulsaron agua durante la prueba de resistencia a compresión.

De la prueba de hipótesis, en la que se aplicó el diseño de bloques completamente al azar se obtuvo el análisis de varianza donde señala que el cloruro de sodio no influye significativamente en la resistencia del suelo. Esto se debe a que los valores de resistencia del suelo con cloruro de sodio no incrementaron notablemente, pues sus valores

aumentaron 1.12 a 1.80 veces respecto a la resistencia del suelo natural. De la prueba de Tukey se pudo obtener que los bloques o tratamientos son iguales, los cuales señalan que los ensayos fueron realizados adecuadamente; así también se obtuvo que el tratamiento 1 correspondiente a la mezcla de suelo con 2 % de cloruro de sodio presentó la mayor resistencia promedio del suelo con cloruro de sodio. Demostrando y comprobando una vez más que el tratamiento 1 (suelo con 2 % de cloruro de sodio) es la proporción óptima a emplear para la estabilización de suelo del tipo gravas con arenas limoarcillosas.

La investigación cuenta con el respaldo del antecedente de Luna y Yzaguirre (19) en el que, la adición de cloruro de sodio permite estabilizar un suelo limo arenoso. Así mismo el antecedente de Fernández (3) respalda la investigación ya que el cloruro de sodio logra la mejora de las propiedades de resistencia del suelo, así como la cohesión, durabilidad e impermeabilidad, además de reducir la plasticidad de un suelo con plasticidad alta. Por lo que, es posible es emplear el cloruro de sodio en la estabilización de suelos para subrasante en el distrito de Churubamba.

4.3.3.2. Cemento en la capacidad de resistencia del suelo

La tabla 31 se muestra los resultados de la resistencia a compresión no confinada correspondiente a la mezcla de suelo con cemento en las proporciones del 2 %; 4 % y 6 %. En el tratamiento 1 o mezcla de suelo con 2 % de cemento la resistencia a compresión del suelo fue 17.418 y 13.868 Kg/cm² con consistencia dura. Las muestras del tratamiento 2 o mezcla de suelo con 4 % de cemento presentaron resistencias de 25.587 y 25.516 kg/cm² con consistencia dura. En el tratamiento 3 o mezcla de suelo con 6 % de cemento la resistencia a compresión del suelo fue 34.951 y 36.628 kg/cm² con consistencia dura. Del mismo modo, es necesario mencionar que la deformación de la falla (%) en todos los tratamientos fueron 0.000, cuyo valor se atribuye a la presencia predominante de arena en el suelo ensayado.

De acuerdo a los resultados descritos de la tabla 31, se entiende que la adición de 6% de cemento en el suelo brindó los valores más altos de resistencia frente a los otros tratamientos e incluso 10.77 veces mayor a la resistencia del suelo natural. La figura 18 muestra la resistencia a compresión del suelo con cemento, donde también se puede apreciar que el tratamiento 3 con 6 % de cemento muestra los valores más altos de resistencia a compresión del suelo.

De la prueba de hipótesis realizada, se obtuvo el análisis de varianza el cual indica que el cemento influye significativamente en la resistencia a compresión del suelo para subrasante. De la prueba de Tukey se pudo obtener que el tratamiento 3 (suelo con 6 % de cemento) presentó la resistencia a compresión media más alta frente a los otros

tratamientos que le siguen descendientemente el tratamiento 2; 1 y 0. De este modo que demostrado estadísticamente que la proporción óptima y eficiente de cemento es el 6 % ya que la resistencia a compresión obtenida permite obtener un suelo de consistencia dura e incluso el CBR del suelo con 6 % de cemento supera el intervalo de categoría de subrasante para carreteras.

Así mismo, se debe mencionar los resultados de la tabla 32 que corresponde a la resistencia a compresión no confinada de la mezcla suelo, cloruro de sodio y cemento. Donde la mezcla de suelo con 6 % de cemento y 1 % de cloruro de sodio tuvo valores de resistencia a compresión de 42.170 kg/cm² y 41.257 kg/cm² de consistencia dura y con deformación en la falla de 4.058 % y 4.061 % debido a la combinación de los dos aditivos. La mezcla de suelo con 6 % de cemento y 2 % de cloruro de sodio tuvo valores de resistencia a compresión de 31.345 y 34.665 kg/cm² de consistencia dura, con deformación en la falla de 4.121 % y 4.123 % cuyos valores se incrementaron debido a la mayor proporción de cloruro de sodio ya que actúa como un coagulante en el suelo y se formaron pequeños conglomerados de costra de suelo con sal. De estos resultados descritos, se puede decir que la proporción de 6 % de cemento y 1 % de cloruro de sodio es óptima ya que los valores de resistencia fueron los más altos respecto a la muestra de suelo natural e incluso los valores de CBR al 95 % y 100 % de la máxima densidad seca fueron mayores y correspondientes a una subrasante excelente.

En la investigación de García (14) en el que estudió el comportamiento físico – mecánico de una mezcla de suelo – cemento; donde el cemento tiene efectos significativos en la estabilización de suelos ya que mejora la resistencia del suelo para el cual se debe tener en cuenta la proporción óptima de agua y el tiempo de curado mínimo. El antecedente de Ventura y Alarcón (4) demostró que la adición de cemento permite estabilizar suelos ya que se incrementa el valor de CBR de un suelo. En base a estos antecedentes, se puede decir que la adición de cemento para la estabilización de suelos incrementa la resistencia del suelo, por lo que es posible su aplicación para subrasantes de carreteras.

CONCLUSIONES

- Las características físicas del suelo como, el tipo de suelo concluye en que el suelo es del tipo con gravas y arenas limoarcillosas correspondiente a la clasificación SM – SC y A – 2 – 4 (0) según la clasificación SUCS y AASHTO respectivamente. Así mismo, se concluye que el tipo de suelo con cloruro de sodio y cemento en las proporciones de 2 %; 4 % y 6 % también corresponde al tipo de gravas y arenas limoarcillosas. Se concluye que la humedad natural del suelo natural es 10.50 %, y de acuerdo con el ensayo de proctor modificado la humedad óptima es 8.4 % menor a la natural, por lo que es necesario el incremento de energía de compactación para obtener un valor de CBR adecuado en el suelo natural. En cuanto al índice de plasticidad, se concluye que el cloruro de sodio no reduce la plasticidad del suelo ya que se mantiene al igual que el suelo natural a diferencia del cemento que si reduce la plasticidad del suelo en un 1 %. En ambos casos se debe al tipo de suelo con presencia predominante de arenas que generalmente no presentan valores altos de plasticidad y por consecuencia no se reduce notablemente su plasticidad.
- Se concluye que el cloruro de sodio influye significativamente en la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad del suelo con gravas y arenas limoarcillosas, siendo el 2 % de cloruro de sodio el que mejores condiciones de densidad seca y humedad presenta. Así mismo, se concluye que el cemento también influye significativamente en la estabilización del suelo ya que el 4 % de cemento presentó una máxima densidad seca mayor y humedad óptima menor respecto al suelo natural.
- Respecto a la capacidad de resistencia del suelo, se concluye que la adición del 2 % de cloruro de sodio es la proporción óptima para obtener subrasantes muy buenas y excelentes con consistencia dura y adecuada según la resistencia a compresión no confinada del suelo. Del mismo modo se concluye que la adición de 6 % de cemento es la dosificación óptima para obtener subrasantes excelentes de consistencia dura y sin deformaciones de acuerdo con el ensayo de resistencia a compresión no confinada del suelo. Así mismo, se debe mencionar que de la mezcla de suelo con 6 % de cemento y 1 % de cloruro de sodio también se obtienen valores de CBR y resistencia del suelo, altos y aptos para subrasantes
- Finalmente, se concluye que la adición de cloruro de sodio y cemento influyen significativamente en la estabilización de suelos con gravas y arenas limoarcillosas ya que se logra reducir la plasticidad, se logra incrementar la máxima densidad seca y reducir el contenido de humedad del suelo, así como también se logra valores de CBR superiores a la categoría excelente para subrasantes.

RECOMENDACIONES

- Respecto a las características físicas del suelo, para determinar el tipo de suelo se recomienda tomar en cuenta el tamaño máximo de la partícula más grande del material que se somete al ensayo, para evitar el exceso y pérdida de material retenido y pasante durante la ejecución del ensayo. Ya que se puede emplear el material grueso y fino en pequeñas proporciones y obtener los mismos resultados. En cuanto al índice de plasticidad del suelo con cloruro de sodio y cemento, se recomienda colocar las muestras en un microscopio para poder observar el efecto de los aditivos en el suelo ya que este contiene material fino como limo y arcillas que reducen su plasticidad ante la presencia de un agente estabilizante.
- Respecto a la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad, se recomienda realizar la mezcla uniforme del suelo con los agentes estabilizadores para que las partículas finas del cloruro de sodio y cemento se encuentren bien distribuidas en las muestras de suelo que se desarrollen para determinar la y obtener resultados válidos de compactación.
- Respecto a la capacidad de resistencia del suelo, también se recomienda mezclar uniformemente el suelo con los agentes estabilizadores como el cloruro de sodio y cemento para que todas las partículas del suelo tengan contacto con los agentes estabilizadores. Así mismo, se recomienda realizar ensayos de CBR y resistencia a compresión con las dosificaciones de 2 % de cemento con 2 % de cloruro de sodio, 4 % de cemento con 4% de cloruro de sodio y 6 % de cemento con 6 % de cloruro de sodio, para comprobar el incremento de la resistencia del suelo respecto al incremento de proporciones de agentes estabilizantes.
- Finalmente, se recomienda realizar pruebas de resistencia a compresión no confinada con muestras saturadas para poder determinar y calcular el CBR del suelo bajo las mismas condiciones de las muestras. Como también para poder establecer una ecuación que permita relacionar CBR y resistencia a compresión no confinada de un suelo con gravas y arenas limoarcillosas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **DE LA CRUZ, Lizeth Mercedes y SALCEDO, Kaite Karen.** *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palián - Huancayo - Junín.* Huancayo, Perú: Universidad Peruana Los Andes, 2016. Tesis de Grado.
2. **WIRTGEN GROUP.** Estabilización de suelos. *Wirtgen Group.* [En línea] 16 de Febrero de 2021. <https://www.wirtgen-group.com/es-mx/aplicaciones/obras-de-movimiento-de-tierras/estabilizacion/#36177>.
3. **FERNÁNDEZ, Libany.** *Estabilización de suelos arcillosos mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de vías terrestres. Estudio de casos: Suelos de Chachapoyas, 2016.* Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2018. Tesis de Grado.
4. **VENTURA, Cairo Venjamín y ALARCÓN, Adilio Luis.** *Suelos arcillosos mejorados con cemento y aditivo Con-Aid, para la estabilización de subrasante, camino vecinal Ruta PA-701, Pasco, 2018.* Lima, Perú: Universidad César Vallejo, 2018. Tesis de Grado.
5. **BERNAL, César Augusto.** *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales.* 3ra. Bogotá, Colombia: Pearson Educación, 2010.
6. **CASTRO, Eusebio Zenón.** *Teoría y práctica de la investigación científica.* 1ra. Huancayo, Perú : PERUGRAPH SRL, 2016.
7. **REYES, Oscar Javier, CAMACHO, Javier Fernando y TRONCOSO, Juan Ricardo.** *Uso de cloruro de sodio en bases granulares.* 1, Bogotá, Colombia: s.n., 2006, Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 16, págs. 63-71.
8. **CUZCO, Sandy Marlen.** *Mejoramiento de la subrasante incorporando el estabilizador cemento Portland tipo I, en la Asociación los Rosales II, distrito de Carabayllo, 2019.* Lima, Perú: Universidad César Vallejo, 2019. Tesis de Grado.
9. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** Capítulo IX - Estabilización de suelos. *Manual de carreteras - Sección suelos y pavimentos.* Lima, Perú: MTC, 2014.
10. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de carreteras - Sección suelos y pavimentos.* Lima. Perú: MTC, 2014. Capítulo IV.
11. **HEITZER, Christian Andrés.** *Efectos de las mezclas de cloruros en la humedad de caminos no pavimentados.* Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María, 2017. Tesis de Grado.
12. **MORALES, Eduardo y PAILACURA, Carlo.** *Estudio del comportamiento de una carpeta de rodado estabilizada con cloruro de calcio.* Antofagasta, Chile: s.n., 2019, Obras y Proyectos, Vol. 1, págs. 27-36.

13. **BRAUER, Diego Andrés, GIUBERGIA, Andrea Alejandra y GIL-COSTA, Verónica.** *Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros.* San Luis, Argentina: s.n., 2019, Minería y Geología, Vol. 35, págs. 165-177.
14. **GARCÍA, Jonatan Rodrigo.** *Estudio de la técnica suelo - cemento para la estabilización de vías terciarias en Colombia que posean un alto contenido de caolín.* Bogotá, Colombia: Universidad de Colombia, 2019. Tesis de Grado.
15. **LARREA, Bárbara Romina y RIVAS, Juan Carlos.** *Estabilización de suelos arcillosos con cloruro de sodio y cloruro de calcio.* Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2019. Tesis de Grado.
16. **CHAVARRY, Carlos Magno, FIGUEROA, Rosario Almendra y REYNAGA, Rossy Esthefany.** *Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas.* Lima, Perú: s.n., 30 de Junio de 2020, Polo Conocimiento, Vol. 5, págs. 40-69.
17. **COARITA, Maryori Evelyn.** *Estabilización con bischofita y sal en el mantenimiento de la carretera departamental no pavimentada MO-107 Tramo EMP. MO-107 progresiva 21+560 - 52+381 EMP. TA-105-Moquegua, 2018.* Tacna, Perú: Universidad Privada de Tacna, 2019. Tesis de Grado.
18. **CHÁVEZ, Erick May.** *Comparación del cloruro de magnesio (Bischofita) frente al cloruro de sodio como estabilizante químico para mejorar la subrasante en la vía a la cantera Santa Rita, distrito de Pirañas - Talara - Piura, 2018.* Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego, 2019. Tesis de Maestría.
19. **LUNA, Very Lorena y YZAGUIRRE, Breiner Roberto.** *Estabilización de la red vial vecinal AN-873 - 0+000 al 2+400 Km con cloruro de sodio proveniente del agua de mar, Santa, Santa, Áncash - 2019.* Chimbote, Perú: Universidad César Vallejo, 2019. Tesis de Grado.
20. **QUISPE, Raul Jhosias y RODRÍGUEZ, Luis.** *Mejoramiento del suelo arenoso y limoso con cloruro de sodio y cal para subrasante con pruebas de CBR - Cusco 2020.* Lima, Perú: Universidad César Vallejo, 2020. Tesis de Grado.
21. **DÍAZ, Greisi Meliza.** *Mejoramiento del CBR de un suelo arcilloso con cloruro de sodio.* Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte, 2018. Tesis de Grado.
22. **GARNICA, Paul, y otros.** *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres.* México DF: Instituto Mexicano del Transporte, 2002. Publicación Técnica.
23. **ROLDÁN, Jairon.** *Estabilización de suelos con cloruro de sodio (NaCl) para bases y subbases.* Guatemala: Universidad San Carlos de Guatemala, 2010. Tesis de Grado.
24. **YEPES, Victor.** *Estabilización de suelos con cemento. Poli Blogs. Universitat Politècnica de Valencia.* [En línea] 22 de Febrero de 2021. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/02/22/estabilizacion-de-suelos-con-cemento/>.

25. **TOIRAC, José.** *El suelo-cemento como material de construcción*. Santo Domingo. República Dominicana: s.n., 2008, Ciencia y Sociedad, Vol. 33, págs. 520-571.
26. **RAVINES, María Alejandra.** *Pruebas con un producto enzimático como agente estabilizador de suelos para carreteras*. Piura, Perú: Universidad de Piura, 2010. Tesis de Grado.
27. **ATARAMA, Edson.** *Evaluación de la transitabilidad para caminos de bajo tránsito estabilizados con aditivo PROES*. Piura, Perú: Universidad de Piura, 2015. Tesis de Grado.
28. **MAMANI, Wilson Raul.** Permeabilidad. *Slideshare*. [En línea] 31 de Octubre de 2015. [Citado el: 24 de Junio de 2021.] <https://es.slideshare.net/wilsonraulmamanicauna/permeabilidad-54600920>.
29. **AGUILAR, Gonzalo.** *Manual práctico de mecánica de suelos*. Babahoyo, Ecuador: Instituto Técnico Superior Eugenio Espejo, 2012. Manual.
30. **BARRERA, Muricio y GARNICA, Paul.** *Introducción a la mecánica de suelos no saturados en vías terrestre*. México DF: Instituto Mexicano de Transportes. IECA, 2002. Publicación Técnica.
31. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual para la conservación de carreteras no pavimentadas de Bajo volumen de Transito - Volumen I*. Lima, Perú: MTC, 2008.
32. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Carreteras: Especificaciones técnicas generales para la construcción*. Lima, Perú: MTC, 2013.
33. **Ministerio de Transporte y Comunicaciones.** *Sección N° 1 Suelos*. Lima, Perú: MTC, 2016.
34. **SÁNCHEZ, Hugo y REYES, Carlos.** *Metodología y diseños de la investigación cinética*. 5ta. Lima, Perú: Business Support Aneth S.R.L., 2017.
35. **HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, María del Pilar.** *Metodología de la investigación*. 6ta. México DF: McGraw Hill Interamericana Editores S.A. de C.V., 2014.
36. **RAMÍREZ, Ramon.** *Proyecto de investigación. Cómo se hace una tesis*. 2da. Lima, Perú: Fondo Editorial AMADP, 2016.
37. **RUÍZ, Carlos.** *Instrumentos de Investigación Educativa*. 3ra. Houston, Texas: Danaga Training and Consulting, 2013.
38. **MARTÍNEZ, Miguel.** *Validez y confiabilidad en la metodología cualitativa*. Maracay Edo Aragua: s.n., 2006, Paradigma, Vol. 27, págs. 1-20.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>Problema general ¿De qué forma influye la adición de cloruro de sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?</p>	<p>Objetivo general Determinar la influencia de la adición de cloruro sodio y cemento en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.</p>	<p>Hipótesis general La adición de cloruro de sodio y cemento influyen significativamente en la estabilización de suelos de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021.</p>	<p>Variable independiente 1: Cloruro de sodio Dimensión: - Adición de cloruro de sodio</p> <p>Variable independiente 2: Cemento Dimensión: - Adición de cemento</p>	<p>Método de investigación Científico</p> <p>Tipo de investigación Aplicada</p> <p>Nivel de investigación Explicativo</p> <p>Diseño de investigación Experimental GE: $O_1 \times O_2$ GC: O_3</p>	<p>Población La población está compuesta por el suelo de la carretera departamental HU – 108, Huánuco.</p> <p>Muestra La muestra es no probabilística y por conveniencia, la cual está delimitada por 500m del tramo: Aeropuerto – Conchumayo – Churubamba, departamento de Huánuco.</p>
<p>Problemas específicos a) ¿Cuáles son las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021? b) ¿De qué forma influye la adición de cloruro</p>	<p>Objetos específicos a) Determinar las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021. b) Determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la densidad seca y</p>	<p>Hipótesis específicas a) Las características físicas del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021, son granulometría, humedad e índice de plasticidad. b) La adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la</p>	<p>Variable dependiente: Estabilización de suelo</p> <p>Dimensiones: - Características físicas del suelo - Densidad seca y húmeda - Capacidad de resistencia del suelo</p>	<p>Técnicas de recolección No documental (Fichas de observación experimental)</p> <p>Técnicas de procesamiento Análisis de varianza Los análisis serán realizados con el software MS-Excel 2013.</p>	

<p>de sodio y cemento en la densidad seca y húmeda del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021?</p> <p>c) ¿De qué forma influye la adición de cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021?</p>	<p>húmeda del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.</p> <p>c) Determinar la influencia de la adición de cloruro de sodio y cemento en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021.</p>	<p>densidad seca y húmeda del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco - 2021.</p> <p>c) La adición de cloruro de sodio y cemento influye significativamente en la capacidad de resistencia del suelo de la carretera departamental HU-108 tramo: Aeropuerto-Conchumayo-Churubamba, Huánuco – 2021.</p>			
--	---	--	--	--	--

Anexo 2: Panel fotográfico

1. Ensayo de compresión no confinada de suelo natural

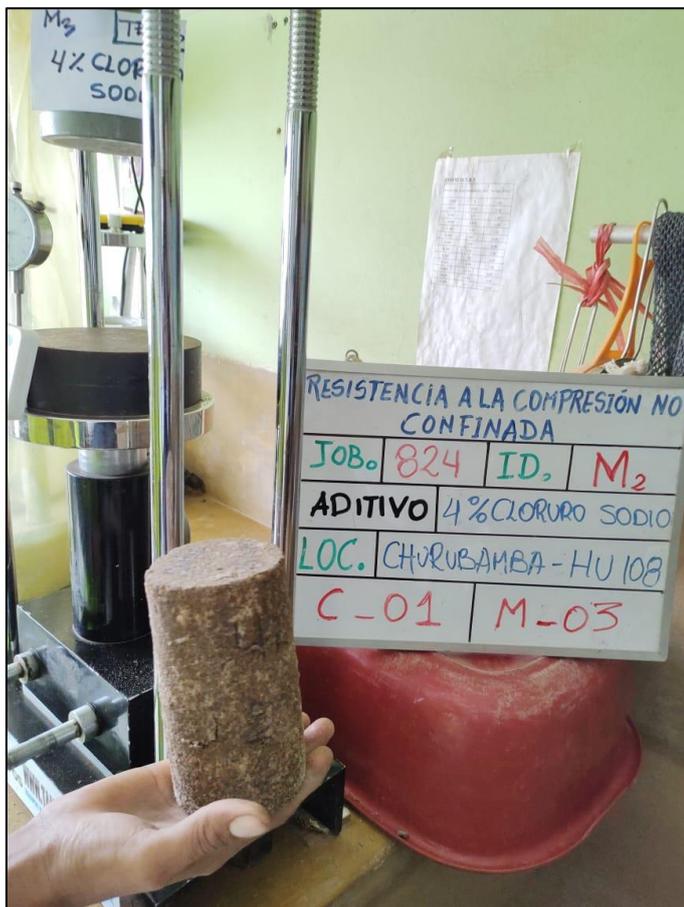


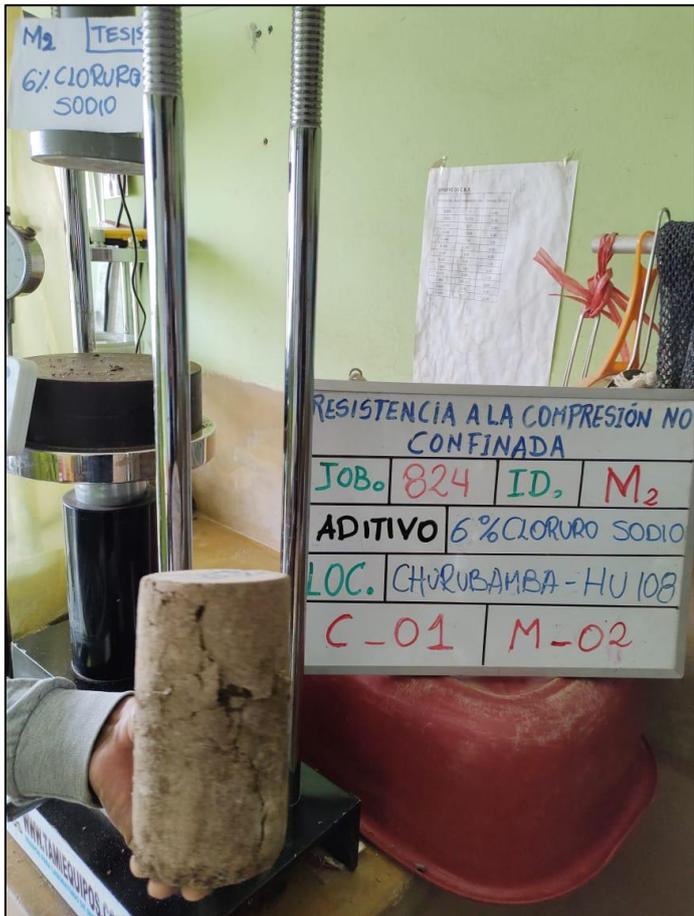


2. Ensayo de compresión no confinada de suelo y cloruro de sodio









3. Ensayo de compresión no confinada de suelo y cemento

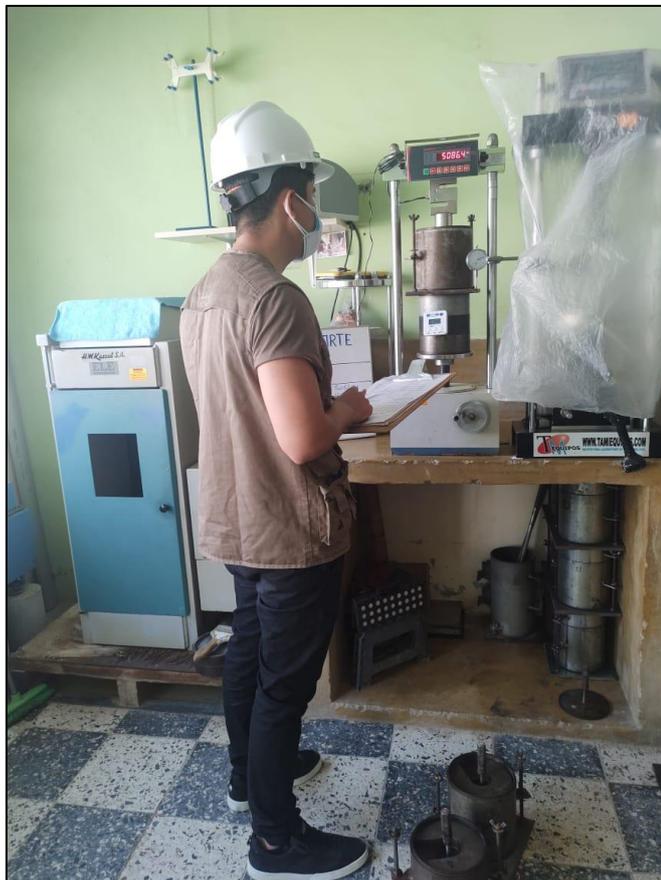








4. Ensayo de CBR



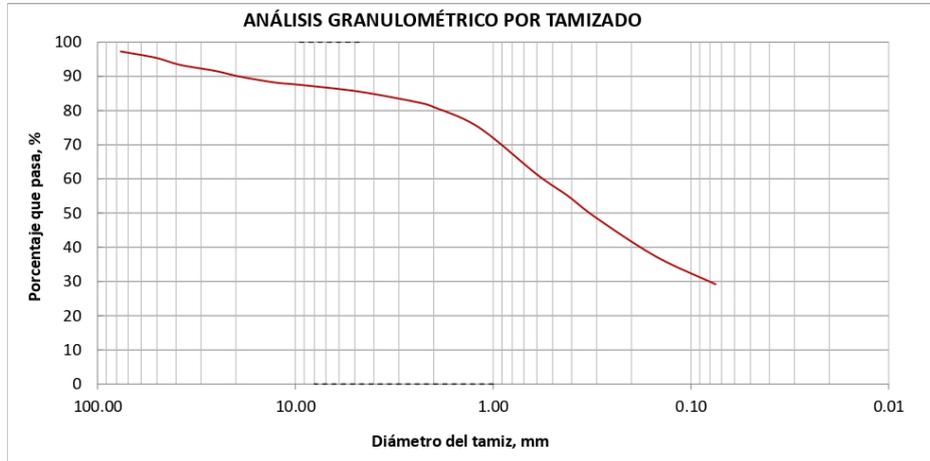


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS) Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE (AASHTO) (NTP 339.134 y NTP 339.135)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-001
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6224	Peso inicial de la muestra, g	: 34,387
Fuente	: M - 01	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m		Gradación	: ---
Fecha	: 28-Jun-21	Normativa	: ---



Descripción del Material	
Clasificación	Grava limosa y arcillosa.
Descripción	Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (14.5%), arena (56.4%) y finos limosos y arcillosos (29.2%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.

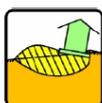
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI S.A.C.
Doris E. Alvarado
Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por	: N. Linares	Revisado por	: D. Alvarado
Fecha	: 28-Jun-21	Fecha	: 29-Jun-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (NTP 339.129)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-002
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA		
Id. Ensayo	: 6224	Clasificación SUCS : S M - S C
Fuente	: M - 01	Clasificación AASHTO : A - 2 - 4 (0)
Profundidad, m :		Gradación : ---
Fecha	: 28-Jun-21	Normativa : ---

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Número de golpes	22			
Tara Nº	26	28	29	30
Peso (suelo húmedo + tara), g	53.42	19.92	19.55	20.18
Peso (suelo seco + tara), g	46.44	19.17	18.87	19.37
Peso de la tara, g	14.81	14.56	14.54	14.29
Peso del agua contenida, g	6.98	0.75	0.68	0.81
Peso suelo seco, g	31.63	4.61	4.33	5.08
Contenido de agua, %	22.07	16.27	15.70	15.94

$$LL = W_n \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

w_n : Contenido de humedad del suelo para n golpes

N : Número de golpes.

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
Límite líquido (LL), %	22
Límite plástico (LP), %	16
Índice plástico (IP), %	6

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP Nº: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : N. Linares
Fecha : 28-Jun-21

Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 29-Jun-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/01/2022 11:58:53-0500



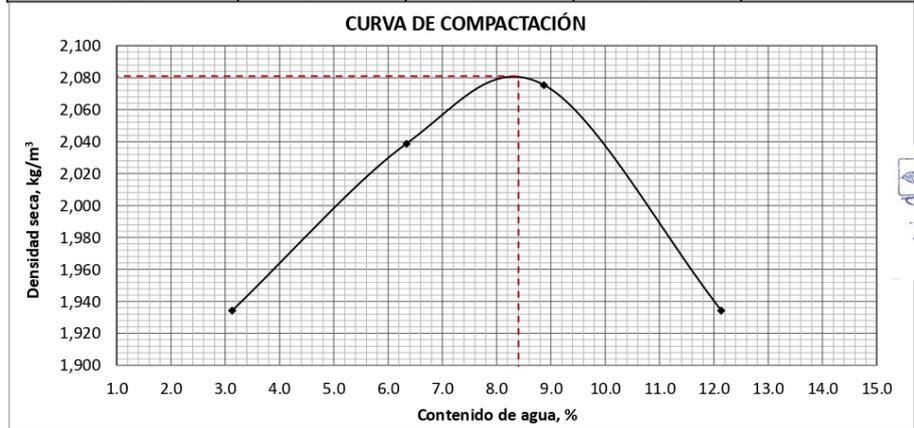
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kN-m/m³) (NTP 339.141)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-003
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamaba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA		
Id. Ensayo	: 6224	Procedimiento : A
Fuente	: M - 01	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Profundidad, m :		Gradación : ---
Fecha	: 29-Jun-21	Tipo de material : Suelo

PRÓCTOR MODIFICADO				
Ensayo Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	6,190	6,353	6,439	6,354
Peso del molde, g	4,315	4,315	4,315	4,315
Peso suelo húmedo, g	1,875	2,038	2,124	2,039
Volumen del molde, cm ³	940	940	940	940
Densidad húmeda, kg/m ³	1,995	2,168	2,260	2,169
Tara Nº	31	27	32	34
Peso suelo húmedo + tara, g	534	474	548	531
Peso suelo seco + tara, g	521	452	512	485
Peso de la tara, g	105	105	106	106
Peso del agua contenida, g	13.0	22.0	36.0	46.0
Peso del suelo seco, g	416	347	406	379
Contenido de agua, %	3.1	6.3	8.9	12.1
Densidad seca, kg/m ³	1,934.2	2,038.8	2,075.5	1,934.4



Máxima densidad seca (MDS), kg/m ³ :	2,081	Contenido óptimo de agua, %:	8.4
---	--------------	------------------------------	------------

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

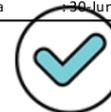
Ensayado por : R. Claudio
 Fecha : 29-Jun-21

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha : 30-Jun-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 990 29 8005
 Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarillis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
 ALVARADO Y LINARES DORIS
 ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 14/01/2022 11:58:53-0500

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP Nº: 29878
 Jefe de Laboratorio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6224	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Fuente	: M - 01	Método de compactación	: C
Profundidad, m	:	Tipo de material	: Suelo
Fecha	: 30-Jun-21	Densidad seca máxima, g/cm ³	: 2.081
Gradación	: ---	Contenido óptimo de agua, %	: 8.4

COMPACTACIÓN						
Ensayo	1		2		3	
Molde N°	12		10		11	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa	12		26		56	
Condición de la muestra	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado
Peso del molde + suelo húmedo, g	12,402	12,672	13,054	13,167	13,042	13,090
Peso del molde, g	8,279	8,279	8,468	8,468	8,245	8,245
Peso del suelo húmedo, g	4,123	4,393	4,586	4,699	4,797	4,845
Volumen del molde, cm ³	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107
Densidad húmeda, g/cm ³	1.96	2.09	2.18	2.23	2.28	2.30
Tara N°	30	26	31	26	35	34
Peso suelo húmedo + tara, g	486	551	573	618	598	619
Peso suelo seco + tara, g	458	498	537	569	558	574
Peso de tara, g	105	112	105	112	105	106
Peso de agua, g	28	53	36	49	40	45
Peso de suelo seco, g	353	386	432	457	453	468
Contenido de humedad, %	7.9	13.7	8.3	10.7	8.8	9.6
Densidad seca, g/cm ³	1.813	1.833	2.009	2.014	2.092	2.098
Grado de compactación, %	87.1	88.1	96.6	96.8	100.5	100.8

EXPANSIÓN												
Fecha	Hora	Tiempo, horas	Dial, pulg.	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión		
				mm	%		mm	%		mm	%	
30/06/2021	12:00	44832	0.16	---	---	0.49	---	---	0.00	---	---	
1/07/2021	12:00	24	0.20	1.07	0.84	0.49	0.08	0.06	0.00	0.10	0.08	
2/07/2021	12:00	48	0.20	0.03	0.02	0.50	0.13	0.10	0.01	0.05	0.04	
3/07/2021	12:00	72	0.20	0.03	0.02	0.50	0.13	0.10	0.01	0.05	0.04	
4/07/2021	12:00	96	0.25	1.27	1.00	0.52	0.41	0.32	0.01	0.00	0.00	

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Ensayado por : W. Bardales
 Fecha : 30-Jun-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha digitalmente por:



ALVARADO Y LINARES DORIS ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 14/01/2022 11:58:52-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO

Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

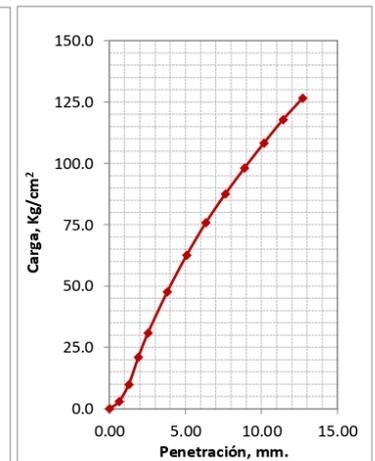
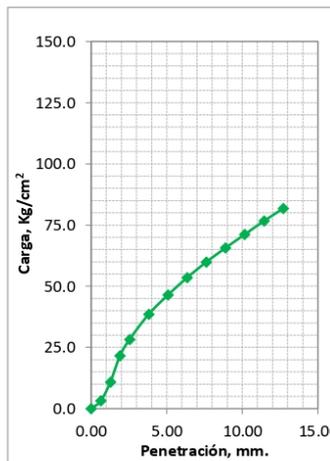
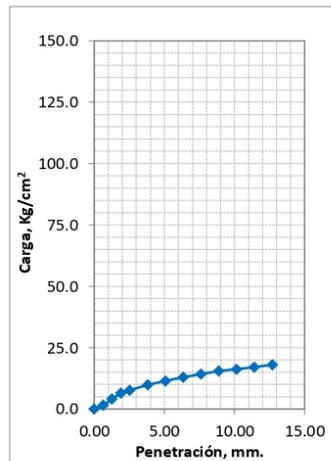
Id. proyecto : H - 824
 Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
 Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
 Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA

Id. Ensayo : 6224 Método cuarteo (NTP 339.089) : B
 Fuente : M - 01 Método de compactación : C
 Profundidad, m : Tipo de material : Suelo
 Fecha : 30-Jun-21 Densidad seca máxima, g/cm³ : 2.081
 Gradación : --- Contenido óptimo de agua, % : 8.4

PENETRACIÓN

Penetración		Carga Estándar, Kg/cm ²	Molde N° : 12				Molde N° : 10				Molde N° : 11					
			Carga Kg	Corrección Kg/cm ²	Corrección Kg/cm ²	%	Carga Kg	Corrección Kg/cm ²	Corrección Kg/cm ²	%	Carga Kg	Corrección Kg/cm ²	Corrección Kg/cm ²	%		
pulg.	mm															
0.000	0.000	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---		
0.025	0.635	---	30.4	1.6	---	---	61.6	3.2	---	---	58.7	3.0	---	---		
0.050	1.270	---	78.9	4.1	---	---	209.8	10.8	---	---	192.6	10.0	---	---		
0.075	1.905	---	124.0	6.4	---	---	417.7	21.6	---	---	405.9	21.0	---	---		
0.100	2.540	70.36	148.4	7.7	7.7	10.9	547.1	28.3	33.0	46.9	599.1	31.0	41.0	58.3		
0.150	3.810	---	189.4	9.8	---	---	747.0	38.6	---	---	923.0	47.7	---	---		
0.200	5.080	105.03	221.8	11.5	11.5	10.9	898.7	46.4	50.0	47.6	1210.8	62.6	69.0	65.7		
0.250	6.350	---	250.0	12.9	---	---	1036.0	53.5	---	---	1468.5	75.9	---	---		
0.300	7.620	---	275.1	14.2	---	---	1159.4	59.9	---	---	1693.1	87.48	---	---		
0.350	8.890	---	298.6	15.43	---	---	1271.1	65.67	---	---	1898.8	98.10	---	---		
0.400	10.160	---	314.4	16.24	---	---	1377.4	71.17	---	---	2095.0	108.24	---	---		
0.450	11.430	---	330.5	17.08	---	---	1483.7	76.66	---	---	2281.7	117.89	---	---		
0.500	12.700	---	348.9	18.03	---	---	1581.9	81.73	---	---	2448.6	126.51	---	---		



Ensayado por : W. Bardales
 Fecha : 30-Jun-21

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha : 05-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Fig. 2 de 3


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
 GEOCON SI SAC
 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio



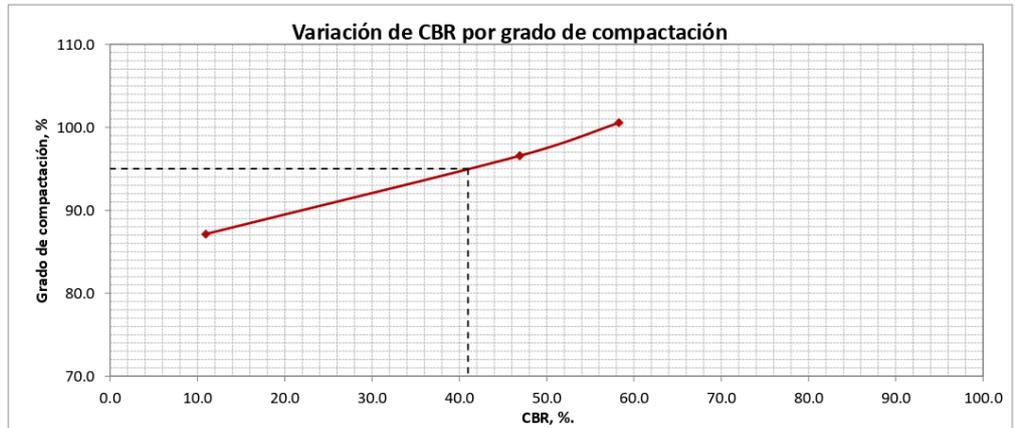
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6224	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M - 01	Método de compactación : C
Profundidad, m :	Tipo de material : Suelo
Fecha : 30-Jun-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.081
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.4



CBR 0.1" (100% MDS)	58.3
CBR 0.1" (95% MDS)	41.0
CBR 0.2" (100% MDS)	65.7

1. Descripción del ensayo

Método de reducción de muestras (NTP 339.126)	Método B
Método de compactación	Método C
Tipo de pisón	Manual

2. Información de clasificación de suelos

Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)	S M - S C
Clasificación con fines de carretera (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)
Descripción:	Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (14.5%), arena (56.4%) y finos limosos y arcillosos (29.2%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI S.A.C.
 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : W. Bardales	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 30-Jun-21	Fecha : 05-Jul-21
Teléfono: (062) 51 5181	Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
Celular : 947 81 7575	E-mail: info@geoconsi.com
Celular : 990 29 8005	Pg. 3 de 3

2. Suelo con 2% de cloruro de sodio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C. - LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES - - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS) Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE (AASHTO) (NTP 339.134 y NTP 339.135)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-001
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6258	Peso inicial de la muestra, g	: 14,366
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 31-Jul-21	Normativa	: ---

GRANULOMETRÍA							
Tamices		Peso retenido, g	Peso retenido acumulado, g	Porcentaje retenido, %	Porcentaje que pasa, %	Especificaciones	
pulg.	mm.					Mínimo	Máximo
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	---	---
2"	50.8	561.8	561.8	3.9	96.1	---	---
1 1/2"	38.1	442.5	1,004.3	7.0	93.0	---	---
1"	25.400	612.5	1,616.8	11.3	88.7	---	---
3/4"	19.050	126.2	1,743.0	12.1	87.9	---	---
1/2"	12.700	163.0	1,906.0	13.3	86.7	---	---
3/8"	9.520	96.2	2,002.2	13.9	86.1	---	---
N° 4	4.750	197.3	2,199.5	15.3	84.7	---	---
N° 8	2.360	412.2	2,611.7	18.2	81.8	---	---
N° 10	2.000	173.8	2,785.5	19.4	80.6	---	---
N° 16	1.180	807.8	3,593.3	25.0	75.0	---	---
N° 30	0.600	1,819.9	5,413.2	37.7	62.3	---	---
N° 40	0.420	821.7	6,234.9	43.4	56.6	---	---
N° 50	0.300	910.1	7,145.0	49.7	50.3	---	---
N° 100	0.150	936.9	8,081.9	56.3	43.7	---	---
N° 200	0.075	1,909.4	9,991.3	69.6	30.4	---	---
Fondo		4,374.2	14,365.5				

Contenido, %	
Grava (3 1/2" - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N° 200)	54.2
Finos (menor a N° 200)	30.4

Propiedades del Material	
Tamaño máximo de los fragmentos, mm	50.8
Forma predominante de la fracción gruesa	Sub - angulosa
Coefficiente de uniformidad (Cu), %	---
Coefficiente de curvatura (Cc), %	---
Límite Líquido (LL), %	22
Límite Plástico (LP), %	17
Índice de Plasticidad (IP), %	5
Contenido de Humedad, %	---
Clasificación (SUCS)	S M - S C
Clasificación (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)

Ensayado por	: N. Linares	Revisado por	: D. Alvarado
Fecha	: 31-Jul-21	Fecha	: 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalías N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 2



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14/01/2022 11:58:51-0500

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC
Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 28878
Jefe de Laboratorio

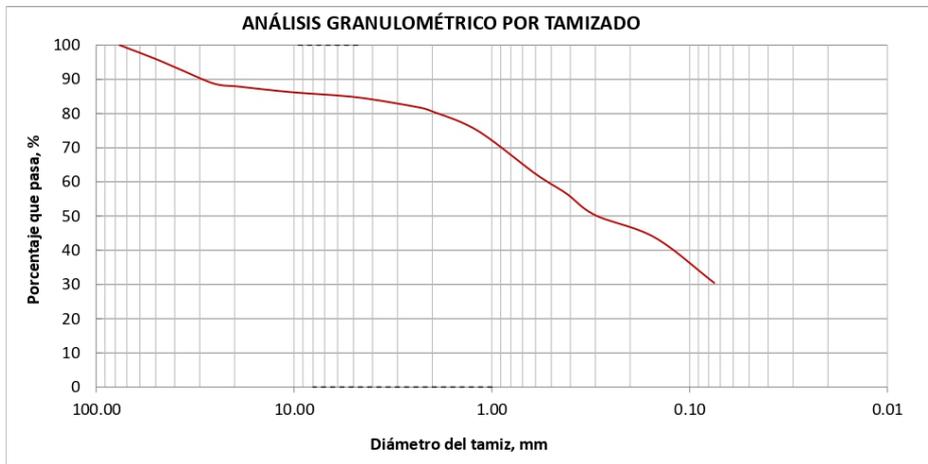


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS) Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE (AASHTO) (NTP 339.134 y NTP 339.135)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-001
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6258	Peso inicial de la muestra, g	: 14,366
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 31-Jul-21	Normativa	: ---



Descripción del Material	
Clasificación	Grava limosa y arcillosa.
Descripción	Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (15.3%), arena (54.2%) y finos limosos y arcillosos (30.4%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por	: N. Linares	Revisado por	: D. Alvarado
Fecha	: 31-Jul-21	Fecha	: 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 2 de 2



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (NTP 339.129)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-002
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo	: 6258
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio
Profundidad, m	: ---
Fecha	: 04-Ago-21
Normativa	: ---
Clasificación SUCS	: S M - S C
Clasificación AASHTO	: A - 2 - 4 (0)
Gradación	: ---

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Número de golpes	23			
Tara Nº	11	13	14	15
Peso (suelo húmedo + tara), g	64.71	20.26	19.87	20.38
Peso (suelo seco + tara), g	55.75	19.44	19.13	19.62
Peso de la tara, g	15.04	14.63	14.55	15.00
Peso del agua contenida, g	8.96	0.82	0.74	0.76
Peso suelo seco, g	40.71	4.81	4.58	4.62
Contenido de agua, %	22.01	17.05	16.16	16.45

$$LL = W_n \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

- w_n : Contenido de humedad del suelo para n golpes
- N : Número de golpes.

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
Límite líquido (LL), %	22
Límite plástico (LP), %	17
Índice plástico (IP), %	5


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP Nº: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : N. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 04-Ago-21	Fecha : 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular: 990 29 8005
 Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 14/01/2022 11:58:58-0500



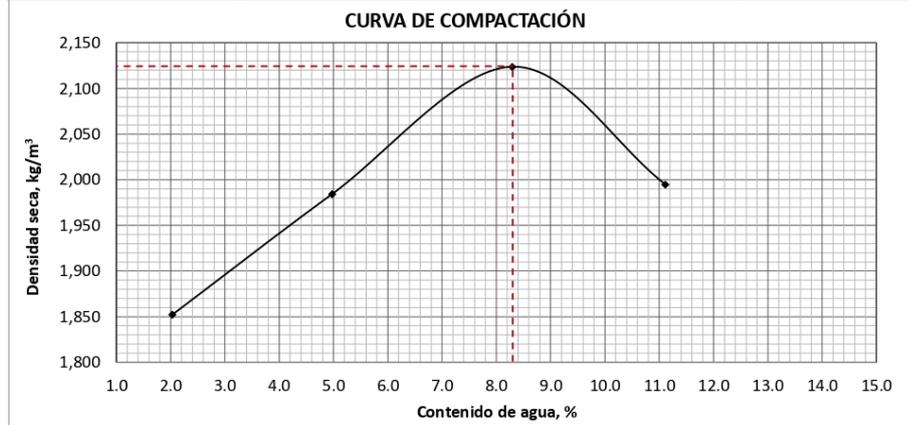
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kN-m/m³) (NTP 339.141)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-003
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamaba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6258	Procedimiento	: A
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 02-Ago-21	Tipo de material	: Suelo

PRÓCTOR MODIFICADO				
Ensayo Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	6,085	6,266	6,469	6,391
Peso del molde, g	4,315	4,315	4,315	4,315
Peso suelo húmedo, g	1,770	1,951	2,154	2,076
Volumen del molde, cm ³	937	937	937	937
Densidad húmeda, kg/m ³	1,890	2,083	2,300	2,217
Tara Nº	22	22	23	24
Peso suelo húmedo + tara, g	515	535	525	540
Peso suelo seco + tara, g	507	515	493	497
Peso de la tara, g	113	113	107	110
Peso del agua contenida, g	8.0	20.0	32.0	43.0
Peso del suelo seco, g	394	402	386	387
Contenido de agua, %	2.0	5.0	8.3	11.1
Densidad seca, kg/m ³	1,852.2	1,984.3	2,123.7	1,994.9



Máxima densidad seca (MDS), kg/m ³ :	2,124	Contenido óptimo de agua, %:	8.3
---	--------------	------------------------------	------------

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

Ensayado por : N. Linares

Revisado por : D. Alvarado

Fecha : 02-Ago-21

Fecha : 03-Jul-21

Firmado digitalmente por:

ALVARADO Y LINARES DORIS

ELISABETH

Motivo: Soy el autor del

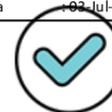
documento

Fecha: 14/01/2022 11:58:58-0500

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 990 29 8005
 Celular : 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarillis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 1



Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6258	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método de compactación	: C
Profundidad, m	: ---	Tipo de material	: Suelo
Fecha	: 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³	: 2.124
Gradación	: ---	Contenido óptimo de agua, %	: 8.3

COMPACTACIÓN						
Ensayo	1		2		3	
Molde N°	4		5		10	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa	12		26		56	
Condición de la muestra	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado
Peso del molde + suelo húmedo, g	12,885	13,006	13,069	13,106	13,796	13,820
Peso del molde, g	8,419	8,419	8,375	8,375	8,465	8,465
Peso del suelo húmedo, g	4,466	4,587	4,694	4,731	5,331	5,355
Volumen del molde, cm ³	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107
Densidad húmeda, g/cm ³	2.12	2.18	2.23	2.25	2.53	2.54
Tara N°	21	19	20	20	23	26
Peso suelo húmedo + tara, g	504	382	494	449	439	547
Peso suelo seco + tara, g	474	357	464	422	413	513
Peso de tara, g	113	106	105	105	107	112
Peso de agua, g	30	25	30	27	26	34
Peso de suelo seco, g	361	251	359	317	306	401
Contenido de humedad, %	8.3	10.0	8.4	8.5	8.5	8.5
Densidad seca, g/cm ³	1.957	1.980	2.056	2.069	2.332	2.343
Grado de compactación, %	92.1	93.2	96.8	97.4	109.8	110.3

EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo, horas	Dial, pulg.	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/08/2021	12:00	0	76.80	---	---	30.50	---	---	69.40	---	---
11/08/2021	12:00	24	79.00	55.88	44.00	32.20	43.18	34.00	69.90	12.70	10.00
12/08/2021	12:00	48	80.00	25.40	20.00	32.30	2.54	2.00	69.90	0.00	0.00
13/08/2021	12:00	72	80.00	0.00	0.00	32.30	0.00	0.00	69.90	0.00	0.00
14/08/2021	12:00	96	80.00	0.00	0.00	32.30	0.00	0.00	69.90	0.00	0.00


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC
 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Ensayado por : D. Linares
 Fecha : 03-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarillis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com



Revisado por : D. Alvarado
 Fecha: 13-Ago-21
 Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 14/01/2022 11:58:57-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

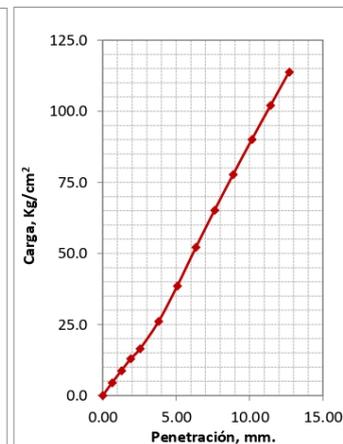
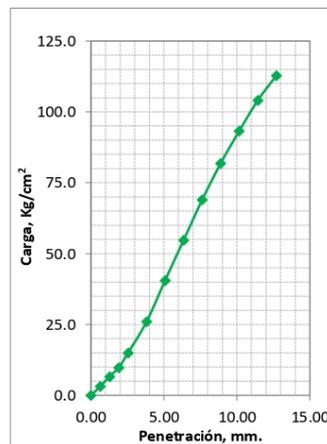
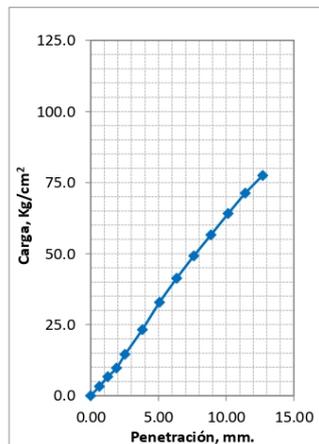
ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6258	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Fuente	: M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método de compactación	: C
Profundidad, m	: ---	Tipo de material	: Suelo
Fecha	: 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³	: 2.124
Gradación	: ---	Contenido óptimo de agua, %	: 8.3

Penetración		Carga Estándar, Kg/cm ²	Molde N° : 4				Molde N° : 5				Molde N° : 10			
			Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
pulg.	mm		Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
0.000	0.000	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.025	0.635	---	62.6	3.2	---	---	60.5	3.1	---	---	86.7	4.5	---	---
0.050	1.270	---	129.8	6.7	---	---	128.3	6.6	---	---	169.2	8.7	---	---
0.075	1.905	---	188.3	9.7	---	---	189.5	9.8	---	---	249.7	12.9	---	---
0.100	2.540	70.36	281.3	14.5	18.0	25.6	289.9	15.0	27.5	39.1	318.0	16.4	34.0	48.3
0.150	3.810	---	450.9	23.3	---	---	502.3	26.0	---	---	505.1	26.1	---	---
0.200	5.080	105.03	635.4	32.8	36.0	34.3	784.2	40.5	56.0	53.3	746.9	38.6	60.0	57.1
0.250	6.350	---	799.7	41.3	---	---	1059.8	54.8	---	---	1009.2	52.1	---	---
0.300	7.620	---	952.6	49.2	---	---	1334.2	68.9	---	---	1261.6	65.18	---	---
0.350	8.890	---	1096.2	56.64	---	---	1584.2	81.85	---	---	1506.1	77.82	---	---
0.400	10.160	---	1241.0	64.12	---	---	1804.8	93.25	---	---	1743.6	90.09	---	---
0.450	11.430	---	1379.8	71.29	---	---	2013.3	104.02	---	---	1974.6	102.02	---	---
0.500	12.700	---	1500.3	77.52	---	---	2182.6	112.77	---	---	2203.7	113.86	---	---



Ensayado por : D. Linares
 Fecha : 03-Ago-21

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha : 15-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com
 Pg. 2 de 3

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio



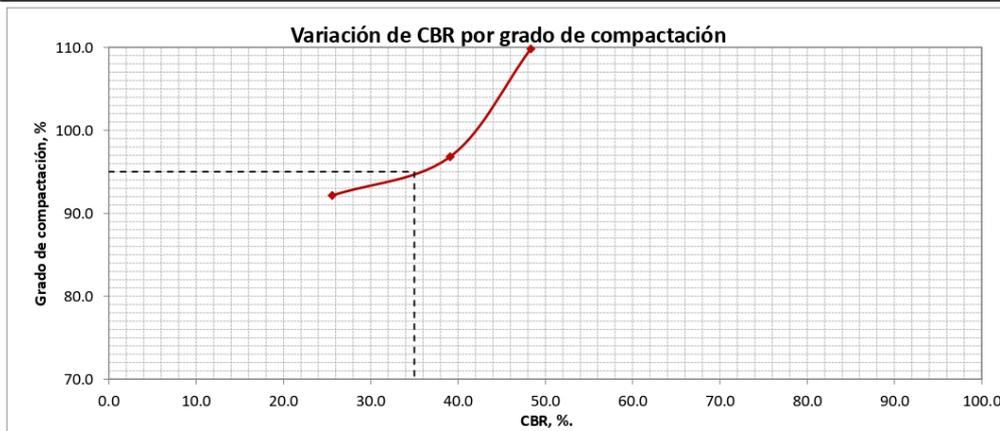
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6258	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 2% de Cloruro de Sodio	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.124
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3



CBR 0.1" (100% MDS)	48.3
CBR 0.1" (95% MDS)	35.0
CBR 0.2" (100% MDS)	57.1

1. Descripción del ensayo

Método de reducción de muestras (NTP 339.126)	Método B
Método de compactación	Método C
Tipo de pistón	Manual

2. Información de clasificación de suelos

Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)	S M - S C
Clasificación con fines de carretera (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)
Descripción:	
Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (15.3%), arena (54.2%) y finos limosos y arcillosos (30.4%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.	

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 03-Ago-21	Fecha : 15-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29879
 Jefe de Laboratorio

3. Suelo con 4% de cloruro de sodio

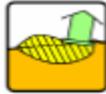


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

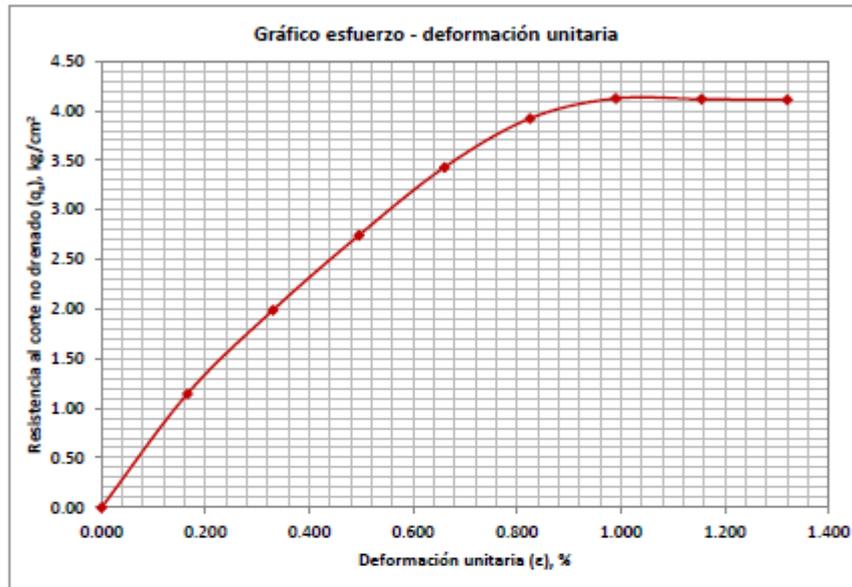
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto : H - 824							
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.							
Solicita : Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez							
Responsable : Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado							
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo : 6243		Tipo de muestra : Remoldeada					
Fuente : M - 6224 + 4% de cloruro de magnesio (M - 1)		Clasificación SUCS : ---					
Profundidad, m : ---		Clasificación AASHTO : ---					
Fecha : Jul-21							
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D_0), cm : 7.76		Gravedad específica (G_s) : 2.55					
Área inicial (A_0), cm ² : 47.28		Densidad húmeda (γ_m), g/cm ³ : 2.18					
Altura inicial (L_0), cm : 15.15		Densidad seca (γ_d), g/cm ³ : 2.02					
Volumen inicial (V_0), cm ³ : 716.24		Contenido de agua (w), % : 7.6					
Peso de la muestra (W), g : 1559.00							
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10 ⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm ²	Carga axial, kg/cm ²
1	0	37.1	0	0.0000	0.00	47.3	0.000
2	10	54.2	25	0.0250	0.17	47.4	1.144
3	20	94.4	50	0.0500	0.33	47.4	1.990
4	30	130.3	75	0.0750	0.50	47.5	2.742
5	40	163.2	100	0.1000	0.66	47.6	3.429
6	50	187.0	125	0.1250	0.83	47.7	3.922
7	60	196.9	150	0.1500	0.99	47.8	4.123
8	70	196.9	175	0.1750	1.16	47.8	4.116
9	80	196.9	200	0.2000	1.32	47.9	4.109
10	90	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
11	100	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
12	110	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
13	120	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
14	130	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
15	140	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
16	150	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
17	160	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
18	170	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
19	180	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
20	190	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
21	200	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
22	210	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
23	220	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
24	230	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
25	240	196.9	0	0.0000	0.00	47.3	4.164
Ensayado por : D. Linares		Revisado por :					
Fecha : 23-Jul-21		Fecha : 00-Ene-00					



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	4.164
Deformación en la falla, %	0.000
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.000
Duración del ensayo, min	4.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	2.082

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC
Doris E. Alvarado
Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 23-Jul-21	Fecha : 00-Ene-00

4. Suelo con 6% de cloruro de sodio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto	: H - 824						
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.						
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez						
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado						
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo	: 6245	Tipo de muestra	: Remoldeada				
Fuente	: M - 6224 + 6% de cloruro de magnesio (M - 1)	Clasificación SUCS	: ---				
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO	: ---				
Fecha	: Jul-21						
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.77	Gravedad específica (G _s)	: 2.55				
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.38	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³	: 2.17				
Altura inicial (L ₀), cm	: 15.07	Densidad seca (Y _d), g/cm ³	: 2.02				
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 714.02	Contenido de agua (w), %	: 7.6				
Peso de la muestra (W), g	: 1549.00						
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10 ⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm ²	Carga axial, kg/cm ²
1	0	40.5	0	0.0000	0.00	47.4	0.000
2	10	76.6	25	0.0250	0.17	47.5	1.614
3	20	105.0	50	0.0500	0.33	47.5	2.209
4	30	130.6	75	0.0750	0.50	47.6	2.743
5	40	156.3	100	0.1000	0.66	47.7	3.277
6	50	184.2	125	0.1250	0.83	47.8	3.855
7	60	202.2	150	0.1500	1.00	47.9	4.225
8	70	202.4	175	0.1750	1.16	47.9	4.222
9	80	202.4	200	0.2000	1.33	48.0	4.215
10	90	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
11	100	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
12	110	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
13	120	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
14	130	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
15	140	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
16	150	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
17	160	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
18	170	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
19	180	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
20	190	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
21	200	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
22	210	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
23	220	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
24	230	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
25	240	202.4	0	0.0000	0.00	47.4	4.272
Ensayado por	: D. Linares			Revisado por	:		
Fecha	: 23-Jul-21			Fecha	: 00-Ene-00		

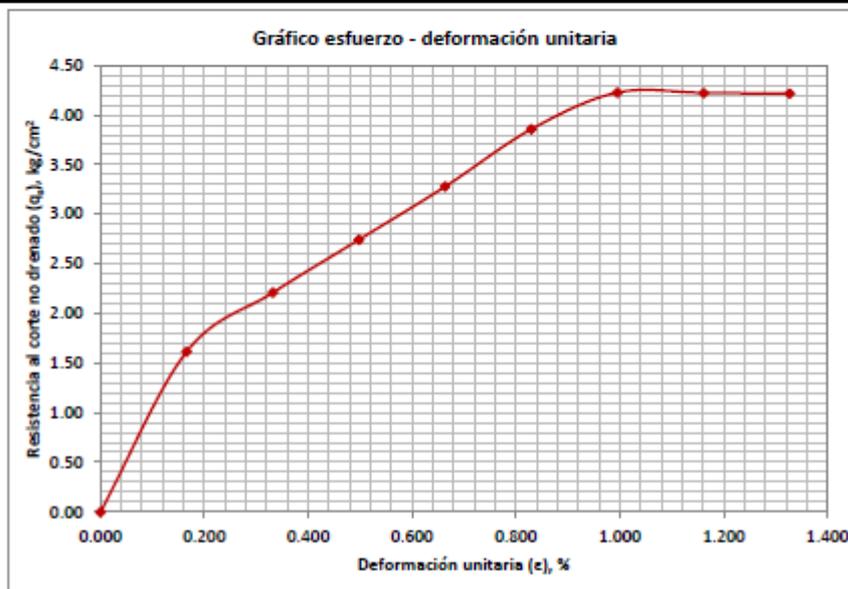


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	4.272
Deformación en la falla, %	0.000
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.000
Duración del ensayo, min	4.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	2.136

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC
Doris L. Alvarado y Linares
Ing. Doris L. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares
Fecha : 23-Jul-21

Revisado por :
Fecha : 00-Ene-00

5. Suelo con 2% de cemento



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

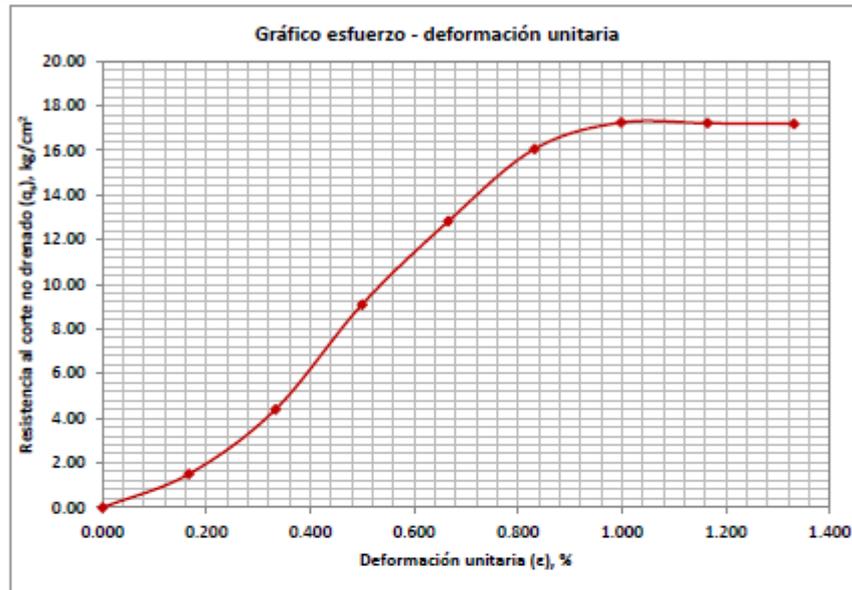
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto	: H - 824						
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.						
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez						
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado						
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo	: 6235	Tipo de muestra	: Remoldeada				
Fuente	: M - 6224 + 2% de cemento (M - 1)	Clasificación SUCS	: ---				
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO	: ---				
Fecha	: Jul-21						
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.78	Gravedad específica (G _s)	: 2.55				
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.49	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³	: 2.23				
Altura inicial (L ₀), cm	: 15.03	Densidad seca (Y _d), g/cm ³	: 2.06				
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 713.54	Contenido de agua (w), %	: 8.3				
Peso de la muestra (W), g	: 1592.00						
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10 ⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm ²	Carga axial, kg/cm ²
1	0	17.9	0	0.0000	0.00	47.5	0.000
2	10	71.4	25	0.0250	0.17	47.6	1.501
3	20	209.3	50	0.0500	0.33	47.6	4.393
4	30	433.6	75	0.0750	0.50	47.7	9.085
5	40	612.9	100	0.1000	0.67	47.8	12.820
6	50	769.2	125	0.1250	0.83	47.9	16.062
7	60	827.2	150	0.1500	1.00	48.0	17.245
8	70	827.2	175	0.1750	1.16	48.0	17.216
9	80	827.2	200	0.2000	1.33	48.1	17.187
10	90	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
11	100	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
12	110	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
13	120	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
14	130	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
15	140	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
16	150	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
17	160	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
18	170	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
19	180	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
20	190	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
21	200	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
22	210	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
23	220	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
24	230	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
25	240	827.2	0	0.0000	0.00	47.5	17.418
Ensayado por	: D. Linares			Revisado por	:		
Fecha	: 23-Jul-21			Fecha	: 00-Ene-00		



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q_u), kg/cm ²	17.418
Deformación en la falla, %	0.000
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.000
Duración del ensayo, min	4.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c_u), kg/cm ²	8.709

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Dora E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares
Fecha : 23-Jul-21

Revisado por :
Fecha : 00-Ene-00

6. Suelo con 4% de cemento



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

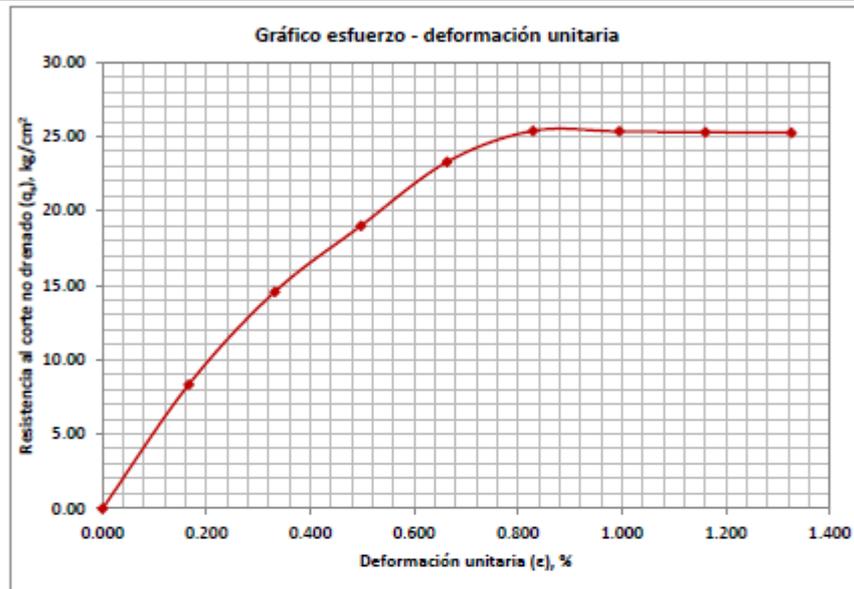
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubambaba.							
Id. proyecto	: H - 824						
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.						
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez						
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado						
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo	: 6237	Tipo de muestra:	: Remoldeada				
Fuente	: M - 6224 + 4% de cemento (M - 1)	Clasificación SUCS:	: ---				
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO:	: ---				
Fecha	: Jul-21						
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.78	Gravedad específica (G _s):	2.55				
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.48	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³ :	2.23				
Altura inicial (L ₀), cm	: 15.08	Densidad seca (Y _d), g/cm ³ :	2.06				
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 715.97	Contenido de agua (w), %:	8.5				
Peso de la muestra (W), g	: 1599.00						
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm²	Carga axial, kg/cm²
1	0	188.6	0	0.0000	0.00	47.5	0.000
2	10	395.7	25	0.0250	0.17	47.6	8.321
3	20	693.6	50	0.0500	0.33	47.6	14.560
4	30	906.3	75	0.0750	0.50	47.7	18.994
5	40	1112.8	100	0.1000	0.66	47.8	23.283
6	50	1214.8	125	0.1250	0.83	47.9	25.375
7	60	1214.8	150	0.1500	0.99	48.0	25.332
8	70	1214.8	175	0.1750	1.16	48.0	25.290
9	80	1214.8	200	0.2000	1.33	48.1	25.247
10	90	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
11	100	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
12	110	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
13	120	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
14	130	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
15	140	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
16	150	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
17	160	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
18	170	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
19	180	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
20	190	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
21	200	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
22	210	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
23	220	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
24	230	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
25	240	1214.8	0	0.0000	0.00	47.5	25.587
Ensayado por	: D. Linares			Revisado por	:		
Fecha	: 23-Jul-21			Fecha	: 00-Ene-00		



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 -INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO-

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	25.587
Deformación en la falla, %	0.000
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.000
Duración del ensayo, min	4.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	12.793


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
 GEOCON SI SAC

 Ing. Doris L. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 23-Jul-21	Fecha : 00-Ene-00



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco Código: SGC-HCO-INF-005 Versión: 01
--	---

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodriguez
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6238	Tipo de muestra	: Remoldeada
Fuente	: M - 6224 + 4% de cemento (M - 2)	Clasificación SUCS	: ---
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO	: ---
Fecha	: Jul-21		

COMPRESIÓN NO CONFINADA			
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.76	Gravedad específica (G _s)	: 2.55
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.33	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³	: 2.23
Altura inicial (L ₀), cm	: 15.23	Densidad seca (Y _d), g/cm ³	: 2.06
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 720.90	Contenido de agua (w), %	: 8.2
Peso de la muestra (W), g	: 1610.00		

Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10 ⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm ²	Carga axial, kg/cm ²
1	0	40.9	0	0.0000	0.00	47.3	0.000
2	10	267.3	25	0.0250	0.16	47.4	5.638
3	20	688.7	50	0.0500	0.33	47.5	14.503
4	30	1029.3	75	0.0750	0.49	47.6	21.640
5	40	1207.7	100	0.1000	0.66	47.6	25.348
6	50	1207.7	125	0.1250	0.82	47.7	25.306
7	60	1207.7	150	0.1500	0.98	47.8	25.265
8	70	1207.7	175	0.1750	1.15	47.9	25.223
9	80	1207.7	200	0.2000	1.31	48.0	25.181
10	90	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
11	100	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
12	110	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
13	120	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
14	130	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
15	140	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
16	150	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
17	160	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
18	170	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
19	180	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
20	190	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
21	200	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
22	210	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
23	220	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
24	230	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516
25	240	1207.7	0	0.0000	0.00	47.3	25.516

Ensayado por	: D. Linares	Revisado por	:
Fecha	: 23-Jul-21	Fecha	: 00-Ene-00

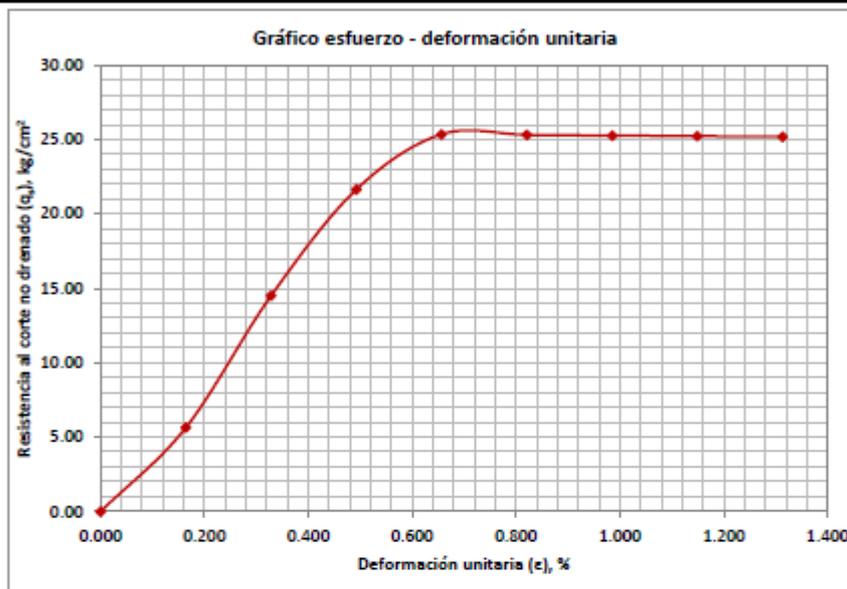


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	25.516
Deformación en la falla, %	0.000
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.000
Duración del ensayo, min	4.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	12.758

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI S.A.C.
Doris E. Alvarado y Linares
Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 23-Jul-21	Fecha : 00-Ene-00

7. Suelo con 6% de cemento



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C. - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES - - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS) Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE (AASHTO) (NTP 339.134 y NTP 339.135)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-001
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6257	Peso inicial de la muestra, g :	14,366
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento	Método cuarteo (NTP 339.089) :	B
Profundidad, m	: ---	Gradación :	---
Fecha	: 31-Jul-21	Normativa :	---

GRANULOMETRÍA							
Tamices		Peso retenido, g	Peso retenido acumulado, g	Porcentaje retenido, %	Porcentaje que pasa, %	Especificaciones	
pulg.	mm.					Mínimo	Máximo
3"	76.2	0.0	0.0	0.0	100.0	---	---
2"	50.8	561.8	561.8	3.9	96.1	---	---
1 1/2"	38.1	442.5	1,004.3	7.0	93.0	---	---
1"	25.400	612.5	1,616.8	11.3	88.7	---	---
3/4"	19.050	126.2	1,743.0	12.1	87.9	---	---
1/2"	12.700	163.0	1,906.0	13.3	86.7	---	---
3/8"	9.520	96.2	2,002.2	13.9	86.1	---	---
N° 4	4.750	197.3	2,199.5	15.3	84.7	---	---
N° 8	2.360	398.3	2,597.8	18.1	81.9	---	---
N° 10	2.000	185.7	2,783.5	19.4	80.6	---	---
N° 16	1.180	825.7	3,609.2	25.1	74.9	---	---
N° 30	0.600	1,816.3	5,425.5	37.8	62.2	---	---
N° 40	0.420	815.2	6,240.7	43.4	56.6	---	---
N° 50	0.300	957.3	7,198.0	50.1	49.9	---	---
N° 100	0.150	268.2	7,466.2	52.0	48.0	---	---
N° 200	0.075	2,597.9	10,064.1	70.1	29.9	---	---
Fondo		4,301.4	14,365.5				

Contenido, %	
Grava (3 1/2" - N° 4)	15.3
Arena (N° 4 - N° 200)	54.7
Finos (menor a N° 200)	29.9

Propiedades del Material	
Tamaño máximo de los fragmentos, mm	50.8
Forma predominante de la fracción gruesa	Sub - angulosa
Coefficiente de uniformidad (Cu), %	---
Coefficiente de curvatura (Cc), %	---
Límite Líquido (LL), %	22
Límite Plástico (LP), %	17
Índice de Plasticidad (IP), %	5
Contenido de Humedad, %	---
Clasificación (SUCS)	S M - S C
Clasificación (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)

Ensayado por	: N. Linares	Revisado por	: D. Alvarado
Fecha	: 31-Jul-21	Fecha	: 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalías N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 1 de 2



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14/01/2022 11:58:13-0500

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC
Doris E. Alvarado
Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

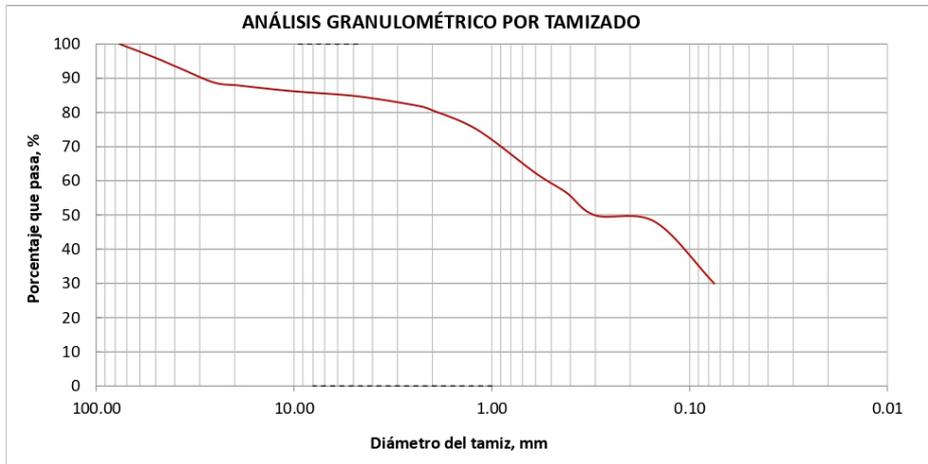
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA (SUCS) Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA USO EN VÍAS DE TRANSPORTE (AASHTO) (NTP 339.134 y NTP 339.135)	Sede: Huánuco Código: SGC-HCO-INF-001 Versión: 01
---	---

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

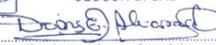
Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6257	Peso inicial de la muestra, g : 14,366
Fuente : M-6224 + 6% de cemento	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Profundidad, m : ---	Gradación : ---
Fecha : 31-Jul-21	Normativa : ---



Descripción del Material	
Clasificación	Grava limosa y arcillosa.
Descripción	Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (15.3%), arena (54.7%) y finos limosos y arcillosos (29.9%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.

Observaciones:


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
 GEOCON SI S.A.C.

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Ensayado por : N. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 31-Jul-21	Fecha : 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular: 990 29 8005
 Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 2 de 2



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (NTP 339.129)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-002
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6257	Clasificación SUCS	: S M - S C
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento	Clasificación AASHTO	: A - 2 - 4 (0)
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 04-Ago-21	Normativa	: ---

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Número de golpes	23			
Tara Nº	20	23	24	25
Peso (suelo húmedo + tara), g	73.21	18.12	20.08	19.47
Peso (suelo seco + tara), g	62.85	17.45	19.27	18.75
Peso de la tara, g	15.42	13.60	14.67	14.49
Peso del agua contenida, g	10.36	0.67	0.81	0.72
Peso suelo seco, g	47.43	3.85	4.60	4.26
Contenido de agua, %	21.84	17.40	17.61	16.90

$$LL = W_n \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

w_n : Contenido de humedad del suelo para n golpes

N : Número de golpes.

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
Límite líquido (LL), %	22
Límite plástico (LP), %	17
Índice plástico (IP), %	5

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP Nº: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : N. Linares
Fecha : 04-Ago-21

Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/01/2022 11:58:57-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

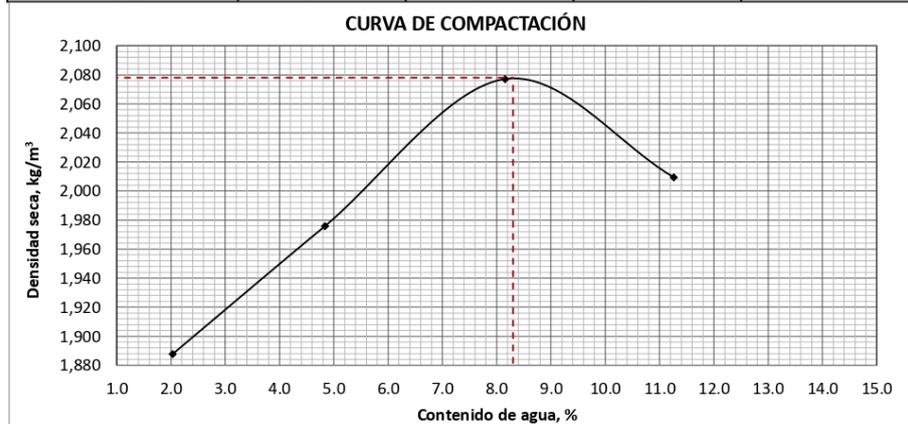
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kN-m/m³) (NTP 339.141)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-003
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamaba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6257	Procedimiento	: A
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 02-Ago-21	Tipo de material	: Suelo

PRÓCTOR MODIFICADO				
Ensayo Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	6,119	6,255	6,419	6,409
Peso del molde, g	4,315	4,315	4,315	4,315
Peso suelo húmedo, g	1,804	1,940	2,104	2,094
Volumen del molde, cm ³	937	937	937	937
Densidad húmeda, kg/m ³	1,926	2,071	2,246	2,236
Tara Nº	22	19	20	21
Peso suelo húmedo + tara, g	515	517	503	530
Peso suelo seco + tara, g	507	498	473	488
Peso de la tara, g	113	105	105	115
Peso del agua contenida, g	8.0	19.0	30.0	42.0
Peso del suelo seco, g	394	393	368	373
Contenido de agua, %	2.0	4.8	8.2	11.3
Densidad seca, kg/m ³	1,887.8	1,975.8	2,077.1	2,009.5



Máxima densidad seca (MDS), kg/m ³ :	2,078	Contenido óptimo de agua, %:	8.3
---	--------------	------------------------------	------------

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

Ensayado por : N. Linares

Revisado por : D. Alvarado

Fecha : 02-Ago-21

Fecha : 02-Jul-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular : 990 29 8005
Celular : 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/01/2022 11:58:57-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6257	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 6% de cemento	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.078
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3

COMPACTACIÓN						
Ensayo	1		2		3	
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa	12		26		56	
Condición de la muestra	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado
Peso del molde + suelo húmedo, g	12,882	13,046	12,989	13,064	13,224	13,291
Peso del molde, g	8,465	8,465	8,477	8,477	8,530	8,530
Peso del suelo húmedo, g	4,417	4,581	4,512	4,587	4,694	4,761
Volumen del molde, cm ³	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107
Densidad húmeda, g/cm ³	2.10	2.17	2.14	2.18	2.23	2.26
Tara N°	19	22	20	23	21	24
Peso suelo húmedo + tara, g	440	403	444	462	420	451
Peso suelo seco + tara, g	415	373	418	433	397	422
Peso de tara, g	105	113	105	107	113	110
Peso de agua, g	25	30	26	29	23	29
Peso de suelo seco, g	310	260	313	326	284	312
Contenido de humedad, %	8.1	11.5	8.3	8.9	8.1	9.3
Densidad seca, g/cm ³	1.940	1.949	1.977	1.999	2.061	2.068
Grado de compactación, %	93.4	93.8	95.2	96.2	99.2	99.5

EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo, horas	Dial, pulg.	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
10/08/2021	12:00	0	76.00	---	---	53.60	---	---	2.30	---	---
11/08/2021	12:00	24	76.00	0.00	0.00	53.70	2.54	2.00	2.80	12.70	10.00
12/08/2021	12:00	48	76.00	0.00	0.00	53.70	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
13/08/2021	12:00	72	76.00	0.00	0.00	53.70	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
14/08/2021	12:00	96	76.10	2.54	2.00	53.70	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00

Ensayado por : D. Linares
 Fecha : 03-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.

E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 3

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha : 03-Ago-21



Firmado digitalmente por:
ALVARADO LINARES DORIS ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento
 Fecha: 14/01/2022 11:58:56-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

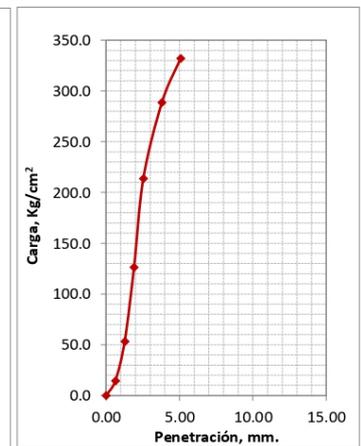
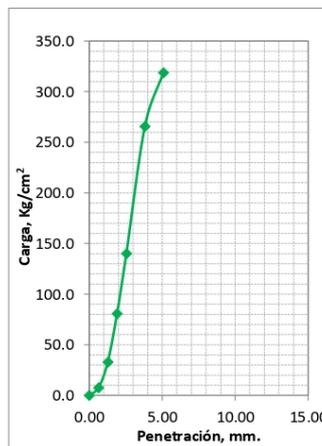
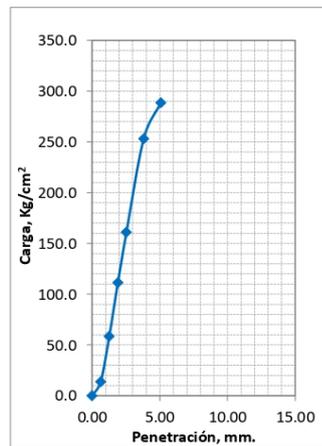
ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6257	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 6% de cemento	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.078
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3

PENETRACIÓN														
Penetración		Carga Estándar, Kg/cm ²	Molde N° : 1				Molde N° : 2				Molde N° : 3			
			Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
pulg.	mm		Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
0.000	0.000	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.025	0.635	---	265.3	13.7	---	---	148.9	7.7	---	---	284.3	14.7	---	---
0.050	1.270	---	1132.1	58.5	---	---	639.1	33.0	---	---	1035.8	53.5	---	---
0.075	1.905	---	2154.3	111.3	---	---	1564.2	80.8	---	---	2445.1	126.3	---	---
0.100	2.540	70.36	3120.1	161.2	159.0	226.0	2708.8	140.0	232.0	329.7	4138.2	213.8	259.0	368.1
0.150	3.810	---	4898.1	253.1	---	---	5140.8	265.6	---	---	5591.0	288.9	---	---
0.200	5.080	105.03	5586.4	288.6	---	---	6169.0	318.7	---	---	6429.7	332.2	---	---
0.250	6.350	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.300	7.620	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.350	8.890	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.400	10.160	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.450	11.430	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.500	12.700	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---



Ensayado por : D. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 03-Ago-21	Fecha : 15-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com



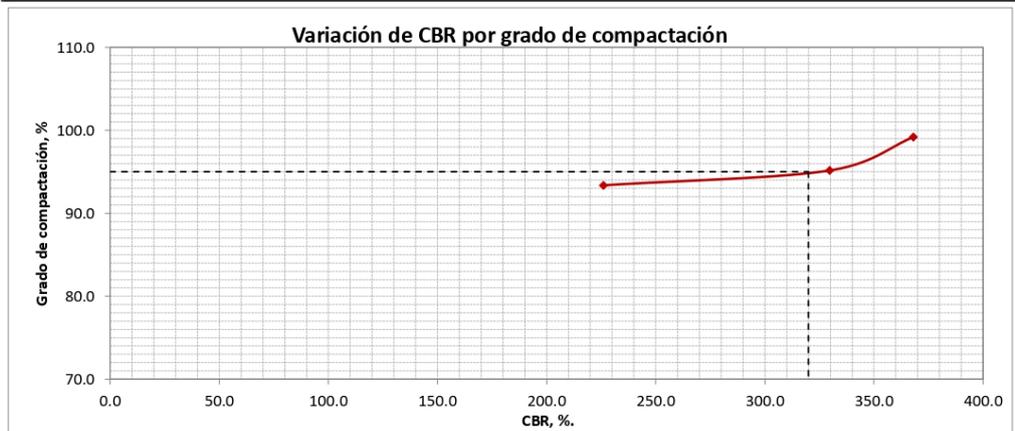
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6257	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 6% de cemento	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 03-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.078
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3



CBR 0.1" (100% MDS)	368.1
CBR 0.1" (95% MDS)	320.0
CBR 0.2" (100% MDS)	---

1. Descripción del ensayo

Método de reducción de muestras (NTP 339.126)	Método B
Método de compactación	Método C
Tipo de pisón	Manual

2. Información de clasificación de suelos

Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)	SM - SC
Clasificación con fines de carretera (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)
Descripción:	Arena limosa y arcillosa, mezcla de grava (15.3%), arena (54.7%) y finos limosos y arcillosos (29.9%) de baja plasticidad. Material de coloración marrón.

Doris E. Alvarado
 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 03-Ago-21	Fecha : 15-Ago-21
Teléfono: (062) 51 5181	Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
Celular : 947 81 7575	E-mail: info@geoconsi.com
Celular : 990 29 8005	Pg. 3 de 3



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD (NTP 339.129)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-002
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Proyecto: Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo	: 6263
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento + 1% cloruro de sodio
Profundidad, m	: ---
Fecha	: 17-Ago-21
Normativa	: ---
Clasificación SUCS	: S M
Clasificación AASHTO	: A - 2 - 4 (0)
Gradación	: ---

LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD				
Tipo de ensayo	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO		
Número de golpes	24			
Tara Nº	2	4	5	6
Peso (suelo húmedo + tara), g	164.28	126.41	125.46	126.16
Peso (suelo seco + tara), g	156.39	125.53	124.72	125.30
Peso de la tara, g	117.65	120.16	120.49	120.00
Peso del agua contenida, g	7.89	0.88	0.74	0.86
Peso suelo seco, g	38.74	5.37	4.23	5.30
Contenido de agua, %	20.37	16.39	17.49	16.23

$$LL = W_n \cdot \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

Donde:

w_n : Contenido de humedad del suelo para n golpes

N : Número de golpes.

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
Límite líquido (LL), %	20
Límite plástico (LP), %	17
Índice plástico (IP), %	3

Observaciones:

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP Nº: 29878
Jefe de Laboratorio

Ensayado por : N. Linares
Fecha : 17-Ago-21

Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 17-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular: 990 29 8005
Celular: 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/01/2022 11:59:00-0500



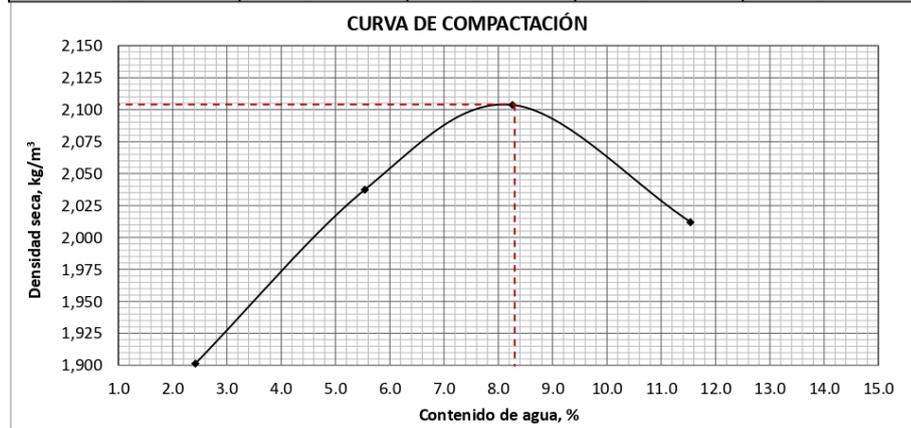
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA COMPACTACIÓN DEL SUELO EN EL LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (2,700 kN-m/m³) (NTP 339.141)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-003
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	
Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares

DATOS DE LA MUESTRA			
Id. Ensayo	: 6263	Procedimiento	: A
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento + 1% cloruro de sodio	Método cuarteo (NTP 339.089)	: B
Profundidad, m	: ---	Gradación	: ---
Fecha	: 16-Ago-21	Tipo de material	: Suelo

PRÓCTOR MODIFICADO				
Ensayo Nº	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + molde	6,139	6,329	6,448	6,417
Peso del molde, g	4,315	4,315	4,315	4,315
Peso suelo húmedo, g	1,824	2,014	2,133	2,102
Volumen del molde, cm ³	937	937	937	937
Densidad húmeda, kg/m ³	1,947	2,150	2,277	2,244
Tara Nº	19	19	20	22
Peso suelo húmedo + tara, g	487	487	460	432
Peso suelo seco + tara, g	478	467	433	399
Peso de la tara, g	106	106	106	113
Peso del agua contenida, g	9.0	20.0	27.0	33.0
Peso del suelo seco, g	372	361	327	286
Contenido de agua, %	2.4	5.5	8.3	11.5
Densidad seca, kg/m ³	1,901.5	2,037.5	2,103.7	2,012.1



Máxima densidad seca (MDS), kg/m ³ :	2,104	Contenido óptimo de agua, %:	8.3
---	--------------	------------------------------	------------

Observaciones:

1. La muestra fue provista e identificada por el solicitante.

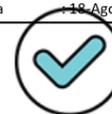
Ensayado por : N. Linares
Fecha : 16-Ago-21

Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 16-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
Celular : 990 29 8005
Celular : 947 50 5152

Jr. Las Dalias Nº 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
E-mail: info@geoconsi.com

Pg. 1 de 1



Firmado digitalmente por:
ALVARADO Y LINARES DORIS
ELISABETH
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 14/01/2022 11:59:00-0500



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.	

Id. proyecto	: H - 824
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita	: Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable	: Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA		
Id. Ensayo	: 6263	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente	: M-6224 + 6% de cemento + 1% cloruro de sodio	Método de compactación : C
Profundidad, m	: ---	Tipo de material : Suelo
Fecha	: 17-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.104
Gradación	: ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3

COMPACTACIÓN						
Ensayo	1		2		3	
Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa	12		26		56	
Condición de la muestra	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado	Húmedo	Saturado
Peso del molde + suelo húmedo, g	12,742	12,968	13,029	13,183	13,300	13,377
Peso del molde, g	8,464	8,464	8,475	8,475	8,528	8,528
Peso del suelo húmedo, g	4,278	4,504	4,554	4,708	4,772	4,849
Volumen del molde, cm ³	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107	2,107
Densidad húmeda, g/cm ³	2.03	2.14	2.16	2.23	2.27	2.30
Tara N°	19	25	21	27	20	24
Peso suelo húmedo + tara, g	392	547	474	536	496	561
Peso suelo seco + tara, g	370	499	447	498	466	525
Peso de tara, g	106	111	105	105	104	109
Peso de agua, g	22	48	27	38	30	36
Peso de suelo seco, g	264	388	342	393	362	416
Contenido de humedad, %	8.3	12.4	7.9	9.7	8.3	8.7
Densidad seca, g/cm ³	1.874	1.903	2.003	2.038	2.092	2.118
Grado de compactación, %	89.1	90.4	95.2	96.8	99.4	100.7

EXPANSIÓN											
Fecha	Hora	Tiempo, horas	Dial, pulg.	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm	%		mm	%		mm	%
24/08/2021	12:00	0	33.20	---	---	95.00	---	---	54.20	---	---
25/08/2021	12:00	24	33.40	5.08	4.00	95.10	2.54	2.00	54.20	0.00	0.00
26/08/2021	12:00	48	33.40	0.00	0.00	95.10	0.00	0.00	54.20	0.00	0.00
27/08/2021	12:00	72	33.40	0.00	0.00	95.10	0.00	0.00	54.20	0.00	0.00
28/08/2021	12:00	96	33.40	0.00	0.00	95.10	0.00	0.00	54.20	0.00	0.00

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAG

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Ensayado por : D. Linares
 Fecha : 17-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com

Revisado por : D. Alvarado
 Fecha: 14/01/2022 11:58:59-0500
 Firmado digitalmente por:
ALVARADO LINARES DORIS ELISABETH
 Motivo: Soy el autor del documento





GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

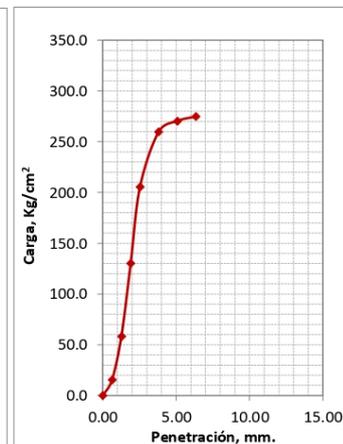
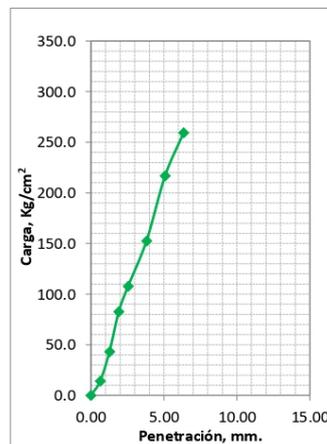
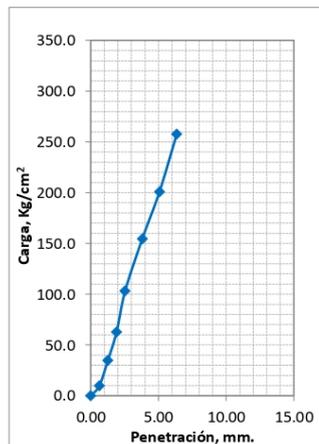
ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tucto
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6263	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 6% de cemento + 1% cloruro de sodio	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 17-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.104
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3

Penetración		Carga Estándar, Kg/cm ²	Molde N° : 1				Molde N° : 2				Molde N° : 3			
pulg.	mm		Carga		Corrección		Carga		Corrección		Carga		Corrección	
		Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	Kg	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%	
0.000	0.000	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---
0.025	0.635	---	189.7	9.8	---	---	273.7	14.1	---	---	298.8	15.4	---	---
0.050	1.270	---	676.1	34.9	---	---	837.3	43.3	---	---	1129.3	58.3	---	---
0.075	1.905	---	1212.3	62.6	---	---	1598.7	82.6	---	---	2523.1	130.4	---	---
0.100	2.540	70.36	1998.6	103.3	113.0	160.6	2083.4	107.6	123.0	174.8	3980.6	205.7	238.0	338.3
0.150	3.810	---	2993.1	154.6	---	---	2954.8	152.7	---	---	5026.1	259.7	---	---
0.200	5.080	105.03	3890.0	201.0	210.0	199.9	4196.1	216.8	231.0	219.9	5234.6	270.5	273.0	259.9
0.250	6.350	---	4986.1	257.6	---	---	5019.6	259.3	---	---	5320.0	274.9	---	---
0.300	7.620	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	---	---	0.0	0.00	---	---
0.350	8.890	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---
0.400	10.160	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---
0.450	11.430	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---
0.500	12.700	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---	0.0	0.00	---	---



Ensayado por : D. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 17-Ago-21	Fecha : 29-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarillis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com



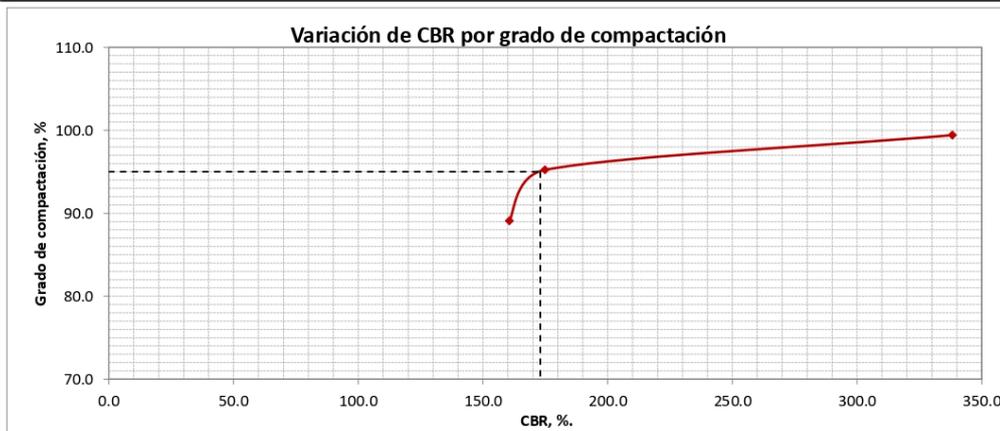
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

ENSAYO DE CBR (RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA) DE SUELOS COMPACTADOS EN EL LABORATORIO (NTP 339.145)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-UCA-INF-004
	Versión: 01

DATOS DEL PROYECTO
Tema de Tesis: Estabilización de suelos con cloruro de sodio y cemento portland en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba, Huánuco - 2021.

Id. proyecto : H - 824
Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.
Solicita : Bach. Hemilio Fernando Rodríguez Tuco
Responsable : Ing. Doris E. Alvarado y Linares.

DATOS DE LA MUESTRA	
Id. Ensayo : 6263	Método cuarteo (NTP 339.089) : B
Fuente : M-6224 + 6% de cemento + 1% cloruro de sodio	Método de compactación : C
Profundidad, m : ---	Tipo de material : Suelo
Fecha : 17-Ago-21	Densidad seca máxima, g/cm ³ : 2.104
Gradación : ---	Contenido óptimo de agua, % : 8.3



CBR 0.1" (100% MDS)	338.3
CBR 0.1" (95% MDS)	173.0
CBR 0.2" (100% MDS)	259.9

1. Descripción del ensayo

Método de reducción de muestras (NTP 339.126)	Método B
Método de compactación	Método C
Tipo de pisón	Manual

2. Información de clasificación de suelos

Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)	SM
Clasificación con fines de carretera (AASHTO)	A - 2 - 4 (0)
Descripción: Arena limosa, mezcla de grava (15.3%), arena (54.9%) y finos limosos (29.8%) de plasticidad baja. De coloración marrón.	


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por : D. Alvarado
Fecha : 17-Ago-21	Fecha : 29-Ago-21

Teléfono: (062) 51 5181
 Celular : 947 81 7575
 Celular : 990 29 8005

Jr. Las Dalias N° 270 - Urb. Paucarbambilla - Amarilis - Huánuco.
 E-mail: info@geoconsi.com
Pg. 3 de 3



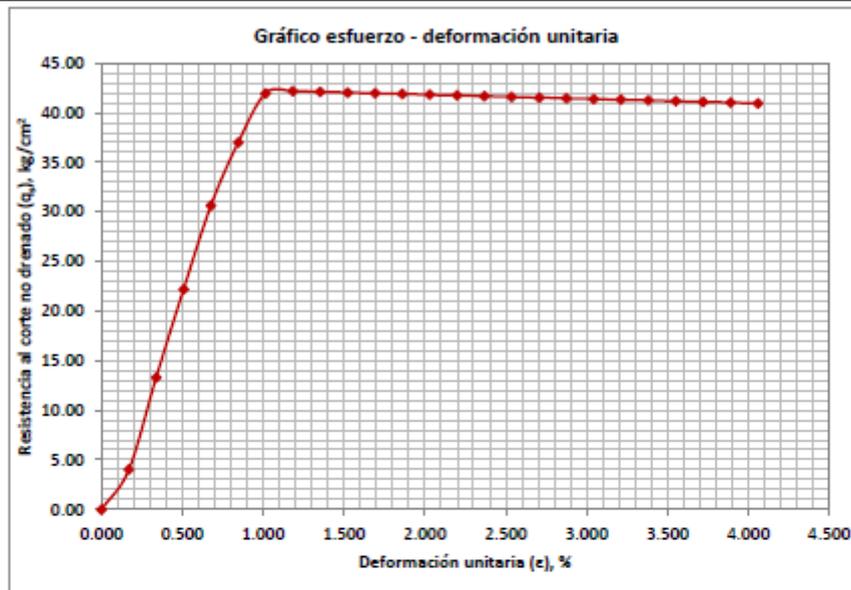
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto : H - 824 Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco. Solicita : Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez Responsable : Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado							
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo : 6257		Tipo de muestra : Remoldeada					
Fuente : 6% de cemento + 1% cloruro de sodio (M - 01)		Clasificación SUCS : ---					
Profundidad, m : ---		Clasificación AASHTO : ---					
Fecha : Ago-21							
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm : 7.77	Gravedad específica (G _s) : 2.55						
Área inicial (A ₀), cm ² : 47.36	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³ : 2.19						
Altura inicial (L ₀), cm : 14.79	Densidad seca (Y _d), g/cm ³ : 2.05						
Volumen inicial (V ₀), cm ³ : 700.15	Contenido de agua (w), % : 6.8						
Peso de la muestra (W), g : 1534.32							
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm²	Carga axial, kg/cm²
1	0	0.0	0	0.0000	0.00	47.4	0.000
2	30	190.8	25	0.0250	0.17	47.4	4.022
3	60	632.8	50	0.0500	0.34	47.5	13.317
4	90	1056.2	75	0.0750	0.51	47.6	22.190
5	120	1460.3	100	0.1000	0.68	47.7	30.628
6	150	1767.1	125	0.1250	0.85	47.8	37.000
7	180	2006.9	150	0.1500	1.01	47.8	41.949
8	210	2020.9	175	0.1750	1.18	47.9	42.170
9	240	2020.9	200	0.2000	1.35	48.0	42.098
10	270	2020.9	225	0.2250	1.52	48.1	42.025
11	300	2020.9	250	0.2500	1.69	48.2	41.953
12	330	2020.9	275	0.2750	1.86	48.3	41.881
13	360	2020.9	300	0.3000	2.03	48.3	41.809
14	390	2020.9	325	0.3250	2.20	48.4	41.737
15	420	2020.9	350	0.3500	2.37	48.5	41.665
16	450	2020.9	375	0.3750	2.54	48.6	41.592
17	480	2020.9	400	0.4000	2.71	48.7	41.520
18	510	2020.9	425	0.4250	2.87	48.8	41.448
19	540	2020.9	450	0.4500	3.04	48.8	41.376
20	570	2020.9	475	0.4750	3.21	48.9	41.304
21	600	2020.9	500	0.5000	3.38	49.0	41.232
22	630	2020.9	525	0.5250	3.55	49.1	41.160
23	660	2020.9	550	0.5500	3.72	49.2	41.087
24	690	2020.9	575	0.5750	3.89	49.3	41.015
25	720	2020.9	600	0.6000	4.06	49.4	40.943
Ensayado por : D. Linares						Revisado por :	
Fecha : 04-Ago-21						Fecha : 00-Ene-00	



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	42.170
Deformación en la falla, %	4.058
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.338
Duración del ensayo, min	12.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	21.085

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. OIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares
Fecha : 04-Ago-21

Revisado por :
Fecha : 00-Ene-00



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

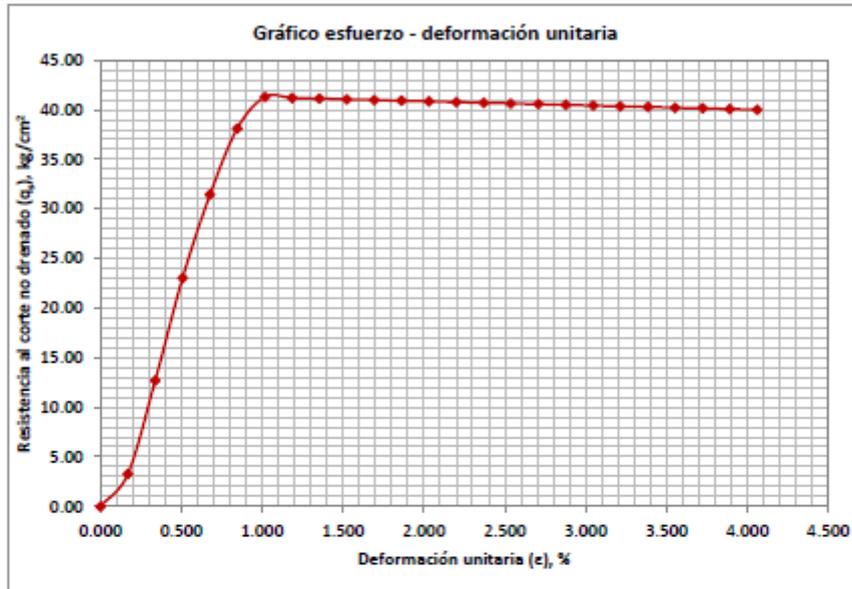
- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto : H - 824 Ubicación : ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco. Solicita : Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez Responsable : Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado							
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo : 6258 Fuente : 6% de cemento + 1% cloruro de sodio (M - 02) Profundidad, m : --- Fecha : Ago-21		Tipo de muestra : Remoldeada Clasificación SUCS : --- Clasificación AASHTO : ---					
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D_0), cm : 7.75 Área inicial (A_0), cm^2 : 47.22 Altura inicial (L_0), cm : 14.78 Volumen inicial (V_0), cm^3 : 697.75 Peso de la muestra (W), g : 1512.16		Gravedad específica (G_s) : 2.55 Densidad húmeda (γ_m), g/cm^3 : 2.17 Densidad seca (γ_d), g/cm^3 : 2.03 Contenido de agua (w), % : 6.9					
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, $mm \times 10^{-3}$	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm^2	Carga axial, kg/cm^2
1	0	0.0	0	0.0000	0.00	47.2	0.000
2	30	155.2	25	0.0250	0.17	47.3	3.281
3	60	602.5	50	0.0500	0.34	47.4	12.716
4	90	1093.2	75	0.0750	0.51	47.5	23.033
5	120	1493.7	100	0.1000	0.68	47.5	31.418
6	150	1814.6	125	0.1250	0.85	47.6	38.102
7	180	1968.2	150	0.1500	1.02	47.7	41.257
8	210	1968.2	175	0.1750	1.18	47.8	41.186
9	240	1968.2	200	0.2000	1.35	47.9	41.116
10	270	1968.2	225	0.2250	1.52	48.0	41.045
11	300	1968.2	250	0.2500	1.69	48.0	40.975
12	330	1968.2	275	0.2750	1.86	48.1	40.904
13	360	1968.2	300	0.3000	2.03	48.2	40.834
14	390	1968.2	325	0.3250	2.20	48.3	40.763
15	420	1968.2	350	0.3500	2.37	48.4	40.693
16	450	1968.2	375	0.3750	2.54	48.5	40.622
17	480	1968.2	400	0.4000	2.71	48.5	40.552
18	510	1968.2	425	0.4250	2.88	48.6	40.481
19	540	1968.2	450	0.4500	3.05	48.7	40.411
20	570	1968.2	475	0.4750	3.21	48.8	40.340
21	600	1968.2	500	0.5000	3.38	48.9	40.270
22	630	1968.2	525	0.5250	3.55	49.0	40.199
23	660	1968.2	550	0.5500	3.72	49.0	40.129
24	690	1968.2	575	0.5750	3.89	49.1	40.058
25	720	1968.2	600	0.6000	4.06	49.2	39.988
Ensayado por : D. Linares		Revisado por :					
Fecha : 04-Ago-21		Fecha : 00-Ene-00					



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	41.257
Deformación en la falla, %	4.061
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.338
Duración del ensayo, min	12.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	20.628

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI S.A.C.

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 04-Ago-21	Fecha : 00-Ene-00

9. Suelo con 6% de cemento y 2% de cloruro de sodio



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto	: H - 824						
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.						
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez						
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado						
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo	: 6259	Tipo de muestra	: Remoldeada				
Fuente	: 6% de cemento + 2% cloruro de sodio (M - 01)	Clasificación SUCS	: ---				
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO	: ---				
Fecha	: Ago-21						
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.77	Gravedad específica (G _s)	: 2.55				
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.38	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³	: 2.21				
Altura inicial (L ₀), cm	: 14.56	Densidad seca (Y _d), g/cm ³	: 2.04				
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 689.76	Contenido de agua (w), %	: 8.2				
Peso de la muestra (W), g	: 1523.40						
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10 ⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm ²	Carga axial, kg/cm ²
1	0	0.0	0	0.0000	0.00	47.4	0.000
2	30	106.6	25	0.0250	0.17	47.5	2.246
3	60	573.7	50	0.0500	0.34	47.5	12.067
4	90	1163.2	75	0.0750	0.52	47.6	24.424
5	120	1494.0	100	0.1000	0.69	47.7	31.316
6	150	1498.0	125	0.1250	0.86	47.8	31.345
7	180	1498.0	150	0.1500	1.03	47.9	31.291
8	210	1498.0	175	0.1750	1.20	48.0	31.237
9	240	1498.0	200	0.2000	1.37	48.0	31.182
10	270	1498.0	225	0.2250	1.55	48.1	31.128
11	300	1498.0	250	0.2500	1.72	48.2	31.074
12	330	1498.0	275	0.2750	1.89	48.3	31.019
13	360	1498.0	300	0.3000	2.06	48.4	30.965
14	390	1498.0	325	0.3250	2.23	48.5	30.911
15	420	1498.0	350	0.3500	2.40	48.5	30.856
16	450	1498.0	375	0.3750	2.58	48.6	30.802
17	480	1498.0	400	0.4000	2.75	48.7	30.748
18	510	1498.0	425	0.4250	2.92	48.8	30.694
19	540	1498.0	450	0.4500	3.09	48.9	30.639
20	570	1498.0	475	0.4750	3.26	49.0	30.585
21	600	1498.0	500	0.5000	3.43	49.1	30.531
22	630	1498.0	525	0.5250	3.61	49.2	30.476
23	660	1498.0	550	0.5500	3.78	49.2	30.422
24	690	1498.0	575	0.5750	3.95	49.3	30.368
25	720	1498.0	600	0.6000	4.12	49.4	30.314
Ensayado por	: D. Linares			Revisado por	:		
Fecha	: 04-Ago-21			Fecha	: 00-Ene-00		

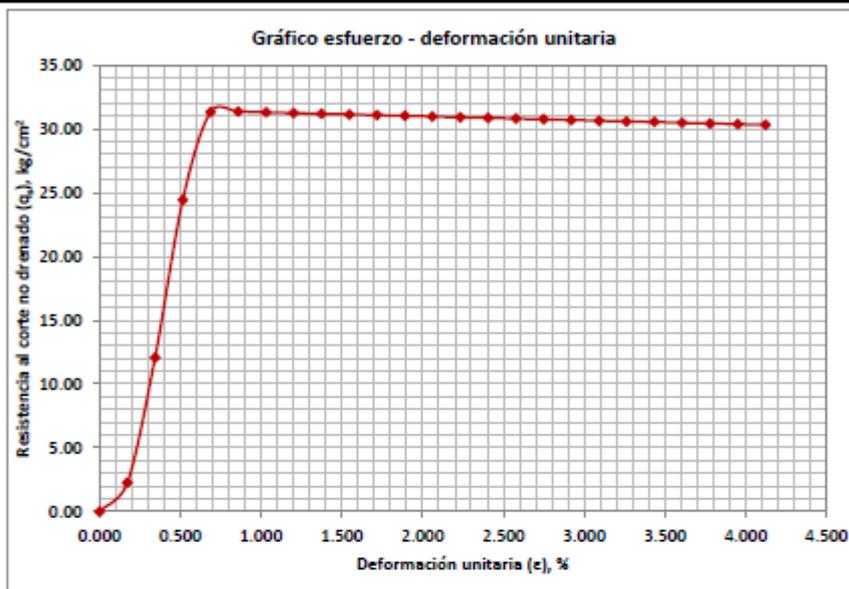


GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.

- LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -

- INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
Versión: 01	
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q_u), kg/cm ²	31.345
Deformación en la falla, %	4.121
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.343
Duración del ensayo, min	12.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c_u), kg/cm ²	15.673

Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
GEOCON SI SAC

Ing. Doris E. Alvarado y Linares
Reg. CIP N°: 29878
Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 04-Ago-21	Fecha : 00-Ene-00



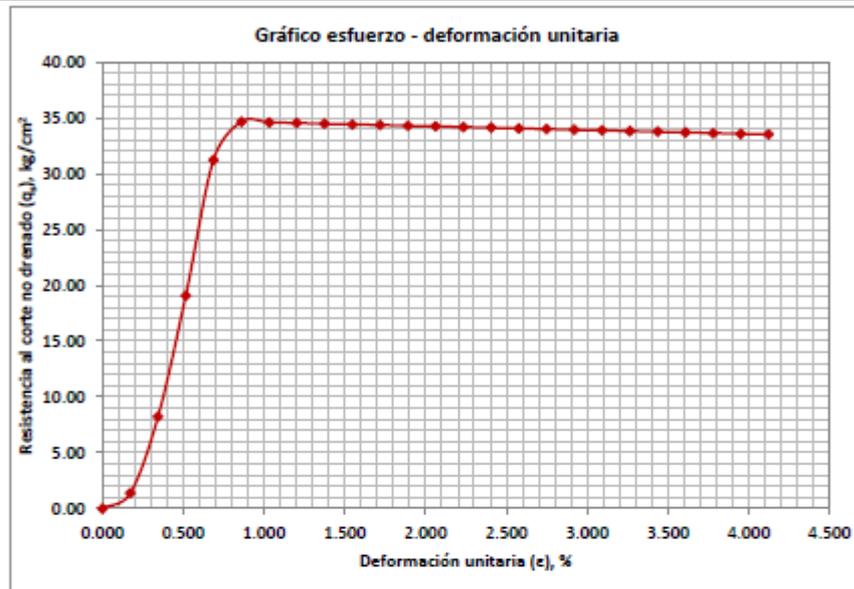
GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)		Sede: Huánuco					
		Código: SGC-HCO-INF-005					
		Versión: 01					
DATOS DEL PROYECTO							
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.							
Id. proyecto	: H - 824						
Ubicación	: ---, Distrito: ---, Provincia: Huánuco, Departamento: Huánuco.						
Solicita	: Bachiller en Ingeniería Civil Fernando Rodríguez						
Responsable	: Ing. Andrei G. Domínguez Alvarado						
DATOS DE LA MUESTRA							
Id. Ensayo	: 6260	Tipo de muestra : Remoldeada					
Fuente	: 6% de cemento + 2% cloruro de sodio (M - 02)	Clasificación SUCS : ---					
Profundidad, m	: ---	Clasificación AASHTO : ---					
Fecha	: Ago-21						
COMPRESIÓN NO CONFINADA							
Diámetro inicial (D ₀), cm	: 7.77	Gravedad específica (G _s) : 2.55					
Área inicial (A ₀), cm ²	: 47.44	Densidad húmeda (Y _m), g/cm ³ : 2.20					
Altura inicial (L ₀), cm	: 14.55	Densidad seca (Y _d), g/cm ³ : 2.04					
Volumen inicial (V ₀), cm ³	: 690.46	Contenido de agua (w), % : 8.2					
Peso de la muestra (W), g	: 1520.94						
Nº	Tiempo, seg.	Carga axial, kgf	Deformación axial, mm x 10⁻³	Deformación axial, mm	Deformación unitaria, %	Área corregida, cm²	Carga axial, kg/cm²
1	0	0.0	0	0.0000	0.00	47.4	0.000
2	30	65.2	25	0.0250	0.17	47.5	1.372
3	60	391.2	50	0.0500	0.34	47.6	8.218
4	90	909.3	75	0.0750	0.52	47.7	19.068
5	120	1492.1	100	0.1000	0.69	47.8	31.235
6	150	1658.3	125	0.1250	0.86	47.9	34.655
7	180	1658.3	150	0.1500	1.03	47.9	34.595
8	210	1658.3	175	0.1750	1.20	48.0	34.535
9	240	1658.3	200	0.2000	1.37	48.1	34.475
10	270	1658.3	225	0.2250	1.55	48.2	34.414
11	300	1658.3	250	0.2500	1.72	48.3	34.354
12	330	1658.3	275	0.2750	1.89	48.4	34.294
13	360	1658.3	300	0.3000	2.06	48.4	34.234
14	390	1658.3	325	0.3250	2.23	48.5	34.174
15	420	1658.3	350	0.3500	2.40	48.6	34.114
16	450	1658.3	375	0.3750	2.58	48.7	34.054
17	480	1658.3	400	0.4000	2.75	48.8	33.994
18	510	1658.3	425	0.4250	2.92	48.9	33.934
19	540	1658.3	450	0.4500	3.09	49.0	33.874
20	570	1658.3	475	0.4750	3.26	49.0	33.814
21	600	1658.3	500	0.5000	3.44	49.1	33.754
22	630	1658.3	525	0.5250	3.61	49.2	33.694
23	660	1658.3	550	0.5500	3.78	49.3	33.634
24	690	1658.3	575	0.5750	3.95	49.4	33.574
25	720	1658.3	600	0.6000	4.12	49.5	33.514
Ensayado por	: D. Linares	Revisado por	:				
Fecha	: 04-Ago-21	Fecha	: 00-Ene-00				



GEOCON SERVICIOS DE INGENIERIA S.A.C.
 - LABORATORIO DE MECÁNICA DE MATERIALES -
 - INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO -

MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA DE SUELOS COHESIVOS (NTP 339.167)	Sede: Huánuco
	Código: SGC-HCO-INF-005
	Versión: 01
DATOS DEL PROYECTO	
Tema de Tesis: Estabilización de Suelos con Cloruro de Magnesio Hexahidratado en la Carretera Departamental HU-108, Tramo: Aeropuerto - Conchumayo - Churubamba.	



Resistencia a la compresión no confinada (q _u), kg/cm ²	34.655
Deformación en la falla, %	4.123
Tasa de deformación unitaria, %/min	0.344
Duración del ensayo, min	12.00
Consistencia (Gonzales, 2006)	Dura
Cohesión no drenada (c _u), kg/cm ²	17.327


 Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales
 GEOCON SI SAC

 Ing. Doris E. Alvarado y Linares
 Reg. CIP N°: 29878
 Jefe de Laboratorio

Observaciones:

Ensayado por : D. Linares	Revisado por :
Fecha : 04-Ago-21	Fecha : 00-Ene-00