

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y
MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON
CENIZA DE CARBÓN PARA SU USO COMO
SUBRASANTE**

PRESENTADO POR:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT.

Línea de Investigación Institucional:

Transporte y Urbanismo.

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Huancayo – Perú

2022

Mg. Porras Olarte, Rando

Asesor

Dedicatoria

- A mi familia por el apoyo incondicional para culminar este proyecto de investigación.

Marlon Hubert Espinoza Carhuaricra.

Agradecimientos

- A la empresa de laboratorio de mecánica de suelos GeoSilver SAC por el apoyo en la ejecución de los ensayos.

Marlon Hubert Espinoza Carhuaricra.



UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

EL DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA DEJA:

CONSTANCIA N° 342

Que, el (la) bachiller: Bachilleres, Bachiller, **MARLON HUBERT, ESPINOZA CARHUARICRA**, de la Escuela Profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, presentó la tesis denominada **"VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS CON CENIZA DE CARBÓN PARA SU USO COMO SUBRASANTE"**, la misma que cuenta con **120 Páginas**, ha sido ingresada por el **SOFTWARE – TURNITIN FEEDBACK STUDIO** obteniendo el **24%** de similitud.

Se expide la presente constancia para los fines pertinentes.

Huancayo 08 de Noviembre del 2022



Dr. Santiago Zevallos Salinas
Director de la Unidad de Investigación

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera.
Presidente

Jurado

Jurado

Jurado

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA.
Secretario docente

Contenido

| | |
|--|-------------|
| Dedicatoria | iii |
| Agradecimientos | iv |
| Contenido | vii |
| Contenido de tablas | x |
| Contenido de figuras | xiii |
| Resumen | xiv |
| Abstract | xv |
| CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 16 |
| 1.1. Descripción de la realidad problemática | 16 |
| 1.2. Delimitación del problema | 17 |
| 1.2.1. Espacial | 17 |
| 1.2.2. Temporal | 17 |
| 1.2.3. Económica | 17 |
| 1.3. Formulación del problema | 18 |
| 1.3.1. Problema general | 18 |
| 1.3.2. Problemas específicos | 18 |
| 1.4. Justificación | 18 |
| 1.4.1. Social | 18 |
| 1.4.2. Metodológica | 18 |
| 1.5. Objetivos | 19 |
| 1.5.1. Objetivo general | 19 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 19 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO | 20 |
| 2.1. Antecedentes | 20 |
| 2.1.1. Nacionales | 20 |
| 2.1.2. Internacionales | 21 |
| 2.2. Base teóricas o científicas | 23 |
| 2.2.1. Ceniza de carbón | 23 |
| 2.2.2. Subrasante | 23 |
| 2.2.3. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) | 24 |
| 2.2.4. El suelo clasificado de acuerdo a la AASHTO | 25 |
| 2.2.5. Límite líquido | 25 |
| 2.2.6. Límite plástico | 26 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.7. Índice de plasticidad | 26 |
| 2.2.8. Compactación de suelos | 27 |
| 2.2.9. El índice de CBR | 27 |
| 2.3. Marco conceptual | 28 |
| CAPÍTULO III: HIPÓTESIS | 29 |
| 3.1. Hipótesis general | 29 |
| 3.2. Hipótesis específicas | 29 |
| 3.3. Variables | 29 |
| 3.3.1. Definición conceptual de las variables | 30 |
| 3.3.2. Operacionalización de las variables | 30 |
| CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA | 31 |
| 4.1. Método de investigación | 31 |
| 4.2. Tipo de investigación | 31 |
| 4.3. Nivel de investigación | 31 |
| 4.4. Diseño de investigación | 31 |
| 4.5. Población y muestra | 32 |
| 4.5.1. Población | 32 |
| 4.5.2. Muestra | 32 |
| 4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 32 |
| 4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos | 33 |
| CAPÍTULO V: RESULTADOS | 34 |
| 5.1. Descripción de resultados | 34 |
| 5.1.1. Granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 35 |
| 5.1.2. Consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 38 |
| 5.1.3. Partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 41 |
| 5.1.4. Compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 43 |
| 5.1.5. Capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 45 |
| 5.2. Contrastación de hipótesis | 47 |
| 5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “a” | 47 |
| 5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “b” | 49 |
| 5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “c” | 51 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “d” | 52 |
| 5.2.2. Contrastación de hipótesis específica “e” | 55 |
| CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 57 |
| 6.1. Granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 57 |
| 6.2. Consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para uso como subrasante | 58 |
| 6.3. Partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 59 |
| 6.4. Compactación de suelos arcilloso con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 59 |
| 6.5. Capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante | 60 |
| CONCLUSIONES | 62 |
| RECOMENDACIONES | 63 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| ANEXOS | 66 |
| Anexo N° 01: matriz de consistencia | 67 |
| Anexo N° 02: matriz de operacionalización de variables | 70 |
| Anexo N° 03: resumen de resultados obtenidos | 72 |
| Anexo N° 03: ensayos de laboratorio | 74 |
| Anexo N° 03.01: ceniza de carbón | 75 |
| Anexo N° 03.02: suelo patrón | 79 |
| Anexo N° 03.03: suelo más 25 % de ceniza de carbón | 85 |
| Anexo N° 03.04: suelo más 30 % de ceniza de carbón | 90 |
| Anexo N° 03.05: suelo más 35 % de ceniza de carbón | 96 |
| Anexo N° 04: certificados de calibración | 103 |
| Anexo N° 05: Panel fotográfico | 119 |

Contenido de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. La subrasante clasificada de acuerdo a su CBR. | 24 |
| Tabla 2. Clasificación de suelos según el SUCS. | 24 |
| Tabla 3. Clasificación de suelos según la AASHTO. | 25 |
| Tabla 4. Grados de expansión del suelo. | 27 |
| Tabla 5. Métodos para realizar el ensayo de Proctor modificado. | 27 |
| Tabla 6. Descripción del material patrón para la determinación del índice de CBR. | 28 |
| Tabla 7. Operacionalización de las variables de la investigación. | 30 |
| Tabla 8. Número de ensayos requeridos. | 32 |
| Tabla 9. Granulometría de la ceniza de carbón. | 34 |
| Tabla 10. Datos obtenidos respecto a la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 35 |
| Tabla 11. Estadística descriptiva de la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 36 |
| Tabla 12. Datos obtenidos respecto a la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 38 |
| Tabla 13. Estadística descriptiva de la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 39 |
| Tabla 14. Datos obtenidos respecto al polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 41 |
| Tabla 15. Estadística descriptiva del polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 42 |
| Tabla 16. Datos obtenidos respecto a la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 43 |
| Tabla 17. Estadística descriptiva de la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 43 |
| Tabla 18. Datos obtenidos respecto a la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 45 |
| Tabla 19. Estadística descriptiva de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 46 |
| Tabla 20. Prueba de normalidad de los datos de granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 47 |
| Tabla 21. Kruskal-Wallis para los datos de las gravas de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 48 |
| Tabla 22. ANOVA de un factor para los datos de las arenas y finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 48 |
| Tabla 23. Comparación de grupos respecto a las arenas y finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 48 |

| | |
|--|----|
| Tabla 24. Subconjuntos homogéneos respecto a las arenas de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 49 |
| Tabla 25. Subconjuntos homogéneos respecto a los finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 49 |
| Tabla 26. Prueba de normalidad de los datos de consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 49 |
| Tabla 27. ANOVA de un factor para los datos de consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 50 |
| Tabla 28. Comparación de grupos respecto a la consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 50 |
| Tabla 29. Subconjuntos homogéneos respecto al límite líquido de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 51 |
| Tabla 30. Subconjuntos homogéneos respecto al límite plástico de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 51 |
| Tabla 31. Subconjuntos homogéneos respecto al índice de plasticidad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 51 |
| Tabla 32. Prueba de normalidad de los datos de polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 51 |
| Tabla 33. ANOVA de un factor para los datos de polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 52 |
| Tabla 34. Comparación de grupos respecto al polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 52 |
| Tabla 35. Subconjuntos homogéneos respecto al polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 52 |
| Tabla 36. Prueba de normalidad de los datos de compactación de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 53 |
| Tabla 37. Kruskal-Wallis para los datos de la máxima densidad seca de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 53 |
| Tabla 38. ANOVA de un factor para los datos del óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 53 |
| Tabla 39. Comparación de grupos respecto a la máxima densidad seca de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 54 |
| Tabla 40. Comparación de grupos respecto al óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 54 |
| Tabla 41. Subconjuntos homogéneos respecto al óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 54 |
| Tabla 42. Prueba de normalidad de los datos de capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 55 |
| Tabla 43. ANOVA de un factor para los datos de capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 55 |

| | |
|---|----|
| Tabla 44. Comparación de grupos respecto al capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 56 |
| Tabla 45. Subconjuntos homogéneos respecto al CBR al 95 % de la MDS de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 56 |
| Tabla 46. Subconjuntos homogéneos respecto al CBR al 100 % de la MDS de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante. | 56 |
| Tabla 47. Operacionalización de las variables. | 71 |
| Tabla 48. Resumen de datos obtenidos en laboratorio. | 73 |

Contenido de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Vista de la calicata para el desarrollo de la investigación. | 17 |
| Figura 2. Granulometría de la ceniza de carbón. | 35 |
| Figura 3. Variación de las gravas en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 36 |
| Figura 4. Variación de las arenas en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 37 |
| Figura 5. Variación de los finos en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 37 |
| Figura 6. Variación de la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón. | 38 |
| Figura 7. Variación del límite líquido en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 39 |
| Figura 8. Variación del límite plástico en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 40 |
| Figura 9. Variación del índice de plasticidad en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 40 |
| Figura 10. Variación de la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón. | 41 |
| Figura 11. Variación del polvo de arena en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 42 |
| Figura 12. Variación del polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón. | 42 |
| Figura 13. Variación de la máxima densidad seca en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 44 |
| Figura 14. Variación del óptimo contenido de humedad en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 44 |
| Figura 15. Variación de la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón. | 45 |
| Figura 16. Variación del CBR al 95 % de la MDS en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 46 |
| Figura 17. Variación del CBR al 100 % de la MDS en los suelos arcillosos con ceniza de carbón. | 46 |
| Figura 18. Variación de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón. | 47 |

Resumen

Esta investigación estableció al problema general: ¿Cómo varía las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante?, como objetivo general: Evaluar la variación de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante y la hipótesis general que se contrastó fue: Las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón mejoran para su uso como subrasante.

El método de investigación fue el científico, el tipo estuvo representado por el aplicado, el nivel fue explicativo y el diseño de la investigación correspondió al experimental. La población correspondió al suelo existente de la subrasante del Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales, en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo en el departamento de Junín; mientras que, la muestra fue 300 kg de suelo obtenido por medio de una calicata para la ejecución de cada uno de los ensayos.

Palabras clave: suelos arcillosos, ceniza de carbón, consistencia, equivalente de arena, compactación, granulometría, CBR.

Abstract

This research set the general problem: How does the physical and mechanical properties of clayey soils with coal ash vary for use as a subgrade? as the general objective: To evaluate the variation of physical and mechanical properties of clayey soils with coal ash for use as subgrade and the general hypothesis that was contrasted was: The physical and mechanical properties of clayey soils with coal ash improve for use as subgrade.

The research method was scientific, the type was represented by applied, the level was explanatory and the research design was experimental. The population corresponded to the existing soil of the subgrade of Jr. Trujillo between Jr. Panama and Jr. Minerales, in the district of El Tambo, province of Huancayo in the department of Junín; while, the sample was 300 kg of soil obtained by means of a test pit for the execution of each one of the tests.

Key words: clayey soils, coal ash, consistency, sand equivalent, compaction, granulometry, CBR.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel mundial las vías son parte fundamental para el desarrollo de las poblaciones; sin embargo, muchas de ellas requieren mejorar el suelo sobre las que se construye, lo cual trae consigo la necesidad de buscar métodos de estabilización que sean efectivos y económicos (Medina, 2020).

Por ejemplo, en Colombia se presenta gran diversidad de suelos que presentan características físicas y mecánicas muy variables, como baja resistencia, deformabilidad y expansividad, ocasionando problemas durante su construcción y en la estructura final de los pavimentos, pues al ser arcillosos y entrar en contacto con el agua (por la variabilidad climática) tienden a expandirse, mientras que al carecer de humedad, proceden a contraerse formando micro relieves de forma irregular ocasionando daños en las infraestructuras viales (Ariza, Rojas y Romero, 2016).

En el Perú, al igual que en otros lugares, el suelo debe presentar óptimas condiciones para resistir las cargas transmitidas por la superficie de rodadura; no obstante, la baja capacidad de soporte y su inestabilidad, requiere el uso de alternativas de solución como el reemplazo de los suelos, que en la mayoría de casos genera altos costos. Es así que, surge otra opción como la estabilización con productos adicionados como las cenizas de carbón, que según estudios realizados en Ecuador y Colombia, presentaron resultados óptimos, además de impactar en menor cuantía al medio ambiente como se haría al extraer material de canteras o ríos para la estabilización del suelo (Goñas, 2019; Ramos y Lozano, 2019).

Se ha observado que, el distrito de El Tambo, cuenta con vías que en la mayoría de casos se encuentran a nivel de subrasante sin prever su comportamiento de acuerdo a sus características físicas y mecánicas, por ello se buscó con la ejecución de esta investigación, mejorar tales características por medio de la adición de cenizas de carbón, para lo cual se ha optado por evaluar el suelo de subrasante del Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y Jr. Minerales, donde a nivel de laboratorio se añadió ceniza de carbón en 25 %, 30 % y 35 % de acuerdo con el peso seco del suelo, con el propósito de encontrar un porcentaje óptimo que cumpla con el CBR mínimo que establece el

Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014), asegurando de esta manera el buen comportamiento de la vía.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Espacial

La investigación se desarrolló en un laboratorio de mecánica de suelos; sin embargo, se extrajo suelo de subrasante para ser estabilizado en el Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales, del distrito de El Tambo en la provincia de Huancayo - Junín.

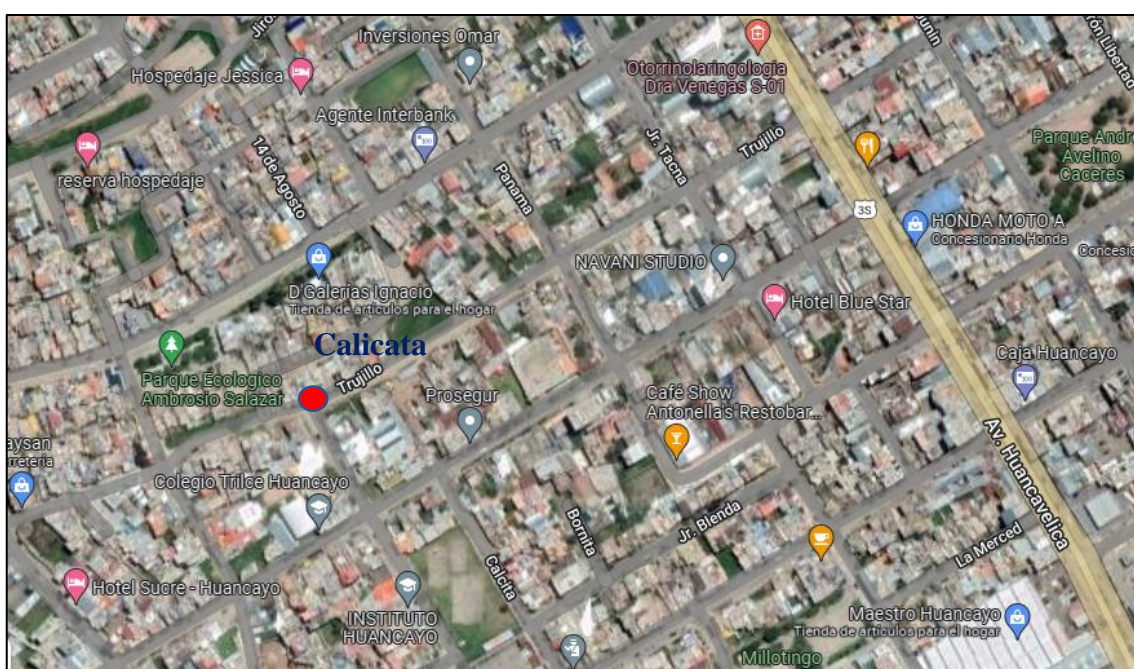


Figura 1. Vista de la calicata para el desarrollo de la investigación.

Fuente: Google Maps (2021).

1.2.2. Temporal

Se consideró como periodo de ejecución de esta investigación desde el mes de marzo a diciembre del 2021, hasta enero a junio del 2022.

1.2.3. Económica

Respecto al aspecto económico, es dable mencionar que el costo de toda la investigación fue asumido por el investigador, sin recibir ningún tipo de financiamiento particular ni de las empresas interesadas en el desarrollo de esta tesis.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo varía las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo se modifica la granulometría de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?
- b) ¿Cuál es la variación de la consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?
- c) ¿Cómo se modifica las partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?
- d) ¿Cuál es la variación de la compactación de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?
- e) ¿Cómo se modifica la capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?

1.4. Justificación

1.4.1. Social

Esta justificación recae en proponer a la ceniza de carbón como estabilizador para solucionar el problema que presentan los suelos arcillosos, debido a que sus deficientes propiedades físicas y mecánicas no cumplen lo mínimo requerido para actuar como subrasante; por lo que su uso beneficiará a la población que reside y transita de manera constante por el Jr. Trujillo en el distrito de El Tambo.

1.4.2. Metodológica

La justificación metodológica de esta investigación se da porque se propone un estabilizador de suelos arcillosos como es la ceniza de carbón, además de demostrar su factibilidad. En el desarrollo de la investigación se ha demostrado y desarrollado una metodología con la cual se puede

determinar la mejor dosificación de ceniza de carbón en el suelo, que nuevos investigadores podrán aplicar para profundizar el conocimiento científico.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar la variación de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Establecer la modificación de la granulometría de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.
- b) Determinar la variación de la consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.
- c) Establecer la modificación de las partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.
- d) Determinar la variación de la compactación de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.
- e) Establecer la modificación de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Medina (2020) ejecutó la tesis “Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabaylo, Lima 2019”, para ello estableció como objetivo determinar el efecto en las propiedades mecánicas del suelo de subrasante la adición de aserrín y ceniza de carbón. Extrajo el suelo de subrasante por medio de una calicata de 1.50 m de profundidad, que representó un tipo SC (arena arcillosa) o A-4 (0), posteriormente realizó los ensayos de Proctor modificado y CBR tanto al suelo en estado natural y adicionando aserrín en 6 % y 8 %, ceniza de carbón en 20 % y 25 %, 4 % de ceniza de carbón+ 15 % de aserrín y 6 % de ceniza de carbón + 20 % de aserrín. Como resultados para el suelo con aserrín obtuvo un incremento del óptimo contenido de humedad trayendo consigo la reducción de la máxima densidad seca y el CBR, en cuanto al suelo con ceniza de carbón obtuvo el incremento del óptimo contenido de humedad, máxima densidad seca y CBR, lo mismo para el suelo donde se añadió la ceniza y el aserrín conjuntamente. Por lo tanto, concluyó que, el uso de aserrín no es viable para estabilización del suelo de subrasante, sin embargo, al utilizar 25 % de ceniza de carbón se logra elevar el CBR de 18.1 % a 26.6 %.

Goñas (2019) realizó la investigación “Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada”, considerando como

objetivo evaluar la influencia del subproducto que se obtiene de la quema del carbón mineral y vegetal en las propiedades mecánicas del suelo. Para lo cual tomó muestras de dos calles a las cuales sometió a ensayos de humedad natural, límite de consistencia, granulometría, Proctor estándar y CBR, consecuentemente añadió al suelo cenizas de carbón en 15 %, 20 % y 25 % para realizar ensayos de límites de consistencia, Proctor estándar y CBR. Como resultados obtuvo que, el suelo estudiado correspondió a un CH y OH, en cuanto al límite líquido y límite plástico encontró incrementos, por lo que el índice de plasticidad se ve reducido, en relación al Proctor estándar, encontró que tanto el óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca se incrementan para ambos tipos de suelo, finalmente, en todas las combinaciones de suelo que realizó encontró el incremento del CBR. Por lo tanto, concluyó que, las cenizas de carbón mejoran las propiedades mecánicas de los suelos tipo CH y OH, considerando el porcentaje óptimo de 25 %, sin embargo, esos incrementos no alcanzaron lo mínimo requerido en cuanto al CBR para actuar como subrasante.

Vásquez (2018) desarrolló la investigación “Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la vía Cascajal con adición de carbón y cal a nivel de sub rasante”, cuyo objetivo radicó en evaluar el efecto del carbón mineral y la cal en las propiedades físicas y mecánicas de un suelo limoso para subrasante. Para ello, consideró 7 % de carbón mineral y 4 % de cal en relación al peso seco del suelo de tipo ML (limo de baja plasticidad) o A-4 de tres calicatas, posteriormente, realizó ensayos de CBR. Los resultados a los que llegó demostraron el incremento del CBR, para la calicata uno, pasando de 16.2 % a 29 %, en la calicata dos se incrementó de 15.4 % a 35.3 % y en la calicata tres de 14 % a 32.2 %. Finalmente, concluye que, el adicionar 7 % de carbón y 4 % de cal a un suelo de tipo limoso incrementa su capacidad de soporte.

2.1.2. Internacionales

Ramos y Lozano (2019) realizaron la investigación “Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos”, considerando como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con la adición de ceniza de carbón

en comparación con la cal. Para el cumplimiento de tal objetivo, en primera instancia determinaron la compactación mediante el Proctor estándar de un suelo tipo caolín, la consolidación unidimensional y su estabilización mediante las pruebas de compresión inconfiada y corte directo; en segundo lugar, consideraron adicionar ceniza de carbón y cal por separado en 40 %, 20 % y 10 %. Como resultados encontraron que la máxima densidad seca se redujo en todos los casos, donde al emplear 40 % de ceniza de carbón se dio la mayor reducción, en cuanto al óptimo contenido de humedad, en todos los casos se incrementó, resaltando que en el suelo con 10 % de cal se presentó el mayor crecimiento, el esfuerzo según el ensayo de compresión inconfiada, demostró que en los suelos con cal se presentaron reducciones, más en los suelos donde se añadió ceniza de carbón se mostraron incrementos, resaltando con 40 % de ceniza el mayor valor, finalmente, en cuanto al ángulo de fricción y cohesión según el ensayo de corte directo, obtuvieron que el ángulo de fricción se redujo con el uso de la cal a excepción del 10 %, al igual que con la adición de ceniza de carbón, en cuanto a la cohesión, en todos los casos a excepción de 10 % de ceniza de carbón se presentaron incrementos. Concluyen entonces que, con 40 % de ceniza de carbón se logra estabilizar el suelo, además de obtener mejores resultados en comparación de utilizar 10 % de cal, tanto técnica y económicamente.

Wang, Li, Cheng, & Bai (2018) desarrollaron la investigación “Efectos del carbón-metacaolín en las propiedades del suelo arenoso cementado y sus mecanismos”, considerando como objetivo evaluar los efectos del carbón-metacaolín (CMK) sobre las propiedades mecánicas y microestructurales del suelo arenoso cementado. Para ello consideraron cinco mezclas, la primera de suelo natural + 15 % de cemento, la segunda de suelo + 13 % de cemento + 2 % de carbón, la tercera de suelo + 12 % de cemento + 3 % de carbón, la cuarta de suelo + 11 % de cemento + 4 % de carbón y la quinta de suelo + 10 % de cemento + 5 % de carbón; asimismo, evaluaron las propiedades mecánicas mediante la resistencia a la compresión no confinada (UCS) y las relaciones tensión-deformación. Como resultados obtuvieron que, mediante la incorporación de CMK, la UCS de 28 días se mejoró en 1.68 – 2.18 veces y la deformación última se redujo entre 1.63 – 1.75 %. Concluyen que, el

CMK puede acelerar la hidratación del cemento, refinar la estructura de los poros y mejorar la zona interfacial entre las partículas del suelo y el aglutinante, debido a su naturaleza puzolánica y al fino tamaño de las partículas.

Cañar (2017) realizó la investigación “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”, donde el objetivo fue evaluar la capacidad de soporte y resistencia al corte de dos tipos de suelo (SM y CH) por la adición de cenizas de carbón. Para ello, consideró tres dosificaciones 20 %, 23 % y 25 % de cenizas de carbón en el suelo, que posteriormente fueron sometidos a ensayos de compresión no confinada y de resistencia al corte. Como resultados obtuvo que, el suelo tipo SM incrementó el CBR de 15.60 % a 19.60 % con 25 % de ceniza de carbón, el suelo tipo CH también incrementó su CBR de 9.30 % a 10.90 % con 25 % de ceniza, el mismo comportamiento se presentó en relación a la resistencia al corte de los suelos. Concluyó que, con 25 % de ceniza de carbón se logra incrementar el CBR del suelo en hasta 4.6 % y respecto a la resistencia al corte también se mejora entre 15 % a 19.60 %, lo cual hace viable la utilización de tales tipos de suelo en subrasante.

2.2. Base teóricas o científicas

2.2.1. Ceniza de carbón

Son semejantes a conglomerantes puzolánicos, pueden encontrarse como granos finos conformados por silicatos, aluminios, cal u otros óxidos que permiten esa reacción puzolánica con el suelo arcilloso reduciendo así la expansión de la misma y el incremento de la capacidad de soporte, con un concentración mínima de 25 % (Ramos y Lozano, 2019).

2.2.2. Subrasante

Es aquel terreno que será capaz de soportar toda la estructura del pavimento, se ubica a determina profundidad haciendo que las cargas del tránsito no le afecten (Coronado, 2002). En consecuencia la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** categoriza al suelo en concordancia con el CBR que presenta:

Tabla 1. La subrasante clasificada de acuerdo a su CBR.

| Categoría | CBR |
|-----------------------------|----------------------------|
| S0: subrasante inadecuada | CBR < 3 % |
| s1: subrasante insuficiente | De CBR ≥ 3 % a CBR < 6 % |
| S2: subrasante regular | De CBR ≥ 6 % a CBR < 10 % |
| S3: subrasante buena | De CBR ≥ 10 % a CBR < 20 % |
| S4: subrasante muy buena | De CBR ≥ 20 % a CBR < 30 % |
| S5: sub rasante excelente | CBR ≥ 30 % |

Fuente: Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos (MTC, 2014).

2.2.3. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Rodríguez (2019) menciona que la clasificación SUCS es aporte de Arthur Casagrande, donde es necesario considerar ciertas propiedades del suelo para que este sea clasificado:

- La curva de distribución granulométrica, con el fin de la obtención del coeficiente de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

- Los coeficientes A, B y C que vienen a ser los porcentajes de gravas, arenas y finos, según:

$$A = \text{Porcentaje de grava} = 100 - \% \text{ pasa } N^\circ 04$$

$$B = \text{Porcentaje de arena} = \% \text{ pasa } N^\circ 04 - \% \text{ pasa } N^\circ 200$$

$$C = \text{Porcentaje de finos} = \% \text{ que pasa el tamiz } N^\circ 200$$

Por otro lado, dentro de la clasificación SUCS se tiene los siguientes:

Tabla 2. Clasificación de suelos según el SUCS.

| Tipo de suelo | | Descripción | |
|--|------------------|-------------|--|
| Gravas | Gravas limpias | GW | Gravas bien gradadas, mezclas gravosas. |
| | | GP | Gravas pobremente gradadas, mezclas grava - arena. |
| | Gravas con finos | GM | Gravas limosas, mezclas grava - arena - limo. |
| | | GC | Gravas arcillosas, mezclas grava - arenoso - arcillosas. |
| Arenas | Arenas limpias | SW | Arenas bien gradadas, arenas gravosas. |
| | | SP | Arenas pobremente gradadas, arenas gravosas. |
| | Arenas con finos | SM | Arenas limosas, mezclas arena - limo. |
| | | SC | Arenas arcillosas, mezclas arena - arcilla. |
| Limos y arcillas (límite líquido < 50 %) | | ML | Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo roca. |
| | | CL | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas. |
| | | OL | Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad. |
| Limos y arcillas (límite líquido > 50 %) | | MH | Limos orgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos, suelos elásticos. |
| | | CH | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas. |
| | | OH | Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos. |

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. Suelos y cimentaciones (Rodríguez, 2019).

2.2.4. El suelo clasificado de acuerdo a la AASHTO

Esta clasificación se adoptó de la AASHTO que según sus letras en inglés corresponde a la American Association of State Highway Officials, cuya empleabilidad es para terraplenes y subrasante de las vías (Duque y Escobar, 2002).

Tabla 3. Clasificación de suelos según la AASHTO.

| Suelos granulares (35 % o menos pasa el tamiz N° 200) | | Suelos finos (más del 35 % pasa el tamiz N° 200) | |
|---|---|--|---------------------------------|
| A - 1 | Menos del 20 % pasa el tamiz N° 200 y menos del 50 % pasa el tamiz N° 40, cuando el pasante en el tamiz N° 40 presenta IP menor a 6 % | A - 4 | IP ≤ 10 % (limo) y LL ≤ 40 % |
| A - 2 | Menos del 35 % pasa el tamiz N° 200 (limo o arcilloso) y el suelo no cumple con A - 1 ni A - 3. | A - 5 | IP ≤ 10 % (limo) y LL ≥ 41 % |
| A - 3 | Menos del 10 % para el tamiz N° 200 y el 51 % o más pasa el tamiz N° 40, pero si el pasante del tamiz N° 40 no es plástico. | A - 6 | IP ≥ 11 % (arcilla) y LL ≤ 40 % |
| | | A - 7 | IP ≥ 11 % (arcilla) y LL ≥ 41 % |

Fuente: Mecánica de suelos (Duque y Escobar, 2002).

2.2.5. Límite líquido

Se obtiene de acuerdo al ensayo donde se emplea la Copa de Casagrande, donde es la humedad que hace que el suelo se encuentre en un estado plástico (Rodríguez, 2019).

En la NTP 339.129 se tiene cada uno de los pasos a seguir para la realización del ensayo, buscando la humedad del suelo que trae consigo que después de 25 veces de caer la copa con una altura de 1 cm genere el surco separador de las mitades de la pasta se cierre con una distancia de ½” (13 mm) (MTC, 2016).

Desarrollado el método de multipunto para obtener el límite líquido, se sigue la siguiente fórmula:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde, “N” representa al número de golpes necesarios para cerrar la ranura para el contenido de humedad y “Wⁿ” viene a ser el contenido de humedad del suelo, expresando en %.

2.2.6. Límite plástico

Cuando el suelo empieza a endurecerse y se posiciona en un estado semi sólido, se dice que el suelo tiene un comportamiento plástico, entonces el contenido de humedad existente viene a ser el límite plástico (Rodríguez, 2019).

Como parte del ensayo consta en realizar rollitos de suelo de diámetro de 1/8” (3.2 mm) en una superficie lisa evitando que se desmorone, buscando con ello la humedad que se expresa en % (MTC, 2016), tal como se detalla en la siguiente fórmula:

$$\text{Límite plástico} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

2.2.7. Índice de plasticidad

En concordancia con lo mencionado por Rodríguez (2019) el índice de plasticidad viene a representar el potencial para que el suelo se expanda, donde su obtención se da al restar el límite líquido y el límite plástico:

$$IP = LL - LP$$

A continuación se detalla los grados de expansión del suelo en relación a su índice de plasticidad:

Tabla 4. Grados de expansión del suelo.

| Grado de expansión | Índice de plasticidad (%) | Límite de contracción (%) | Probable expansión (%) |
|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| Muy alto | > 35 | < 11 | > 30 |
| Alto | 25 a 41 | 07-12 | 20 - 30 |
| Medio | 15 a 28 | 10-16 | 10-20 |
| Bajo | < 18 | > 15 | < 10 |

Fuente: Fundamentos de ingeniería geotécnica. Suelos y cimentaciones (Rodríguez, 2019).

2.2.8. Compactación de suelos

El ensayo para su determinación es el de Proctor modificado, cuyos lineamientos se encuentran detallados en la NTP 339.142; de acuerdo a la granulometría del suelo puede seleccionarse el método A, B o C, donde el fin es relacionar el contenido de agua que se conoce como contenido óptimo de humedad con el peso del suelo que es la máxima densidad seca, para ello se hace uso de curvas de compactación (MTC, 2016).

A continuación se describe los requerimientos para el desarrollo del ensayo de Proctor modificado en cada uno de los métodos:

Tabla 5. Métodos para realizar el ensayo de Proctor modificado.

| Requerimientos | Método A | Método B | Método C |
|-----------------------|---|--|--|
| Molde | 101.6 mm de diámetro. | 101.6 mm de diámetro. | 101.6 mm de diámetro. |
| Material | Pasante del tamiz de 4.75 mm. | Pasante del tamiz de 9.5 mm. | Pasante del tamiz de 19 mm. |
| Número de capas | 5 | 5 | 5 |
| Golpes por capa | 25 | 25 | 56 |
| Uso | Cuando el 20 % o menos del peso del material pasa el tamiz de 4.75 mm. | Cuando más del 20 % o menos del peso del material pasa el tamiz de 4.75 mm y 20 % o menos es retenido en el tamiz de 9.5 mm. | Cuando más del 20 % o menos del peso del material pasa el tamiz de 9.5 mm y menos del 30 % es retenido en el tamiz de 19 mm. |
| Otros usos | Si el método no es especificado, los materiales que cumplen lo mencionado puede realizarse el método B o C. | Si el método no es especificado y los materiales cumplen lo mencionado puede realizarse el método C. | |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016).

2.2.9. El índice de CBR

La ejecución del ensayo se rige con la NTP 339.175 y la norma estadounidense ASTM D 1883. El objetivo del ensayo es encontrar el parámetro mecánico denominado CBR, ya sea en campo o en laboratorio, que

es empleado en el diseño de pavimentos en sus diferentes categorías (Rondón y Reyes, 2015).

La norma del MTC (2016) menciona que, el índice de CBR es el valor numérico de relacionar el soporte del suelo a diferentes presiones, 0.1” o 0.2”, con la resistencia a penetración de un material patrón cuyas características son especificadas en la siguiente tabla:

Tabla 6. Descripción del material patrón para la determinación del índice de CBR.

| Penetración | | Presión | | |
|-------------|----------|-------------------|---------------------|---------------------|
| mm | Pulgadas | MN/m ² | kgf/cm ² | lb/plg ² |
| 2.54 | 0.1 | 6.9 | 70.31 | 1 |
| 5.08 | 0.2 | 10.35 | 105.46 | 1.5 |

Fuente: Manual de ensayo de materiales (MTC, 2016).

2.3. Marco conceptual

Contenido de humedad. – Al relacionar el peso del agua que es contenida en el suelo con el peso de los sólidos, es posible la determinación del contenido de humedad (Rodríguez, 2019).

Compactación. – Es la reducción del volumen de los vacíos en diversos materiales como morteros, concretos en estado fresco, mezclas asfálticas o suelos, con la aplicación de procedimientos mecánicos o manuales (MTC, 2018).

Muestreo. – Para la interpretación correcta de la cada uno de los resultados en los ensayos de laboratorio, se aplica el muestreo (MTC, 2018).

Peso volumétrico. – Corresponde a determinado peso del suelo que es contenido en una unidad de volumen (Crespo, 2004).

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis general

Las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón mejoran para su uso como subrasante.

3.2. Hipótesis específicas

- a) La granulometría de los suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón varía para su uso como subrasante.
- b) La consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón mejora para su uso como subrasante.
- c) El contenido de partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % ceniza de carbón se incrementa para su uso como subrasante.
- d) La compactación de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón mejora para su uso como subrasante.
- e) La capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón se incrementa para su uso como subrasante.

3.3. Variables

A continuación se procedió a definir operacionalmente tanto a la variable independiente que viene a ser la ceniza de carbón y a la variable dependiente que fue las propiedades físicas y mecánicas del suelo:

3.3.1. Definición conceptual de las variables

La definición conceptual de las variables es:

- **Variable independiente (X): ceniza de carbón.** - Son semejantes a conglomerantes puzolánicos, pueden encontrarse como granos finos conformados por silicatos, aluminios, cal u otros óxidos que permiten esa reacción puzolánica con el suelo arcilloso reduciendo así la expansión de la misma y el incremento de la capacidad de soporte, con un concentración mínima de 25 % (Ramos y Lozano, 2019).
- **Variable dependiente (Y): propiedades físicas y mecánicas del suelo.** – Como propiedades físicas se consideró a la consistencia del suelo y al contenido de partículas finas o polvo de arena; como propiedades mecánicas se consideró a la compactación y capacidad de soporte del suelo.

3.3.2. Operacionalización de las variables

En la siguiente tabla se detalló la operacionalización de las variables seleccionadas en el desarrollo de la investigación, siendo estas la ceniza de carbón, además de las propiedades tanto físicas y mecánicas del suelo.

Tabla 7. Operacionalización de las variables de la investigación.

| Variable | Dimensiones | Indicadores | Unidad |
|---|-----------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Variable independiente (X): ceniza de carbón | Ceniza de carbón | Cantidad de ceniza de carbón | % |
| Variable dependiente (Y): propiedades físicas y mecánicas del suelo | Granulometría | Contenido de gravas | % |
| | | Contenido de arenas | % |
| | | Contenido de finos | % |
| | Consistencia | Límite líquido | % |
| | | Límite plástico | % |
| | | Índice de plasticidad | % |
| | Partículas finas o polvo de arena | Equivalente de arena | % |
| | Compactación | Máxima densidad seca | kg/m ³ |
| | | Óptimo contenido de humedad | % |
| Capacidad de soporte | Índice de CBR | % | |

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Método de investigación

La investigación se guio del método científico, basándose en cada uno de los pasos que establece desde el planteamiento del problema hasta el establecimiento de las conclusiones.

4.2. Tipo de investigación

Esta tesis se basó en un tipo aplicada; primero, porque se empleó lo establecido en la investigación básica y segundo porque se solucionó un problema real que aqueja a la sociedad, dado por la inestabilidad de los suelos arcillosos para subrasante.

4.3. Nivel de investigación

El desarrollo de la investigación se guío por lo especificado para un nivel explicativo, porque se buscó explicar cómo la adición de ceniza de carbón interviene en la estabilización de suelos arcillosos, específicamente en sus propiedades físicas y mecánicas.

4.4. Diseño de investigación

El diseño que se consideró para el desarrollo de la investigación estuvo delimitado por el experimental, donde se contó con grupos de comparación en los cuales se modificaron el contenido de ceniza de carbón y así de esta manera

determinar las variaciones por el tratamiento respecto a un grupo patrón, que fue el suelo sin adición de ceniza de carbón.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

La población fue el suelo existente de la subrasante en el Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales, perteneciente al distrito de El Tambo, provincia de Huancayo en el departamento de Junín.

4.5.2. Muestra

Para la determinación de la muestra se ha considerado el tipo de muestreo no probabilístico intencional, pues se extrajeron 300 kg de suelo de subrasante del Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales por medio de una calicata, para realizar los ensayos de la Tabla 8 considerando tres repeticiones en cada uno.

Tabla 8. Número de ensayos requeridos.

| Indicador | Suelo patrón | Suelo con ceniza de carbón | | |
|-----------------------------|--------------|----------------------------|-----|-----|
| | | 25% | 30% | 35% |
| Granulometría | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Límite líquido | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Límite plástico | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Índice de plasticidad | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Equivalente de arena | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Máxima densidad seca | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Óptimo contenido de humedad | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Índice de CBR | 3 | 3 | 3 | 3 |

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Durante el desarrollo de esta investigación se ha considerado como técnica a:

- Observación experimental, cuando se ejecutaron los ensayos y así determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos ensayados.

En cuanto al instrumento correspondió a una ficha de recolección de datos que fue empleado para anotar lo referente a los ensayos de granulometría, límites de consistencia, equivalente de arena, Proctor modificado y CBR.

4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de la información fue necesario el empleo de programas como Excel y SPSS con el fin de determinar tablas y gráficos que permitieron interpretar los datos.

Asimismo, debido que, esta investigación le correspondió un enfoque cuantitativo, se contó con datos numéricos los cuales fueron representados por medio de tablas y figuras, haciendo uso de la estadística descriptiva, como el promedio, desviación estándar y la variación porcentual. Adicionalmente, como parte de la investigación correspondió el análisis estadístico inferencial, para lo cual se realizó en primera instancia la prueba de normalidad por medio de Shapiro-Wilk, procediendo a emplear el ANOVA de un factor para la comparación de los grupos para los datos que cuentan con una distribución considerada como normal y el estadístico de Kruskal-Wallis cuando no es paramétrico.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Descripción de resultados

Para el desarrollo de la investigación se consideró un suelo tipo A – 4 cuyos índices de variaron entre 3 y 4, el mismo que fue estabilizado con ceniza de carbón con granulometría que se detalla en la Tabla 9, donde se encontró en promedio 1.20 % de gravas, 98.53 % de arenas y 0.27 % de finos.

Tabla 9. Granulometría de la ceniza de carbón.

| Tamiz | Abertura (mm) | Peso retenido (g) | Porcentaje retenido (%) | Porcentaje retenido acumulado (%) | Porcentaje que pasa (%) |
|--------|---------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 3" | 75.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 2" | 50.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2" | 37.50 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 1" | 25.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/4" | 19.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| 3/8" | 9.50 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| N° 4 | 4.75 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 |
| N° 10 | 2.00 | 215.00 | 22.4 | 22.4 | 77.6 |
| N° 20 | 0.85 | 325.00 | 33.9 | 56.4 | 43.6 |
| N° 40 | 0.43 | 215.00 | 22.4 | 78.8 | 21.2 |
| N° 60 | 0.25 | 102.00 | 10.6 | 89.5 | 10.5 |
| N° 100 | 0.15 | 85.00 | 8.9 | 98.3 | 1.7 |
| N° 200 | 0.08 | 11.00 | 1.1 | 99.5 | 0.5 |
| Pasa | | 5.00 | 0.5 | 100.0 | 0.0 |
| Total | | 958.00 | | 100.0 | 0.0 |

Asimismo, en la siguiente figura se observa la representación gráfica de la granulometría de la ceniza de carbón en función de la abertura de las mallas y el porcentaje que pasa:

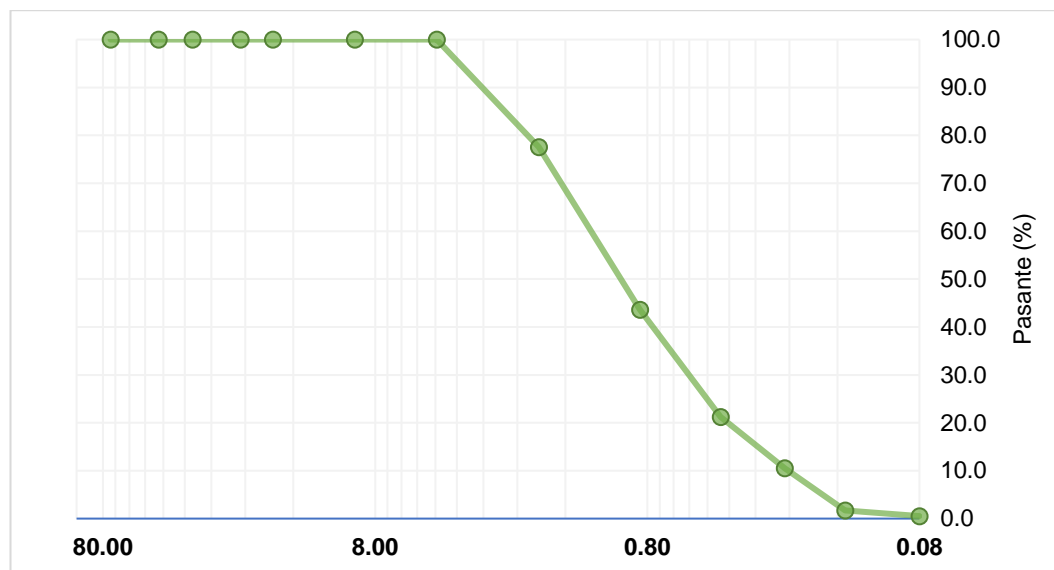


Figura 2. Granulometría de la ceniza de carbón.

Consecuentemente, se procedió a añadir 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón y determinar con ello los cambios en la granulometría, consistencia, partículas finas o polvo, compactación y capacidad de soporte, los cuales se proceden a detallar:

5.1.1. Granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

En cuanto a la granulometría se procedió a la evaluación tanto del contenido de gravas, arenas y finos, según es posible observar en la Tabla 10 en cuanto a los valores parciales con cada dosificación de ceniza de carbón y del suelo patrón:

Tabla 10. Datos obtenidos respecto a la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | Ceniza (%) | Gravas (%) | Arenas (%) | Finos (%) |
|--------------------|------------|------------|------------|-----------|
| Suelo patrón | 0.00 | 5.00 | 33.50 | 61.50 |
| | 0.00 | 5.30 | 33.00 | 61.70 |
| | 0.00 | 3.40 | 32.90 | 63.80 |
| Suelo + 25 % CC | 25.00 | 4.20 | 38.30 | 57.50 |
| | 25.00 | 4.20 | 38.30 | 57.40 |
| | 25.00 | 2.40 | 38.30 | 59.20 |
| Suelo + 30 % CC | 30.00 | 4.10 | 42.10 | 53.80 |
| | 30.00 | 4.10 | 41.90 | 53.90 |
| | 30.00 | 2.60 | 44.80 | 52.60 |
| Suelo + 35 % CC | 35.00 | 6.50 | 46.00 | 47.50 |
| | 35.00 | 10.80 | 41.30 | 47.90 |
| | 35.00 | 5.80 | 45.50 | 48.70 |

Consecuentemente, en la Tabla 11 se consigna la desviación estándar, el promedio aritmético y la variación porcentual en relación al suelo patrón de

cada uno de los valores obtenidos para el contenido de gravas, arenas y finos donde se añadió 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para el mejoramiento del suelo limo arcilloso.

Tabla 11. Estadística descriptiva de la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | | Ceniza (%) | Desviación estándar (%) | Promedio (%) | Variación (%) |
|--------|-----------------|------------|-------------------------|--------------|---------------|
| Gravas | Suelo patrón | 0.00 | 1.02 | 4.57 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 1.04 | 3.60 | -21.17 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.87 | 3.60 | -21.17 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 2.71 | 7.70 | 68.61 |
| Arenas | Suelo patrón | 0.00 | 0.32 | 33.13 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.00 | 38.30 | 15.59 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 1.62 | 42.93 | 29.58 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 2.58 | 44.27 | 33.60 |
| Finos | Suelo patrón | 0.00 | 1.27 | 62.33 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 1.01 | 58.03 | -6.90 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.72 | 53.43 | -14.28 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 0.61 | 48.03 | -22.94 |

De acuerdo a la Figura 3 se interpreta que con 25 % y 30 % de ceniza de carbón, se reduce el contenido de gravas en el suelo patrón, no obstante, con 35 % de ceniza de carbón se incrementó.

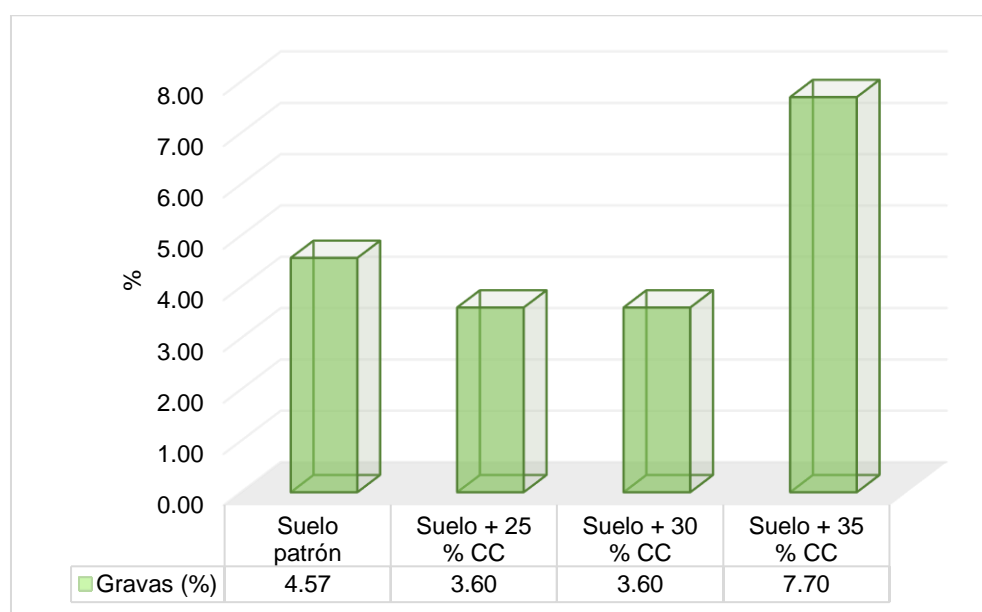


Figura 3. Variación de las gravas en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Del mismo modo, en la Figura 4 y Figura 5 se tiene lo relacionado a la variación del contenido de arenas y finos, de lo cual se interpreta que a medida que se adiciona la ceniza de carbón (25 %, 30 % y 35 %) se incrementa en contenido de arenas en el suelo; mientras que, los finos tienden a reducirse.

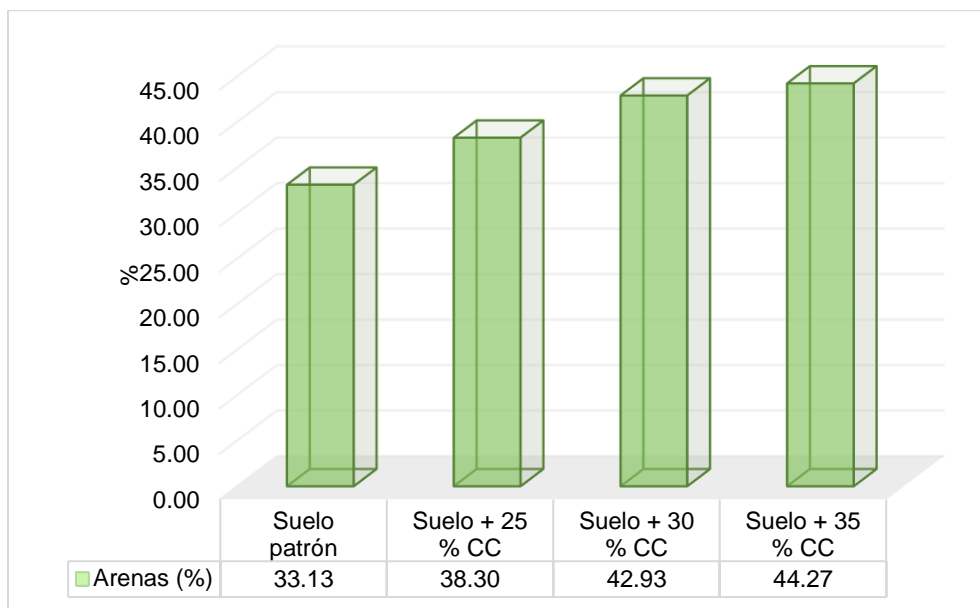


Figura 4. Variación de las arenas en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

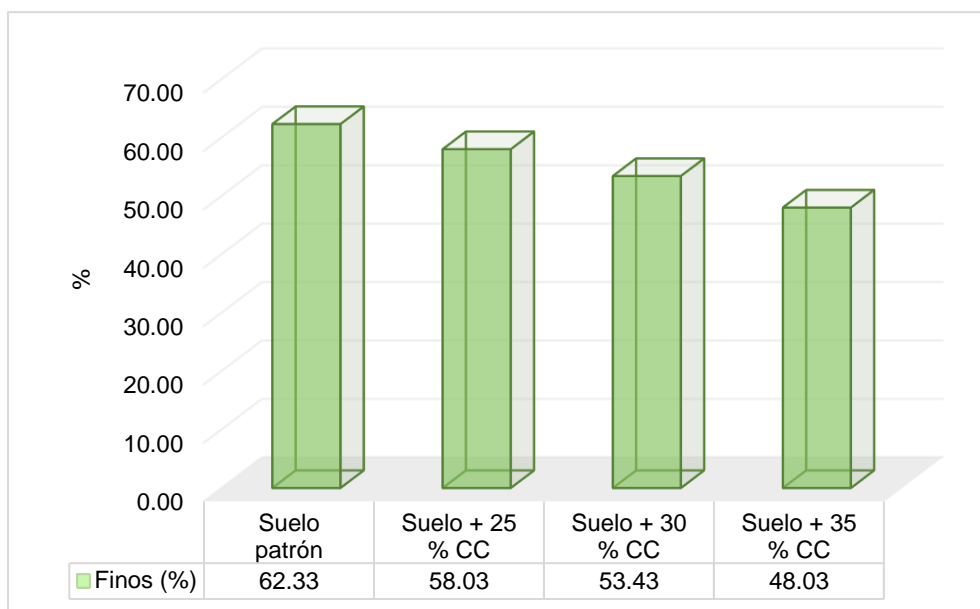


Figura 5. Variación de los finos en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Es posible observar que en la Figura 6 se consignó la variación en porcentaje del contenido de gravas, arenas y finos en los suelos adicionando ceniza de carbón en relación del suelo natural (patrón), donde se deduce que, se incrementan las arenas y se reducen los finos, al igual que las gravas solo hasta 25 % y 30 %, para luego incrementarse.

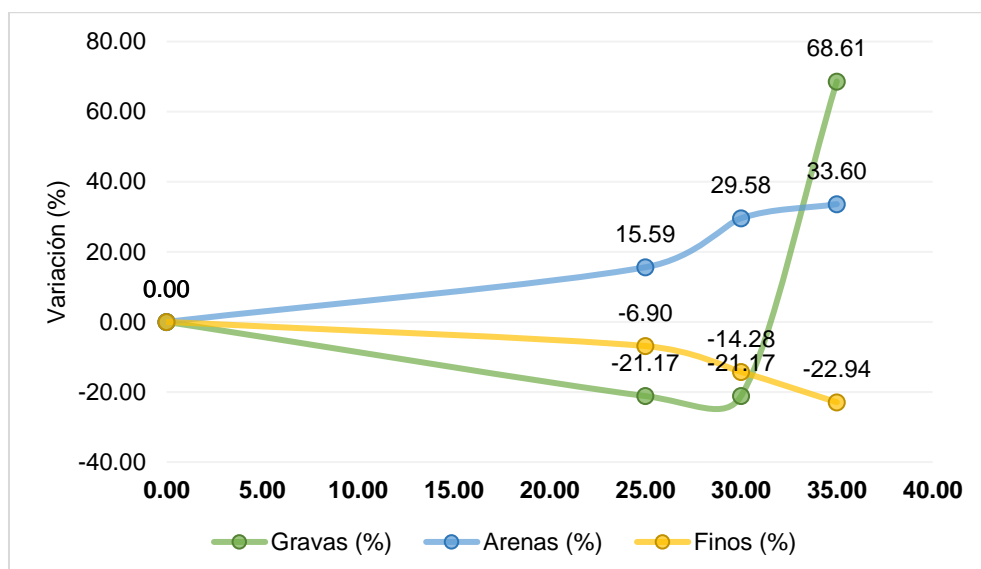


Figura 6. Variación de la granulometría de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón.

5.1.2. Consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

Con el fin de analizar la variación en la consistencia del suelo por la ceniza de carbón se determinó el LL, LP e IP, cuyos resultados son detallados en la siguiente tabla:

Tabla 12. Datos obtenidos respecto a la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | Ceniza (%) | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice de plasticidad (%) |
|-----------------|------------|--------------------|---------------------|---------------------------|
| Suelo patrón | 0.00 | 27.00 | 16.30 | 10.70 |
| | 0.00 | 25.70 | 16.50 | 9.20 |
| | 0.00 | 27.80 | 17.60 | 10.20 |
| Suelo + 25 % CC | 25.00 | 31.50 | 22.30 | 9.20 |
| | 25.00 | 32.60 | 22.70 | 9.90 |
| | 25.00 | 31.80 | 23.10 | 8.70 |
| Suelo + 30 % CC | 30.00 | 35.40 | 26.70 | 8.70 |
| | 30.00 | 36.30 | 27.50 | 8.80 |
| | 30.00 | 36.00 | 28.60 | 7.40 |
| Suelo + 35 % CC | 35.00 | 37.70 | 30.30 | 7.40 |
| | 35.00 | 37.50 | 31.30 | 6.20 |
| | 35.00 | 40.10 | 33.40 | 6.70 |

Consecuentemente, en la Tabla 13 se detalla el procesamiento estadístico descriptivo de los datos presentados anteriormente, basados en la desviación estándar, promedio aritmético y variación porcentual en comparación del suelo patrón.

Tabla 13. Estadística descriptiva de la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | | Ceniza (%) | Desviación estándar (%) | Promedio (%) | Variación (%) |
|---------------------------|-----------------|------------|-------------------------|--------------|---------------|
| Límite líquido (%) | Suelo patrón | 0.00 | 1.06 | 26.83 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.57 | 31.97 | 19.13 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.46 | 35.90 | 33.79 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 1.45 | 38.43 | 43.23 |
| Límite plástico (%) | Suelo patrón | 0.00 | 0.70 | 16.80 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.40 | 22.70 | 35.12 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.95 | 27.60 | 64.29 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 1.58 | 31.67 | 88.49 |
| Índice de plasticidad (%) | Suelo patrón | 0.00 | 0.76 | 10.03 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.60 | 9.27 | -7.64 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.78 | 8.30 | -17.28 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 0.60 | 6.77 | -32.56 |

De la siguiente figura se interpreta que, el LL del suelo limo arcilloso se incrementa a medida que se adiciona ceniza de carbón en 25 %, 30 % y 35 % en relación al peso seco:

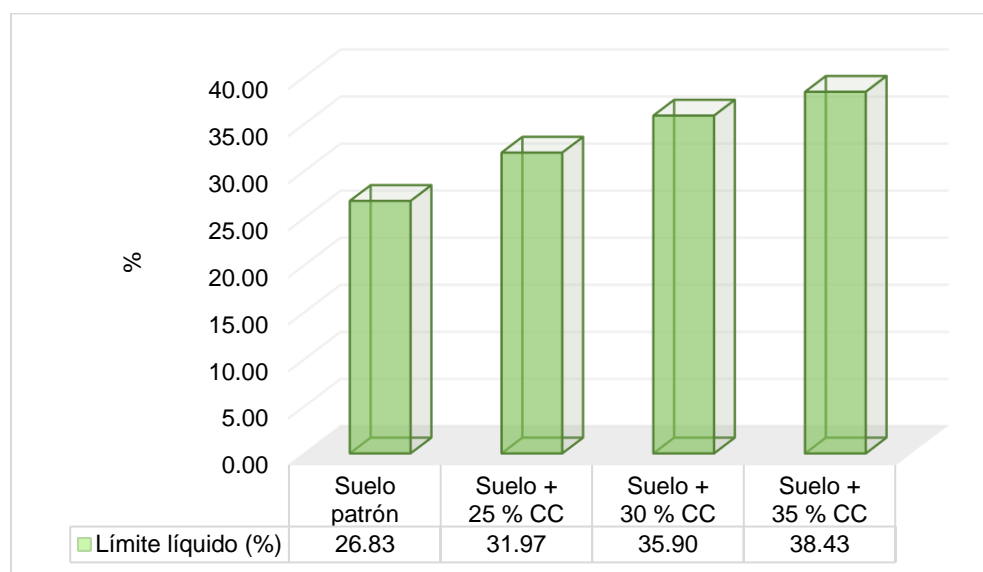


Figura 7. Variación del límite líquido en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Asimismo, en la Figura 8 se muestra que a medida que se incrementa el contenido de ceniza de carbón en el suelo también se incrementa el límite plástico, esto comparando con lo encontrado para el suelo patrón.

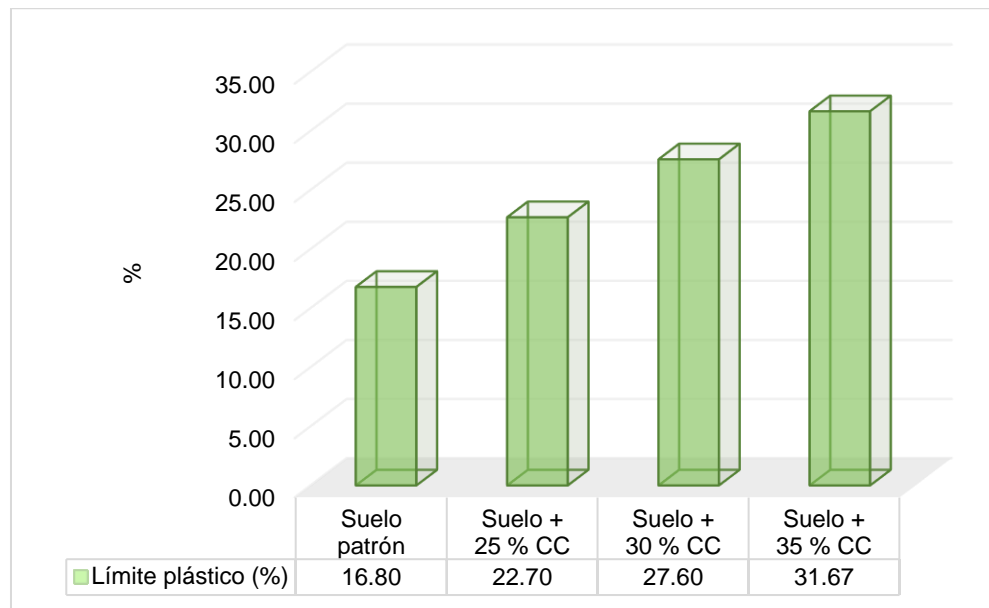


Figura 8. Variación del límite plástico en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

En la siguiente figura se tiene el índice de plasticidad, el mismo que tendió a reducirse adicionando la ceniza de carbón en el suelo limo arcilloso, lo cual resulta beneficioso técnicamente:

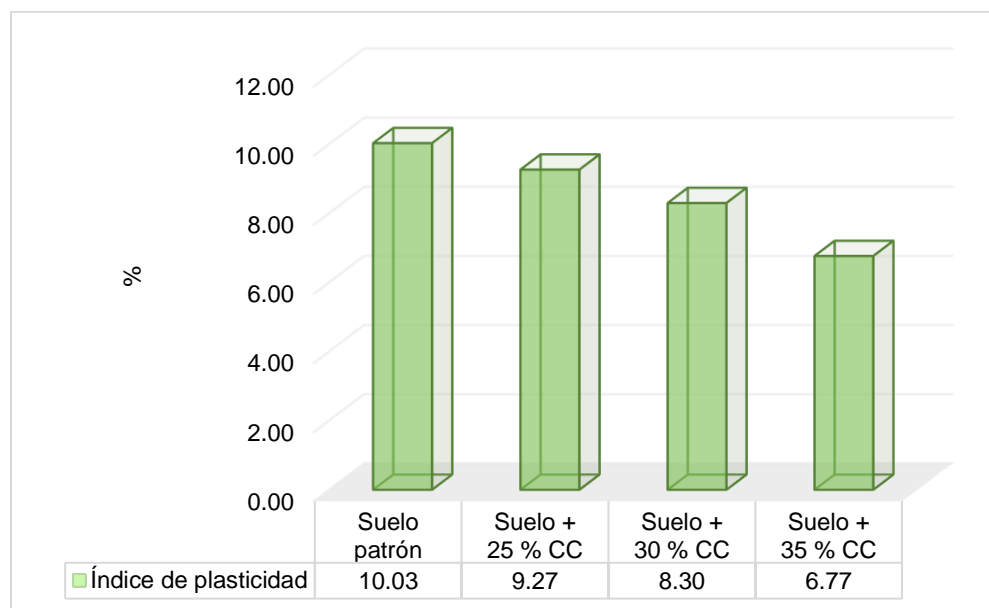


Figura 9. Variación del índice de plasticidad en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

En la Figura 10 se tiene que a medida de acentuar el contenido de ceniza de carbón en el suelo arcilloso, el límite líquido y límite plástico se incrementan, dando como resultado que el índice de plasticidad se reduzca en relación de lo encontrado en el suelo natural.

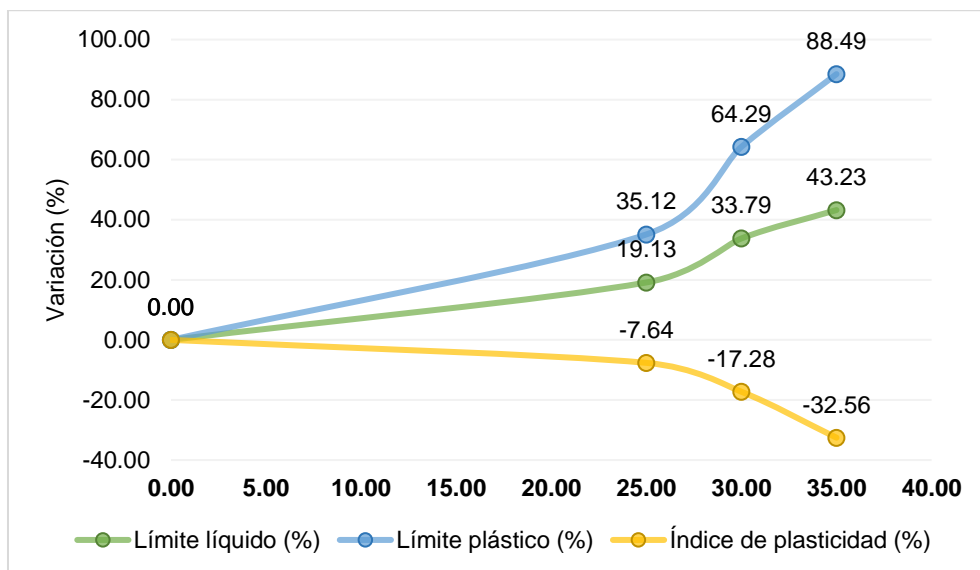


Figura 10. Variación de la consistencia de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón.

5.1.3. Partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

Las partículas finas o polvo de arena corresponden al equivalente de arena, ante ello, en la Tabla 14 se tiene los resultados parciales respecto a lo encontrado para el suelo natural y donde se adicionó ceniza de carbón en diferentes dosificaciones:

Tabla 14. Datos obtenidos respecto al polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | Ceniza (%) | Equivalente de arena (%) |
|-----------------|------------|--------------------------|
| Suelo patrón | 0.00 | 8.70 |
| | 0.00 | 8.90 |
| | 0.00 | 8.00 |
| Suelo + 25 % CC | 25.00 | 16.20 |
| | 25.00 | 16.60 |
| | 25.00 | 16.40 |
| Suelo + 30 % CC | 30.00 | 17.00 |
| | 30.00 | 18.20 |
| | 30.00 | 19.40 |
| Suelo + 35 % CC | 35.00 | 19.20 |
| | 35.00 | 19.10 |
| | 35.00 | 20.10 |

Adicionalmente, la Tabla 15 expresa el procesamiento de la estadística descriptiva de los datos detallados en la Tabla 14, tales como desviación estándar, promedio y variación porcentual dependiente de lo encontrado para el suelo patrón.

Tabla 15. Estadística descriptiva del polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| | Grupo | Ceniza (%) | Desviación estándar | Promedio | Variación (%) |
|--------------------------|-----------------|------------|---------------------|----------|---------------|
| Equivalente de arena (%) | Suelo patrón | 0.00 | 0.47 | 8.53 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.20 | 16.40 | 92.19 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 1.20 | 18.20 | 113.28 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 0.55 | 19.47 | 128.13 |

De la Figura 11 se interpreta que mientras el contenido de ceniza de carbón en el suelo es mayor, el equivalente de arena también es mayor en comparación del suelo patrón.

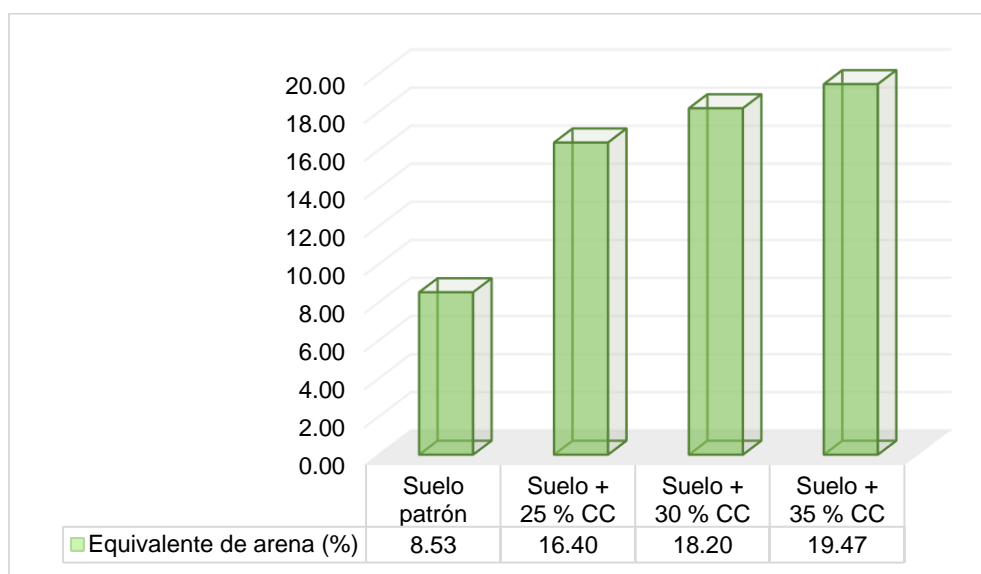


Figura 11. Variación del polvo de arena en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Mientras que, en la Figura 12 se representa a las variaciones porcentuales del equivalente de arena respecto al suelo patrón:

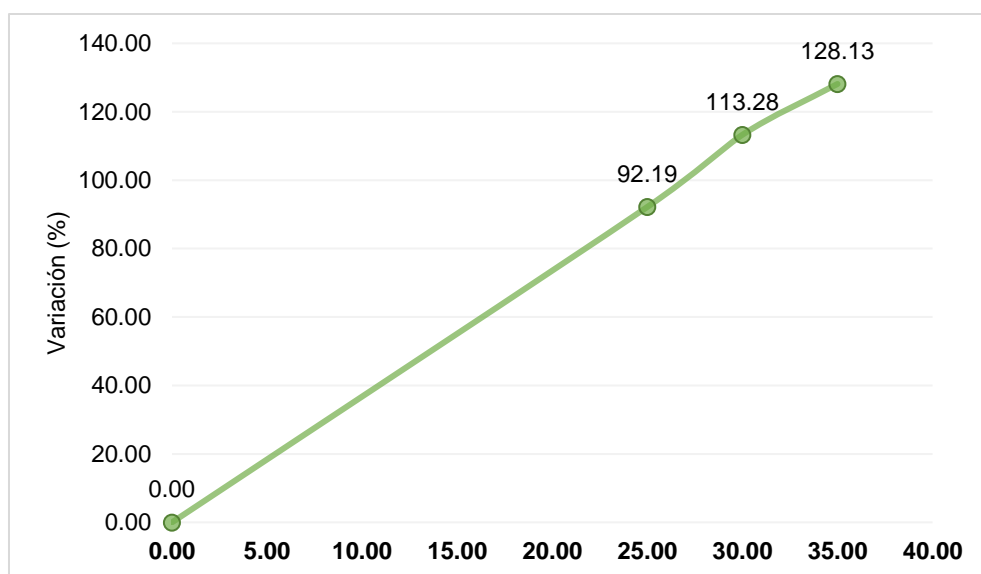


Figura 12. Variación del polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón.

5.1.4. Compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

En cuanto a la compactación, esta fue determinada con el desarrollo del ensayo de Proctor modificado. Los resultados de la MDS y OCH, son especificados en la siguiente tabla:

Tabla 16. Datos obtenidos respecto a la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | Ceniza (%) | Máxima densidad seca (g/cm ³) | Contenido de humedad (%) |
|-----------------|------------|---|--------------------------|
| Suelo patrón | 0.00 | 2.11 | 9.15 |
| | 0.00 | 2.10 | 9.54 |
| | 0.00 | 2.04 | 10.28 |
| Suelo + 25 % CC | 25.00 | 1.92 | 12.38 |
| | 25.00 | 1.92 | 12.71 |
| | 25.00 | 1.94 | 12.07 |
| Suelo + 30 % CC | 30.00 | 1.83 | 14.50 |
| | 30.00 | 1.84 | 14.23 |
| | 30.00 | 1.84 | 13.81 |
| Suelo + 35 % CC | 35.00 | 1.76 | 17.49 |
| | 35.00 | 1.73 | 17.00 |
| | 35.00 | 1.75 | 18.00 |

Por consiguiente, en la Tabla 17 detalla la desviación estándar de los datos, el promedio y la variación porcentual en comparación de lo encontrado para el suelo patrón:

Tabla 17. Estadística descriptiva de la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | | Ceniza (%) | Desviación estándar | Promedio | Variación (%) |
|---|-----------------|------------|---------------------|----------|---------------|
| Máxima densidad seca (g/cm ³) | Suelo patrón | 0.00 | 0.04 | 2.08 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.01 | 1.92 | -7.69 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.01 | 1.84 | -11.96 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 0.02 | 1.75 | -16.29 |
| Contenido de humedad (%) | Suelo patrón | 0.00 | 0.57 | 9.66 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 0.32 | 12.39 | 28.27 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.35 | 14.18 | 46.84 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 0.50 | 17.50 | 81.19 |

Para una mejor interpretación, se tiene la Figura 13 donde se muestra que la máxima densidad seca del suelo limo arcilloso tiende a reducirse con la adición de la ceniza de carbón, a diferencia de lo encontrado para el suelo patrón:

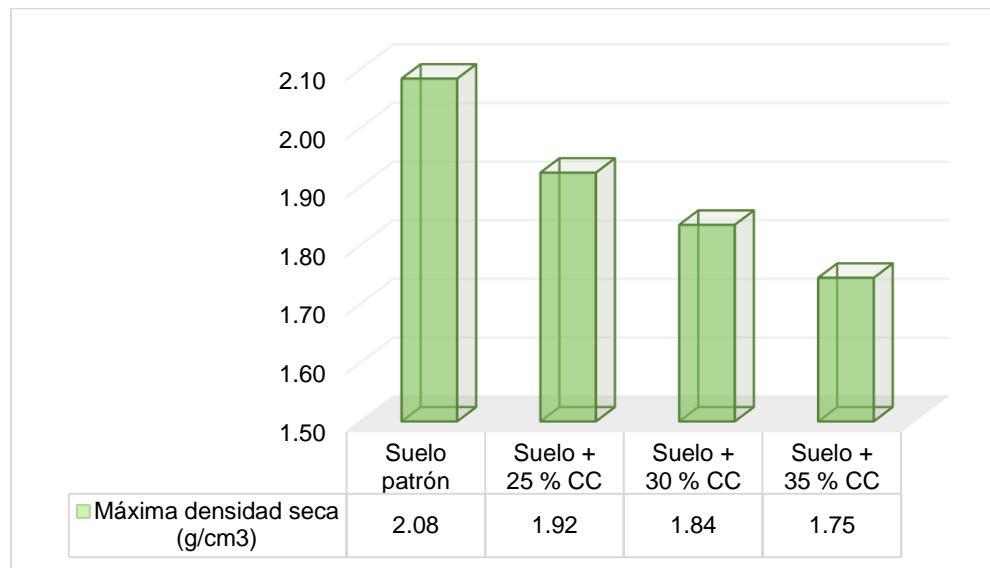


Figura 13. Variación de la máxima densidad seca en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Del mismo modo, en la Figura 14 se logra denotar que el óptimo contenido de humedad de los suelos estabilizados con ceniza de carbón se incrementa en cada una de las variaciones respecto al suelo natural o patrón.

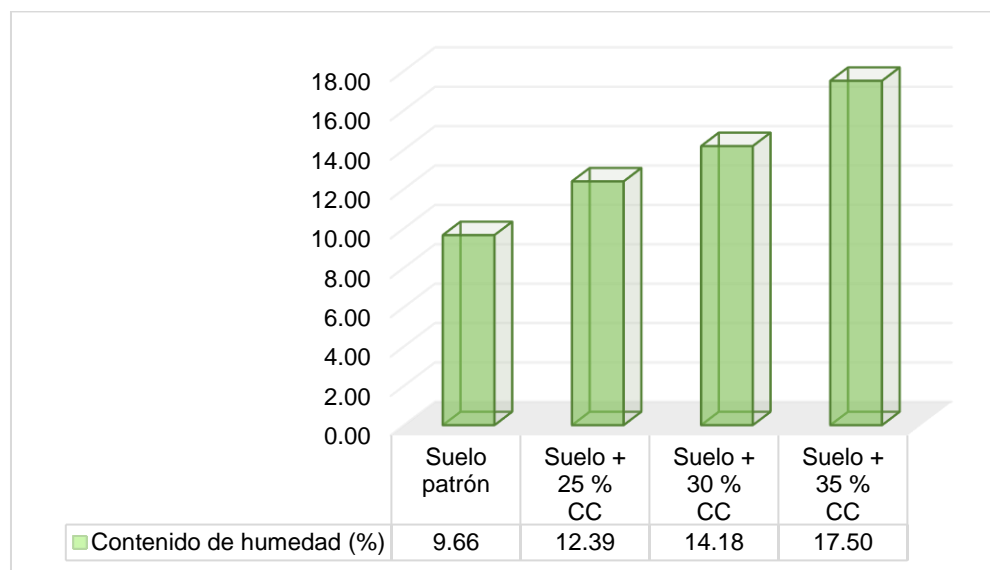


Figura 14. Variación del óptimo contenido de humedad en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Consecuentemente, en la Figura 15 compara las variaciones se representa que la MDS en el suelo se incrementa mientras el óptimo contenido de humedad se reduce con la adición de ceniza de carbón.

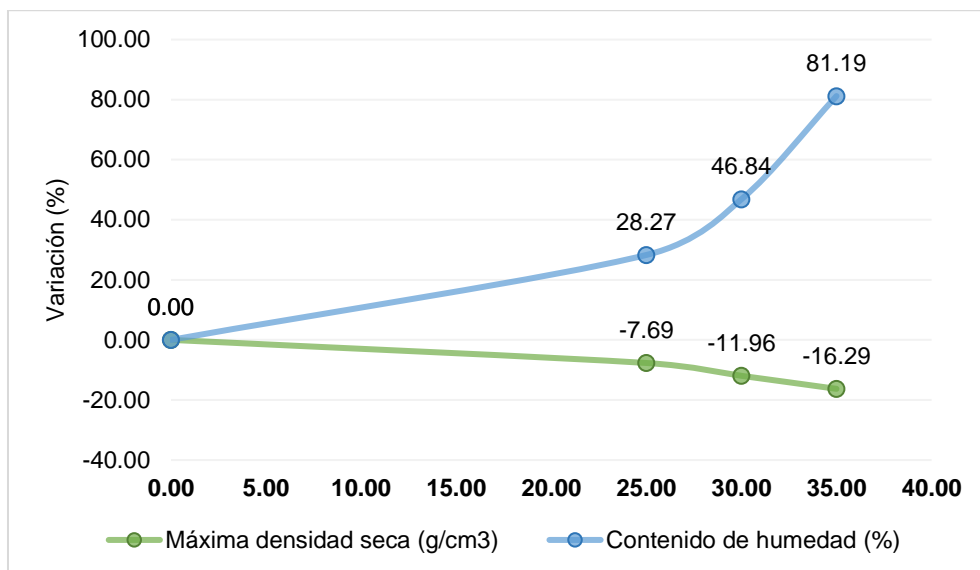


Figura 15. Variación de la compactación de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón.

5.1.5. Capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

En la siguiente tabla se procede a detallar los resultados de la capacidad de soporte de los suelos tanto al 95 % y 100 % de la MDS sin y con adición de ceniza de carbón en 25 %, 30 % y 35 % respecto a su peso seco:

Tabla 18. Datos obtenidos respecto a la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | Ceniza (%) | 95 % de la MDS | 100 % de la MDS |
|-----------------|------------|----------------|-----------------|
| Suelo patrón | 0.00 | 6.32 | 10.70 |
| | 0.00 | 5.60 | 8.84 |
| | 0.00 | 4.60 | 6.03 |
| Suelo + 25 % CC | 25.00 | 22.20 | 32.25 |
| | 25.00 | 25.44 | 34.43 |
| | 25.00 | 24.31 | 34.79 |
| Suelo + 30 % CC | 30.00 | 37.24 | 40.66 |
| | 30.00 | 35.62 | 39.68 |
| | 30.00 | 33.61 | 38.84 |
| Suelo + 35 % CC | 35.00 | 51.32 | 55.97 |
| | 35.00 | 48.22 | 54.34 |
| | 35.00 | 49.68 | 62.05 |

Asimismo, en la Tabla 19 se detalla el procesamiento estadístico de los datos, en cuanto a la desviación estándar, promedio y variación respecto al suelo patrón (sin haberse adicionado ceniza de carbón).

Tabla 19. Estadística descriptiva de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón.

| Grupo | | Ceniza (%) | Desviación estándar | Promedio | Variación (%) |
|-----------------|-----------------|------------|---------------------|----------|---------------|
| 95 % de la MDS | Suelo patrón | 0.00 | 0.86 | 5.51 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 1.64 | 23.98 | 335.53 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 1.82 | 35.49 | 544.49 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 1.55 | 49.74 | 803.27 |
| 100 % de la MDS | Suelo patrón | 0.00 | 2.35 | 8.52 | 0.00 |
| | Suelo + 25 % CC | 25.00 | 1.37 | 33.82 | 296.83 |
| | Suelo + 30 % CC | 30.00 | 0.91 | 39.73 | 366.09 |
| | Suelo + 35 % CC | 35.00 | 4.06 | 57.45 | 574.07 |

De acuerdo a la Figura 16 y Figura 17, se interpreta que la ceniza de carbón tanto en 25 %, 30 % y 35 % en relación al peso seco del suelo, incrementa la resistencia del suelo al 95 % y 100 % de la MDS.

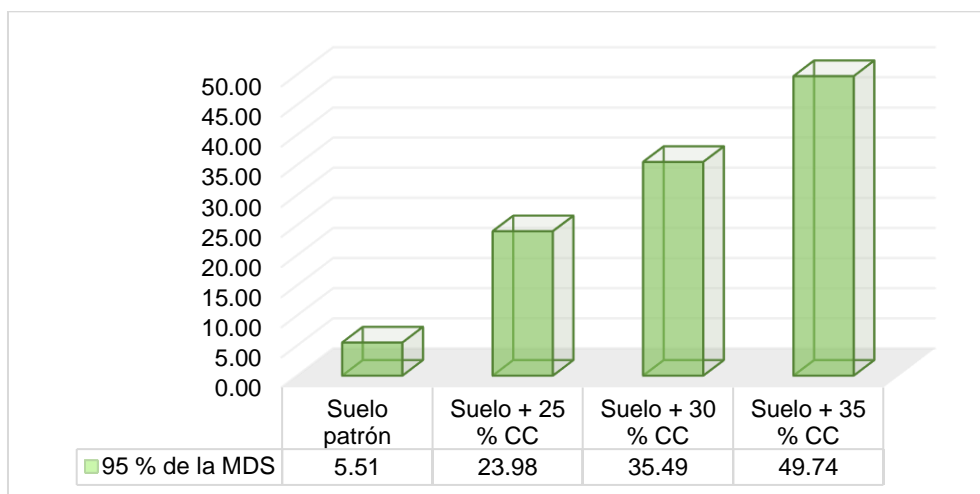


Figura 16. Variación del CBR al 95 % de la MDS en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

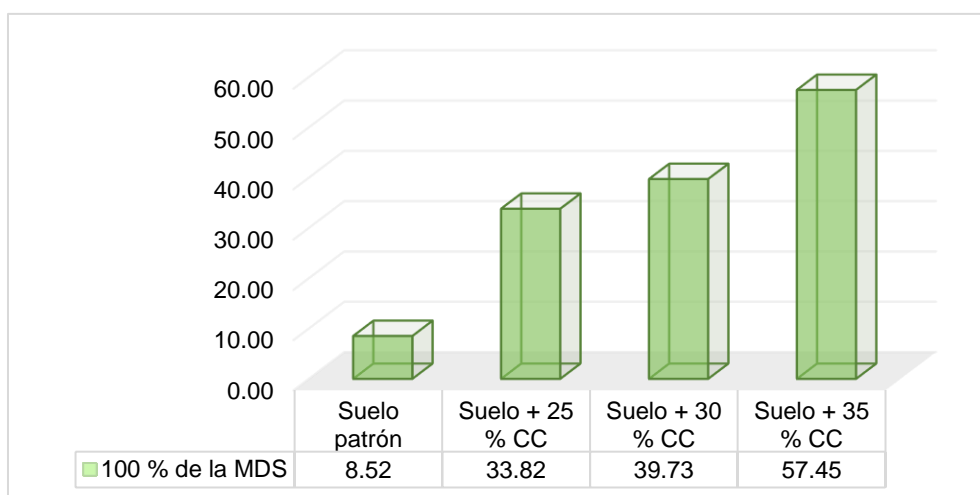


Figura 17. Variación del CBR al 100 % de la MDS en los suelos arcillosos con ceniza de carbón.

Por último, se tiene la Figura 18 donde es claro el incremento porcentual de la resistencia del suelo por la adición de ceniza de carbón.

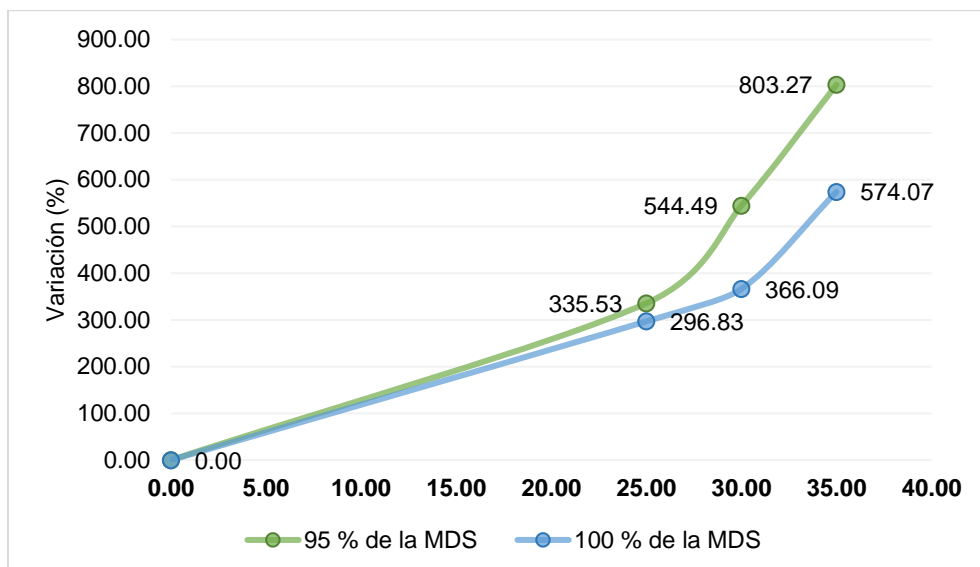


Figura 18. Variación de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón respecto al suelo patrón.

5.2. Contratación de hipótesis

5.2.1. Contratación de hipótesis específica “a”

Según los datos analizados es necesario determinar si las variaciones en la granulometría del suelo son significativas, ante ello se ejecutó la prueba de normalidad con el método estadístico denominado Shapiro-Wilk (número de muestras por grupo menor a 50) cuyos resultados se detallan en la Tabla 20.

En los datos de las gravas se encontró significancias menores a 0.05 representando una distribución no normal siendo lo más idóneo emplear el estadístico de Kruskal-Wallis para determinar la diferencia entre grupos, a diferencia de que para el contenido de arenas y finos se encontró significancias mayores a 0.05 cuyo estadístico a emplear será el ANOVA de un factor.

Tabla 20. Prueba de normalidad de los datos de granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Shapiro-Wilk | | |
|------------|-----------------|--------------|------|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| Gravas (%) | Suelo patrón | 0.87 | 3.00 | 0.28 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.75 | 3.00 | 0.00 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.75 | 3.00 | 0.00 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.85 | 3.00 | 0.25 |
| Arenas (%) | Suelo patrón | 0.87 | 3.00 | 0.30 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.80 | 3.00 | 0.12 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.83 | 3.00 | 0.19 |
| Finos (%) | Suelo patrón | 0.81 | 3.00 | 0.15 |

| | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|
| | Suelo + 25 % CC | 0.79 | 3.00 | 0.09 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.81 | 3.00 | 0.13 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.96 | 3.00 | 0.64 |

En la Tabla 21 se tiene la prueba de Kruskal-Wallis para los datos de las gravas donde se adicionó ceniza de carbón que, según la significancia obtenida (mayor a 0.05) se interpreta que no se encontró diferencias significativas en los grupos, es decir la ceniza de carbón no influye en esta propiedad.

Tabla 21. Kruskal-Wallis para los datos de las gravas de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Parámetro | Valor |
|---|-------|
| N total | 12.00 |
| Estadístico de contraste | 7.36 |
| Grados de libertad | 3.00 |
| Significación asintótica (prueba bilateral) | 0.06 |

En cuanto a las arenas y finos para variación en los grupos se representa con la prueba ANOVA donde se encontró significancias menores a 5 % interpretándose con ello que, la ceniza de carbón modifica estas propiedades.

Tabla 22. ANOVA de un factor para los datos de las arenas y finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------|------------------|-------------------|-------|------------------|--------|------|
| Arenas (%) | Entre grupos | 229.15 | 3.00 | 76.38 | 32.54 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 18.78 | 8.00 | 2.35 | | |
| | Total | 247.93 | 11.00 | | | |
| Finos (%) | Entre grupos | 339.38 | 3.00 | 113.13 | 127.71 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 7.09 | 8.00 | 0.89 | | |
| | Total | 346.47 | 11.00 | | | |

Al haberse determinado que la ceniza de carbón modifica el contenido de arenas y finos en el suelo, en la siguiente tabla se muestra la comparación entre el patrón y los suelos modificados.

Tabla 23. Comparación de grupos respecto a las arenas y finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Variable dependiente | | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | 95% de intervalo de confianza | |
|----------------------|--------------|-----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| Arena | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -5.17* | 1.25 | 0.01 | -9.17 | -1.16 |
| | | Suelo + 30 % CC | -9.80* | 1.25 | 0.00 | -13.81 | -5.79 |
| | | Suelo + 35 % CC | -11.13* | 1.25 | 0.00 | -15.14 | -7.13 |
| Finos | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | 4.30* | 0.77 | 0.00 | 1.84 | 6.76 |
| | | Suelo + 30 % CC | 8.90* | 0.77 | 0.00 | 6.44 | 11.36 |
| | | Suelo + 35 % CC | 14.30* | 0.77 | 0.00 | 11.84 | 16.76 |

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

En la siguiente tabla se procede a describir los subconjuntos homogéneos donde se deduce que, el suelo con 30 % y 35 % de ceniza de carbón son similares en cuanto al contenido de arenas.

Tabla 24. Subconjuntos homogéneos respecto a las arenas de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Suelo patrón | 3.00 | 33.13 | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 38.30 | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | | 42.93 |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | 44.27 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 0.72 |

En efecto, a continuación se tiene a la Tabla 25, en cuanto al contenido de finos, ninguno de los grupos de suelos se parece.

Tabla 25. Subconjuntos homogéneos respecto a los finos de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | 48.03 | | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | 53.43 | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | | 58.03 | |
| Suelo patrón | 3.00 | | | | 62.33 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “b”

A fin de determinar si los cambios presentados en la consistencia del suelo fueron significativos, fue necesario realizar la estadística inferencial, partiendo de la prueba de normalidad, tal como se muestra en la Tabla 26 que, debido a la significancia los datos que en todos los casos fue mayor a 0.05 para cada propiedad presentando así una distribución de datos normal.

Tabla 26. Prueba de normalidad de los datos de consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Shapiro-Wilk | | |
|---------------------------|-----------------|--------------|------|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| Límite líquido (%) | Suelo patrón | 0.91 | 3.00 | 0.41 |
| | Suelo + 25 % CC | 1.00 | 3.00 | 1.00 |
| | Suelo + 30 % CC | 1.00 | 3.00 | 1.00 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.82 | 3.00 | 0.17 |
| Límite plástico (%) | Suelo patrón | 0.98 | 3.00 | 0.74 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.94 | 3.00 | 0.51 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.96 | 3.00 | 0.64 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.81 | 3.00 | 0.13 |
| Índice de plasticidad (%) | Suelo patrón | 0.86 | 3.00 | 0.27 |
| | Suelo + 25 % CC | 1.00 | 3.00 | 1.00 |

| | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|
| | Suelo + 30 % CC | 0.99 | 3.00 | 0.83 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.96 | 3.00 | 0.61 |

Al establecerse una distribución normal de los datos, se aplicó el estadístico de ANOVA de un factor, cuyos resultados se detallan en la Tabla 27, que de acuerdo a la significancia menor a 5 %, se encontró que tanto el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad variaron significativamente con la adición de ceniza de carbón.

Tabla 27. ANOVA de un factor para los datos de consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|---------------------------|------------------|-------------------|-------|------------------|--------|------|
| Límite líquido (%) | Entre grupos | 230.12 | 3.00 | 76.71 | 81.82 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 7.50 | 8.00 | 0.94 | | |
| | Total | 237.62 | 11.00 | | | |
| Límite plástico (%) | Entre grupos | 370.06 | 3.00 | 123.35 | 121.43 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 8.13 | 8.00 | 1.02 | | |
| | Total | 378.19 | 11.00 | | | |
| Índice de plasticidad (%) | Entre grupos | 17.85 | 3.00 | 5.95 | 12.40 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 3.84 | 8.00 | 0.48 | | |
| | Total | 21.69 | 11.00 | | | |

A continuación en la Tabla 28 se compara los resultados del suelo patrón con los suelos donde se adicionó ceniza de carbón, donde se evidencia que en todos los casos el incremento del límite líquido y límite plástico fueron significativos, al igual que la reducción del índice de plasticidad también fue significativa.

Tabla 28. Comparación de grupos respecto a la consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Variable dependiente | | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | 95% de intervalo de confianza | |
|-----------------------|--------------|-----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| Límite líquido (%) | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -5.13* | 0.79 | 0.00 | -7.67 | -2.60 |
| | | Suelo + 30 % CC | -9.07* | 0.79 | 0.00 | -11.60 | -6.53 |
| | | Suelo + 35 % CC | -11.60 | 0.79 | 0.00 | -14.13 | -9.07 |
| Límite plástico (%) | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -5.90* | 0.82 | 0.00 | -8.54 | -3.26 |
| | | Suelo + 30 % CC | -10.80* | 0.82 | 0.00 | -13.44 | -8.16 |
| | | Suelo + 35 % CC | -14.87* | 0.82 | 0.00 | -17.50 | -12.23 |
| Índice de plasticidad | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | 0.77 | 0.57 | 0.56 | -1.04 | 2.58 |
| | | Suelo + 30 % CC | 1.73 | 0.57 | 0.06 | -0.08 | 3.54 |
| | | Suelo + 35 % CC | 3.27* | 0.57 | 0.00 | 1.46 | 5.08 |

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

En la Tabla 29 y Tabla 30 se tiene los subconjuntos homogéneos en cuanto al límite líquido y plástico, donde se evidencia que respecto a estas propiedades todos los grupos analizados fueron diferentes estadísticamente.

Tabla 29. Subconjuntos homogéneos respecto al límite líquido de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Suelo patrón | 3.00 | 26.83 | | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 31.97 | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | | 35.90 | |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | | 38.43 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

Tabla 30. Subconjuntos homogéneos respecto al límite plástico de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Suelo patrón | 3.00 | 16.80 | | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 22.70 | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | | 27.60 | |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | | 31.67 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

No obstante, en cuanto al índice de plasticidad y según la Tabla 31 se tiene que el suelo con 30 % y 35 % de ceniza de carbón son similares, al igual que el suelo con 30 %, 25 % y el patrón.

Tabla 31. Subconjuntos homogéneos respecto al índice de plasticidad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|
| | | 1 | 2 |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | 6.77 | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | 8.30 | 8.30 |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 9.27 |
| Suelo patrón | 3.00 | | 10.03 |
| Sig. | | 0.10 | 0.06 |

5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “c”

En cuanto a la prueba de normalidad de los datos, en la Tabla 32 se detalla los resultados donde al contar con una significancia mayor a 0.05 representan una distribución normal de los datos referentes al equivalente de arena.

Tabla 32. Prueba de normalidad de los datos de polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Shapiro-Wilk | | |
|--------------------------|-----------------|--------------|------|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| Equivalente de arena (%) | Suelo patrón | 0.96 | 3.00 | 0.64 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.99 | 3.00 | 0.82 |

| | | | | |
|--|-----------------|------|------|------|
| | Suelo + 30 % CC | 0.80 | 3.00 | 0.12 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.99 | 3.00 | 0.82 |

Al obtenerse una distribución normal, en la Tabla 33 se logra observar la prueba ANOVA de un factor que, con una significancia también menor a 0.05 se deduce que, la adición de ceniza de carbón en el suelo modifica significativamente el equivalente de arena.

Tabla 33. ANOVA de un factor para los datos de polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-------------------|-------|------------------|--------|------|
| Entre grupos | 216.84 | 3.00 | 72.28 | 144.08 | 0.00 |
| Dentro de grupos | 4.01 | 8.00 | 0.50 | | |
| Total | 220.85 | 11.00 | | | |

En consecuencia, en la siguiente tabla se tiene que los incrementos del equivalente de arena al adicionar ceniza de carbón fueron significativos (menor a 0.05) tanto para 25 %, 30 % y 50 % respecto al peso seco del suelo.

Tabla 34. Comparación de grupos respecto al polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| (I) Grupos | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | 95% de intervalo de confianza | |
|--------------|-----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -7.87* | 0.58 | 0.00 | -9.72 | -6.01 |
| | Suelo + 30 % CC | -9.67* | 0.58 | 0.00 | -11.52 | -7.81 |
| | Suelo + 35 % CC | -10.93* | 0.58 | 0.00 | -12.79 | -9.08 |

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Finalmente, se tiene los subconjuntos homogéneos, donde el equivalente de arena obtenido para el suelo con 25 % y 30 % de ceniza de carbón fueron semejantes estadísticamente.

Tabla 35. Subconjuntos homogéneos respecto al polvo de arena de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | 8.53 | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | 16.40 | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 18.20 | 18.20 |
| Suelo patrón | 3.00 | | | 19.47 |
| Sig. | | 1.00 | 0.06 | 0.21 |

5.2.1. Contrastación de hipótesis específica “d”

En concordancia con la prueba de normalidad de los datos concernientes a la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad se presentan en

la Tabla 36 que tiene valores de significancia menores a 0.05 para la máxima densidad seca representando una distribución no normal, a diferencia del óptimo contenido de humedad que fueron mayores a 0.05 representando una distribución normal.

Tabla 36. Prueba de normalidad de los datos de compactación de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Shapiro-Wilk | | |
|---|-----------------|--------------|------|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| Máxima densidad seca (g/cm ³) | Suelo patrón | 0.85 | 3.00 | 0.25 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.75 | 3.00 | 0.00 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.75 | 3.00 | 0.00 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.96 | 3.00 | 0.64 |
| Óptimo contenido de humedad (%) | Suelo patrón | 0.97 | 3.00 | 0.66 |
| | Suelo + 25 % CC | 1.00 | 3.00 | 0.97 |
| | Suelo + 30 % CC | 0.98 | 3.00 | 0.76 |
| | Suelo + 35 % CC | 1.00 | 3.00 | 0.98 |

Al contar con una distribución no normal los datos de la máxima densidad seca, se procedió a aplicar el estadístico de Kruskal-Wallis tal como se muestra en la Tabla 37 que, al contar con una significancia menor a 0.05 se interpreta que la ceniza de carbón modifica significativamente esta propiedad en el suelo.

Tabla 37. Kruskal-Wallis para los datos de la máxima densidad seca de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Parámetro | Valor |
|---|-------|
| N total | 12.00 |
| Estadístico de contraste | 10.46 |
| Grados de libertad | 3.00 |
| Significación asintótica (prueba bilateral) | 0.02 |

Del mismo modo para la información del óptimo contenido de humedad se tiene la prueba de ANOVA de un factor en la Tabla 38 por presentar una distribución normal que, según la significancia se interpreta que el óptimo contenido de humedad del suelo se ve modificado por la adición de ceniza de carbón.

Tabla 38. ANOVA de un factor para los datos del óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-------------------|-------|------------------|--------|------|
| Entre grupos | 97.28 | 3.00 | 32.43 | 161.57 | 0.00 |
| Dentro de grupos | 1.61 | 8.00 | 0.20 | | |
| Total | 98.89 | 11.00 | | | |

De la comparar cada uno de los grupos se tiene en la siguiente tabla, respecto a la máxima densidad seca que, según la significancia (menor a 0.05) sólo existe una diferencia significativa entre el suelo patrón con el suelo donde se añadió 35 % de ceniza de carbón.

Tabla 39. Comparación de grupos respecto a la máxima densidad seca de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Estadístico de prueba | Error estándar | Desviación del estadístico de prueba | Sig. | Sig. ajustada |
|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|--------------------------------------|-------|---------------|
| Suelo + 35 % CC | Suelo + 30 % CC | 3 | 2.934 | 1.023 | 0.306 | 1.00 |
| Suelo + 35 % CC | Suelo + 25 % CC | 6 | 2.934 | 2.045 | 0.041 | 0.25 |
| Suelo + 35 % CC | Suelo patrón | 9 | 2.934 | 3.068 | 0.002 | 0.01 |
| Suelo + 30 % CC | Suelo + 25 % CC | 3 | 2.934 | 1.023 | 0.306 | 1.00 |
| Suelo + 30 % CC | Suelo patrón | 6 | 2.934 | 2.045 | 0.041 | 0.25 |
| Suelo + 25 % CC | Suelo patrón | 3 | 2.934 | 1.023 | 0.306 | 1.00 |

Mientras que, la comparación de grupos respecto al óptimo contenido de humedad, son detallados en la Tabla 40, donde se evidencia que, con cada una de las dosificaciones se dieron incrementos significativos.

Tabla 40. Comparación de grupos respecto al óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| (I) Grupos | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | 95% de intervalo de confianza | |
|--------------|-----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -2.73* | 0.37 | 0.00 | -3.90 | -1.56 |
| | Suelo + 30 % CC | -4.52* | 0.37 | 0.00 | -5.69 | -3.35 |
| | Suelo + 35 % CC | -7.84* | 0.37 | 0.00 | -9.01 | -6.67 |

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

De acuerdo la Tabla 41 se tiene que los grupos son diferentes entre sí:

Tabla 41. Subconjuntos homogéneos respecto al óptimo contenido de humedad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Suelo patrón | 3.00 | 9.66 | | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 12.39 | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | | 14.18 | |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | | 17.50 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

5.2.2. Contrastación de hipótesis específica “e”

La prueba de normalidad de los datos de la capacidad de soporte del suelo se detalla en la Tabla 42 donde, en todos los casos se logró obtener una significancia mayor a 0.05, representando así una distribución normal, por ende se empleó el estadístico ANOVA para comparar los grupos.

Tabla 42. Prueba de normalidad de los datos de capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | | Shapiro-Wilk | | |
|-------------------------|-----------------|--------------|------|------|
| | | Estadístico | gl | Sig. |
| CBR al 95 % MDS (%) | Suelo patrón | 0.99 | 3.00 | 0.82 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.97 | 3.00 | 0.67 |
| | Suelo + 30 % CC | 1.00 | 3.00 | 0.88 |
| | Suelo + 35 % CC | 1.00 | 3.00 | 0.94 |
| CBR al 100 % MDS (%) | Suelo patrón | 0.99 | 3.00 | 0.78 |
| | Suelo + 25 % CC | 0.85 | 3.00 | 0.25 |
| | Suelo + 30 % CC | 1.00 | 3.00 | 0.92 |
| | Suelo + 35 % CC | 0.90 | 3.00 | 0.39 |

Es así que, en la siguiente tabla se muestra los resultados de la prueba paramétrica ANOVA de un factor, que al contar con una significancia menor a 0.05 denota diferencias significativas entre los grupos analizados, es decir, la capacidad de soporte del suelo se modifica significativamente por la adición de ceniza de carbón en diferentes porcentajes.

Tabla 43. ANOVA de un factor para los datos de capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------------------|------------------|-------------------|-------|------------------|--------|------|
| CBR al 95 % MDS (%) | Entre grupos | 3146.89 | 3.00 | 1048.96 | 457.93 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 18.33 | 8.00 | 2.29 | | |
| | Total | 3165.21 | 11.00 | | | |
| CBR al 100 % MDS (%) | Entre grupos | 3686.51 | 3.00 | 1228.84 | 198.54 | 0.00 |
| | Dentro de grupos | 49.51 | 8.00 | 6.19 | | |
| | Total | 3736.02 | 11.00 | | | |

Asimismo, en la siguiente tabla se comparó los grupos de acuerdo a la prueba pos hoc de Tukey, lográndose interpretar que los incrementos (diferencia de medias negativa) de la capacidad de soporte al 95 % y 100 % de la máxima densidad seca fueron significativos tanto con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón.

Tabla 44. Comparación de grupos respecto al capacidad de soporte de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Variable dependiente | | | Diferencia de medias (I-J) | Error estándar | Sig. | 95% de intervalo de confianza | |
|----------------------|--------------|-----------------|----------------------------|----------------|------|-------------------------------|-----------------|
| | | | | | | Límite inferior | Límite superior |
| CBR al 95 % MDS (%) | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -18.48* | 1.24 | 0.00 | -22.43 | -14.52 |
| | | Suelo + 30 % CC | -29.98* | 1.24 | 0.00 | -33.94 | -26.03 |
| | | Suelo + 35 % CC | -44.23* | 1.24 | 0.00 | -48.19 | -40.28 |
| CBR al 100 % MDS (%) | Suelo patrón | Suelo + 25 % CC | -25.30* | 2.03 | 0.00 | -31.80 | -18.80 |
| | | Suelo + 30 % CC | -31.20* | 2.03 | 0.00 | -37.71 | -24.70 |
| | | Suelo + 35 % CC | -48.93* | 2.03 | 0.00 | -55.43 | -42.43 |

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

De acuerdo a la Tabla 45 se denota que según el CBR al 95 % de la MDS, cada uno de los grupos analizados no son semejantes, pues representan grupos individuales:

Tabla 45. Subconjuntos homogéneos respecto al CBR al 95 % de la MDS de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Suelo patrón | 3.00 | 5.51 | | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 23.98 | | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | | 35.49 | |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | | 49.74 |
| Sig. | | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

No obstante, según la siguiente tabla se tiene que respecto al CBR al 100 % de la MDS, el suelo con 25 % y 30 % de ceniza de carbón son semejantes entre sí.

Tabla 46. Subconjuntos homogéneos respecto al CBR al 100 % de la MDS de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.

| Grupos | N | Subconjunto para alfa = 0.05 | | |
|-----------------|------|------------------------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Suelo patrón | 3.00 | 8.52 | | |
| Suelo + 25 % CC | 3.00 | | 33.82 | |
| Suelo + 30 % CC | 3.00 | | 39.73 | |
| Suelo + 35 % CC | 3.00 | | | 57.45 |
| Sig. | | 1.00 | 0.08 | 1.00 |

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Granulometría de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

El estudio de la granulometría es un aspecto complementario para el análisis del comportamiento del suelo, sin embargo, según Cañar (2017) es una de las propiedades más características, pues establecer la relación entre el tamaño y proporción de las partículas de un suelo y que de manera indirecta son indicadores de la porosidad del suelo, de la permeabilidad o incluso de la resistencia. Al momento del análisis de la granulometría se puede obtener diversos factores como los coeficientes de uniformidad o de diámetro medio de las partículas, sin embargo, entre los datos más relevante para el estudio del suelo es la proporción de grava, arena y finos que posee.

Con base a lo mencionado, los resultados obtenidos, muestran el comportamiento que poseen las principales partículas que componen el suelo estudiado, de la cual se resalta la tendencia que posee pues, presentan una disminución en su concentración hasta lograr obtener una reducción de hasta 22.94 % respecto del suelo patrón, por su parte las arenas se ven incrementadas hasta en 29.58 %, mientras que la cantidad de gravas al igual que los finos se reducen hasta en 21.17 %, la cual se debe por adicionar la ceniza de carbón en su composición.

Es interesante resaltar que la granulometría no es una de las propiedades que se tomen en cuenta en la mayoría de las investigaciones pero, como se ha mencionado, es una característica que de manera indirecta puede dar a conocer o prever el

comportamiento de ciertas propiedades; por ejemplo en la investigación de Medina (2020), no se consideró la variación de las partículas del suelo con la adición de la ceniza, sin embargo si determinó que los porcentajes del suelo patrón fueron de 0 % de gravas, 63 % de arenas y 37 % de finos; por su parte, Vásquez (2018) menciona que cuando el suelo posee una clasificación de limo-arcilloso de acuerdo al formato AASTHO, este posee valores superiores al 50 % de material que pasa la malla N° 200, lo cual coincide con lo determinado en los ensayos realizados.

6.2. Consistencia de los suelos arcillosos con ceniza de carbón para uso como subrasante

La consistencia de los suelos es un factor muy representativo para la medición de la plasticidad, la cual en general es un indicador de la presencia de arcillas en el suelo, por lo que pueden ser perjudiciales si no se controlan. Según Cañar (2017), es necesario medir la consistencia en subrasantes de carreteras en base a sus límites de consistencia (líquido, plástico e índice de plasticidad).

Los resultados mostrados dan cuenta que el límite líquido se incrementó de forma gradual en el transcurso que se adicionó mayor volumen de ceniza en su composición, lográndose un incremento de hasta 38.23 % respecto al suelo patrón. Con respecto al límite plástico, también se puede denotar el incremento de su valor en relación al incremento de la cantidad de ceniza, destacando que se logra un incremento de hasta 88.49 %. Estos valores complementan las estimaciones del índice de plasticidad, obteniéndose de esta manera una tendencia negativa, lográndose variaciones de hasta -32.56 % respecto al suelo patrón, lo cual disminuye el valor de este parámetro de 10.03 % a 6.77 %.

Los resultados descritos difieren con lo obtenido por Cañar (2017), pues en la investigación que realizó, los valores del límite líquido se mantienen casi constante sin importar la cantidad de ceniza en el suelo, misma tendencia sucede al analizar el límite plástico y el índice de plasticidad; sin embargo se coincide con la tendencia obtenida por Ariza, Rojas y Romero (2016) quienes mencionan que el adicionar ceniza en el suelo reduce el índice de plasticidad de 24 % a 17.2 %, obteniéndose el menor valor con una proporción de 40 % de ceniza.

6.3. Partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

De acuerdo al MTC (2014) la cantidad de partículas finas en suelos arcillosos se determinan mediante el ensayo de equivalente de arena, la cual puede comprenderse como aquella proporción relativa de material nocivo en suelos o agregados. Es por ello que se resalta la importancia de su estudio, pues a pesar de mostrar valores similares a los obtenidos en los límites de consistencia, su ejecución se realiza de manera más rápida.

Los resultados obtenidos muestran cómo se dio el comportamiento de esta propiedad al incorporar ceniza de carbón en el suelo, donde se destaca la tendencia que posee, pues al incrementar la presencia de ceniza en el suelo la cantidad de polvo se incrementa hasta en 128.13 % respecto al valor patrón cuando la concentración de ceniza es de 35 %; este comportamiento se puede comprender al considerar que la cantidad de ceniza incorporada presenta un tamaño pasante la malla N° 200, es decir, este material se puede considerar como polvo, pero su efecto no es nocivo, por lo que se debe tener cuidado al momento de interpretarlo, pues la norma menciona que suelos con equivalente menores a 20 son considerados suelos muy plásticos.

Debido a la ambigüedad del comportamiento de la cantidad de polvo en el suelo, muchos de los antecedentes no consideran su estudio, pues como menciona la normativa, valores similares pueden determinarse mediante los ensayos de consistencia.

6.4. Compactación de suelos arcilloso con ceniza de carbón para su uso como subrasante

La compactación de los suelos es un factor de gran relevancia para poder construir subrasantes más resistentes; lastimosamente, en la actualidad no existe un método que no sea complejo para medir su valor de manera directa, por lo que es necesario aplicar las recomendaciones del ensayo Proctor, mediante el cual se obtiene el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca.

Por lo tanto, sustentado lo detallado, esta investigación consideró el estudio de las mencionadas propiedades junto con la incidencia que tiene el uso de la ceniza de

carbón en su composición, obteniéndose finalmente los valores que muestra el comportamiento de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad; respecto al primer parámetro se puede mencionar que a medida que se incrementa la cantidad de ceniza en el suelo, su valor se reduce de manera significativa hasta en 16.29 % respecto de la muestra patrón, un comportamiento diferente se dio en el óptimo contenido de humedad donde su valor se incrementa a medida que se da un incremento de la cantidad de ceniza, pudiéndose representar incrementos de hasta 81.19 %; todo ello al considerar un porcentaje de ceniza de carbón en 35 %.

Los resultados obtenidos por similares investigaciones como la de Goñas (2019) dan cuenta que el comportamiento del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca se incrementa a medida que se aumenta la cantidad de ceniza en el suelo, alcanzando un valor máximo de 24.7 % y 1.494 g/cm³ respectivamente, lo cual difiere con el comportamiento estimado en la presente investigación. Esta variación del comportamiento se debe en gran medida a que, Goñas (2019) consideró proporciones máximas de ceniza de 25 %, otro antecedente con el que se discrepa, es la de Vásquez (2018), quien determinó que ambos parámetros se acentúa con la inclusión de ceniza en su composición, sin embargo se debe de tener en cuenta que mencionado autor también consideró mezclar la ceniza con cal, explicando de esta manera la diferencia de comportamiento entre ambos estudios.

6.5. Capacidad de soporte de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante

Para poder establecer la aplicabilidad de un suelo como subrasante debe cumplir con la norma MTC (2014), donde se menciona que el valor mínimo de CBR al 95 % de la máxima densidad seca (MDS) es de 6 %; por ello para su determinación se debe tener en cuenta la estimación del óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca mediante el ensayo Proctor modificado, los cuales se describieron en el ítem anterior.

Los resultados que se obtuvieron en laboratorio muestran que el valor del CBR al 100 % y 95 % de la MDS se acentúa por la adición de ceniza de carbón en su composición, pues se obtienen incrementos de 574.07 % y de 803.27 % respectivamente. Otro aspecto relevante es que el valor de CBR mínimo es superado con facilidad al incorporar un 25 % de ceniza de carbón, pues el valor del CBR al

95 % fue de 23.98 %; esto implica una incidencia significativa del a ceniza en los suelos arcillosos.

Los valores que se han descrito no coinciden con lo estimado por Goñas (2019), quien pudo establecer el valor del CBR de suelos finos no se incrementan de gran manera pues solo se incrementan de 2 % a 3.5 %; esto debido a que el valor del CBR inicial fue muy pobre y las dosificaciones fueron menores a los considerados en la presente tesis. Por su parte Vásquez (2018) coincide con la tendencia obtenida en la investigación pues establece que el uso de 4 % de cal y 7 % de ceniza mejoran de manera significativa la resistencia del suelo arcilloso, sustentando que se debe a composición de elementos que reacción de floculación e intercambio iónico de la ceniza con el suelo arcilloso. Otra investigación con el que se concuerda, es la realizada por Medina (2020) en la cual establece que el porcentaje óptimo de ceniza en un suelo arcilloso es de 25 %.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón mejoran siendo factible emplearlo como subrasante, siendo factible emplear desde 25 % a 35 % de ceniza de carbón.
2. La granulometría de los suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón varían pues el contenido de gravas se reduce en 21.17 %, las arenas se incrementan en 15.59 %, 29.58 % y 33.60 %; mientras que, los finos se reducen en 6.90 %, 14.28 % y 22.94 % respecto al suelo patrón tipo A – 4.
3. La consistencia varía de los suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón, con el incremento del límite líquido en 19.13 %, 33.79 % y 43.23 %, el incremento del límite plástico en 35.12 %, 64.29 % y 88.49 %, trayendo consigo la reducción del índice de plasticidad en 7.64 %, 17.28 % y 32.56 %, esto en comparación del suelo patrón tipo A – 4.
4. El contenido de polvo de arena modifica con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón, pues se encontró incrementos significativos de 92.19 %, 113.28 % y 128.13 % en relación de lo obtenido para el suelo patrón tipo A – 4.
5. La compactación varía con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón, lográndose encontrar reducciones significativas de la máxima densidad seca de 7.69 %, 11.96 % y 16.29 %, además de incrementos significativos del óptimo contenido de humedad en 28.27 %, 46.84 % y 81.19 % esto en comparación del suelo patrón tipo A – 4.
6. La capacidad de soporte se modifica con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón, pues se logró aumentar el CBR al 100 % de la máxima densidad seca en 296.83 %, 366.09 % y 574.07 % en comparación del suelo patrón tipo A – 4.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que las cenizas de carbón optimizan las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos del tipo A – 4, es dable emplear entre 25 % a 35 % del peso seco del mismo.
2. Al incrementarse la cantidad de arenas y reducirse el contenido de finos, es dable emplear la ceniza de carbón para modificar la granulometría de suelos del tipo A -4.
3. Al reducirse la plasticidad de los suelos arcillosos con ceniza de carbón, es factible su empleo con lo cual se asegura el incremento de la resistencia del suelo.
4. Al incrementarse el contenido de polvo arena (equivalente de arena) en los suelos del tipo A – 4 con la adición de ceniza de carbón, es recomendable su empleo, con lo cual se mejora la calidad de los mismos.
5. Al incrementarse el contenido de humedad de los suelos con la adición de ceniza de carbón, es dable controlar tal propiedad a fin de asegurar una correcta densidad máxima seca.
6. Al notarse incrementos de la capacidad de soporte del suelo tipo A – 4 desde el 25 % hasta el 35 % de ceniza de carbón, para el uso en subrasante sería dable considerarlo desde ese valor mínimo, pero de solicitarse mayores resistencias es dable considerar hasta 35 %.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIZA, C., ROJAS, C. y ROMERO, Y., 2016. *Evaluación de la capacidad de soporte (CBR) de un suelo expansivo con adición de ceniza volante* [en línea]. S.l.: Universidad la Gran Colombia. Disponible en: <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/5529>.
- CAÑAR, E., 2017. *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón* [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Ambato. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25266>.
- CORONADO, J., 2002. *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos* [en línea]. 2002. Guatemala: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Disponible en: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/handle/123456789/4114>.
- CRESPO, C., 2004. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Quinta Edi. México: s.n.
- DUQUE, G. y ESCOBAR, C., 2002. *Mecánica de suelos*. . Manizales:
- GOÑAS, O., 2019. *Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Disponible en: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1801>.
- GOOGLE MAPS, 2021. Google Maps. [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com/maps>.
- MEDINA, G., 2020. *Estudio del comportamiento del aserrín y la ceniza de carbón para la estabilización de la sub rasante, Carabayllo, Lima 2019* [en línea]. S.l.: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53368>.
- MTC, 2014. *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos* [en línea]. 2014. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Disponible en: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf.
- MTC, 2016. *Manual de ensayo de materiales* [en línea]. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Disponible en: https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manu

- ales/Manual Ensayo de Materiales.pdf.
- MTC, 2018. *Glosario de términos de uso frecuente en los proyectos de infraestructura vial*. 2018. S.l.: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- RAMOS, J. y LOZANO, J., 2019. *Estabilización de suelo mediante aditivos alternativos* [en línea]. S.l.: Universidad Católica de Colombia. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/24277>.
- RODRÍGUEZ, W., 2019. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Suelos y cimentaciones*. 2019. Lambayeque - Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- RONDÓN, H. y REYES, F., 2015. *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Primera. Bogotá-Colombia: Macro EIRL.
- VÁSQUEZ, A., 2018. *Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la vía Cascajal con adición de carbón y cal a nivel de sub rasante* [en línea]. S.l.: Universidad San Pedro. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/8013>.
- WANG, L., LI, X., CHENG, Y. y BAI, X., 2018. Effects of coal-metakaolin on the properties of cemented sandy soil and its mechanisms. *Construction and Building Materials* [en línea], vol. 166, pp. 592-600. ISSN 09500618. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.192. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.192>.

ANEXOS

Anexo N° 01: matriz de consistencia

| Matriz de consistencia | | | | | | |
|--|--|---|---|--|--|--|
| Tesis: “Variación de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante” | | | | | | |
| Problema | Objetivos | Hipótesis | Variables | Dimensiones | Indicadores | Metodología |
| <p>Problema general: ¿Cómo varía las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante?</p> <p>Problemas específicos: a) ¿Cómo se modifica la granulometría de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante? b) ¿Cuál es la variación de la consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante? c) ¿Cómo se modifica las partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante? d) ¿Cuál es la variación de la compactación de suelos arcillosos con 25</p> | <p>Objetivo general: Evaluar la variación de las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón para su uso como subrasante.</p> <p>Objetivos específicos: a) Establecer la modificación de la granulometría de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante. b) Determinar la variación de la consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante. c) Establecer la modificación de las partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.</p> | <p>Hipótesis general: Las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con ceniza de carbón mejoran para su uso como subrasante.</p> <p>Hipótesis específicas: a) La granulometría de los suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón varía para su uso como subrasante. b) La consistencia de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón mejora para su uso como subrasante. c) El contenido de partículas finas o polvo de arena de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % ceniza de carbón se incrementa para su uso como subrasante. d) La compactación de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón mejora para su uso como subrasante. e) La capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30</p> | <p>Variable independiente (X): ceniza de carbón</p> <p>Variable dependiente (Y): propiedades físicas y mecánicas del suelo.</p> | <p>- Ceniza de carbón.</p> <p>- Granulometría</p> <p>- Consistencia</p> <p>- Partículas finas o polvo de arena</p> <p>- Compactación</p> <p>- Capacidad de soporte</p> | <p>- Cantidad de ceniza de carbón.</p> <p>- Contenido de gravas</p> <p>- Contenido de arenas</p> <p>- Contenido de finos</p> <p>- Límite líquido</p> <p>- Límite plástico</p> <p>- Índice de plasticidad</p> <p>- Equivalente de arena</p> <p>- Máxima densidad seca</p> <p>- Óptimo contenido de humedad</p> <p>- Índice de CBR</p> | <p>Método de investigación: científico.</p> <p>Tipo de investigación: aplicada.</p> <p>Nivel de investigación: explicativo.</p> <p>Diseño de investigación: experimental.</p> <p>Población: La población fue el suelo existente de la subrasante del Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales, en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo en el departamento de Junín.</p> <p>Muestra: Para la determinación de la muestra se ha considerado el tipo de muestreo no probabilístico intencional, pues se extrajeron 300 kg de suelo de subrasante del Jr. Trujillo entre el Jr. Panamá y el Jr. Minerales</p> |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---|
| <p>%, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?</p> <p>e) ¿Cómo se modifica la capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante?</p> | <p>d) Determinar la variación de la compactación de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.</p> <p>e) Establecer la modificación de la capacidad de soporte de suelos arcillosos con 25 %, 30 % y 35 % de ceniza de carbón para su uso como subrasante.</p> | <p>% y 35 % de ceniza de carbón se incrementa para su uso como subrasante.</p> | | | | <p>por medio de una calicata, para realizar los ensayos de la Tabla 8 considerando tres repeticiones en cada uno.</p> |
|--|--|--|--|--|--|---|

Anexo N° 02: matriz de operacionalización de variables

Tabla 47. Operacionalización de las variables.

| Variable | Dimensiones | Indicadores | Unidad |
|--|-----------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Variable independiente (X): ceniza de carbón | Ceniza de carbón | Cantidad de ceniza de carbón | % |
| Variable dependiente (Y): propiedades físicas y mecánicas del suelo | Granulometría | Contenido de gravas | % |
| | | Contenido de arenas | % |
| | | Contenido de finos | % |
| | Consistencia | Límite líquido | % |
| | | Límite plástico | % |
| | | Índice de plasticidad | % |
| | Partículas finas o polvo de arena | Equivalente de arena | % |
| | Compactación | Máxima densidad seca | kg/m ³ |
| | | Óptimo contenido de humedad | % |
| | Capacidad de soporte | Índice de CBR | % |

Anexo N° 03: resumen de resultados obtenidos

Tabla 48. Resumen de datos obtenidos en laboratorio.

| Calicata | Vidrio (%) | Clasificación | Humedad (%) | Granulometría | | | Equivalente de arena (%) | Límites de consistencia | | | Proctor modificado | | CBR | |
|------------------|------------|---------------|-------------|---------------|------------|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|---|--------------------------|----------------|-----------------|
| | | | | Gravas (%) | Arenas (%) | Finos (%) | | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice de plasticidad (%) | Máxima densidad seca (g/cm ³) | Contenido de humedad (%) | 95 % de la MDS | 100 % de la MDS |
| Ceniza de carbón | | A - 1 - b (3) | 1.5 | 0 | 99.5 | 0.5 | | | | | | | | |
| | | A - 1 - b (3) | 1.2 | 1.5 | 98.4 | 0.1 | | | | | | | | |
| | | A - 1 - b (3) | 0.6 | 2.1 | 97.7 | 0.2 | | | | | | | | |
| Suelo patrón | 0 | A - 5 (4) | 15.00 | 5.00 | 33.50 | 61.50 | 8.7 | 27.00 | 16.30 | 10.70 | 2.11 | 9.15 | 6.32 | 10.70 |
| | 0 | A - 4 (3) | 15.80 | 5.30 | 33.00 | 61.70 | 8.9 | 25.70 | 16.50 | 9.20 | 2.10 | 9.54 | 5.60 | 8.84 |
| | 0 | A - 4 (4) | 14.90 | 3.40 | 32.90 | 63.80 | 8 | 27.80 | 17.60 | 10.20 | 2.04 | 10.28 | 4.60 | 6.03 |
| Suelo + 25 % CC | 25 | A - 4 (3) | | 4.20 | 38.30 | 57.50 | 16.2 | 31.50 | 22.30 | 9.20 | 1.92 | 12.38 | 22.20 | 32.25 |
| | 25 | A - 4 (3) | | 4.20 | 38.30 | 57.40 | 16.6 | 32.60 | 22.70 | 9.90 | 1.92 | 12.71 | 25.44 | 34.43 |
| | 25 | A - 4 (4) | | 2.40 | 38.30 | 59.20 | 16.4 | 31.80 | 23.10 | 8.70 | 1.94 | 12.07 | 24.31 | 34.79 |
| Suelo + 30 % CC | 30 | A - 4 (3) | | 4.10 | 42.10 | 53.80 | 17 | 35.40 | 26.70 | 8.70 | 1.83 | 14.50 | 37.24 | 40.66 |
| | 30 | A - 4 (3) | | 4.10 | 41.90 | 53.90 | 18.2 | 36.30 | 27.50 | 8.80 | 1.84 | 14.23 | 35.62 | 39.68 |
| | 30 | A - 4 (3) | | 2.60 | 44.80 | 52.60 | 19.4 | 36.00 | 28.60 | 7.40 | 1.84 | 13.81 | 33.61 | 38.84 |
| Suelo + 35 % CC | 35 | A - 4 (2) | | 6.50 | 46.00 | 47.50 | 19.2 | 37.70 | 30.30 | 7.40 | 1.76 | 17.49 | 51.32 | 55.97 |
| | 35 | A - 4 (3) | | 10.80 | 41.30 | 47.90 | 19.1 | 37.50 | 31.30 | 6.20 | 1.73 | 17.00 | 48.22 | 54.34 |
| | 35 | A - 4 (2) | | 5.80 | 45.50 | 48.70 | 20.1 | 40.10 | 33.40 | 6.70 | 1.75 | 18.00 | 49.68 | 62.05 |

Anexo N° 03: ensayos de laboratorio

Anexo N° 03.01: ceniza de carbón



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 21-05-22 | M-01 | SG-N°752022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.**

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

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: **Por el Cliente**

Método de Muestreo: **Cienza de Carbón**

Identificación de muestra: **Cienza de Carbón**

Profundidad: **Altitud (Cota):**

Napa freática: **Coordenadas UTM:**

TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
CLASIFICACIÓN SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)**

Análisis Granulométrico NTP 339.128

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 10 | 2.00 mm | 215.00 g | 22.4% | 77.6% |
| N° 20 | 0.85 mm | 325.00 g | 56.4% | 43.6% |
| N° 40 | 0.43 mm | 215.00 g | 78.8% | 21.2% |
| N° 60 | 0.25 mm | 102.00 g | 89.5% | 10.5% |
| N° 100 | 0.15 mm | 85.00 g | 98.3% | 1.7% |
| N° 200 | 0.08 mm | 11.00 g | 99.5% | 0.5% |
| PASA | | 5.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 958.00 g | 100.0% | 100% |

Contenido de Humedad según NTP 339.127

| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|------------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 14 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 422.36 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M ₁₀₀ | (g) | 1152.60 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M ₂₀₀ | (g) | 1141.52 |
| (D) Peso de Suelo Seco (G-A) | M _s | (g) | 719.16 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 11.08 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | 1.5% |

Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total: **- Tamaño máximo partícula % que pasa Masa mínima recomendada - espécimen =**

Clasificación de Suelos

SUCS (NTP 339.134) : **SP** AASHTO (NTP 339.135) : **A-1-b (5)**

Arena pobremente graduada

Resultados de la Granulometría

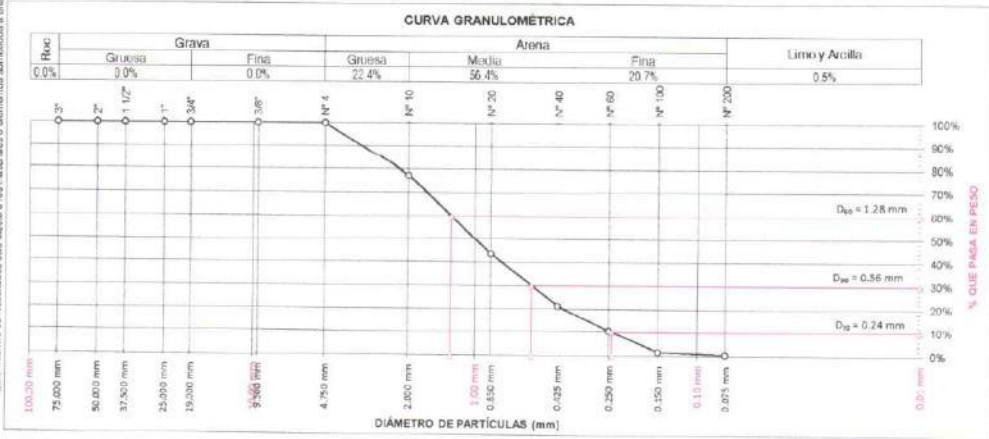
| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3" | 0.00% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 99.50% |
| Finos | [φ < N° 200] | 0.50% |

Coefficientes / Finos ≤ 12% (NTP 339.134)

$D_{10} = 0.24 \text{ mm}$ $D_{30} = 0.56 \text{ mm}$ $D_{60} = 1.28 \text{ mm}$

$C_u = D_{60} / D_{10} = 5.33$

$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}) = 1.00$



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

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**
Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

SILVER GEOTEC S.A.C.
Laboratorio de Ensayos de Materiales
Laboratorio de Ensayos de Materiales (Suelos, Concreto y Pavimento)

Ing. Civil **Johnny R. O. OLIVERA**
C.I.P. N° 204322

RUC: 20601685524 (Pág. 01)



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 21-05-22 | M-03 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:
Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:
UBICACIÓN: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
DISTRITO: CHILCA
PROVINCIA: HUANCAYO
DEPARTAMENTO: JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
Modalidad: *Por el Cliente* Profundidad: Altitud (Cota):
Método de Muestreo: Nape freática: Coordenadas UTM:
Identificación de muestra: *Ceniza de Carbón*

Análisis Granulométrico NTP 339.128

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|------------------|--------------------|-------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 25.00 g | 2.1% | 97.9% |
| N° 10 | 2.00 mm | 415.00 g | 36.1% | 63.9% |
| N° 20 | 0.85 mm | 324.00 g | 62.7% | 37.3% |
| N° 40 | 0.43 mm | 245.00 g | 82.8% | 17.2% |
| N° 60 | 0.25 mm | 117.00 g | 92.4% | 7.6% |
| N° 100 | 0.15 mm | 65.00 g | 97.7% | 2.3% |
| N° 200 | 0.08 mm | 25.00 g | 99.8% | 0.2% |
| PASA | | 3.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 1219.00 g | 100.0% | 100% |

Contenido de Humedad según NTP 339.127

| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|-------------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 51 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 422.36 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{100%} | (g) | 1145.26 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{200%} | (g) | 1141.20 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 716.84 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 4.06 |
| (F) Contenido de Humedad (100% E/D) | w | (%) | 0.6% |

Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total:
- Tamaño máximo partícula % que pasa: Masa mínima recomendada - espécimen =

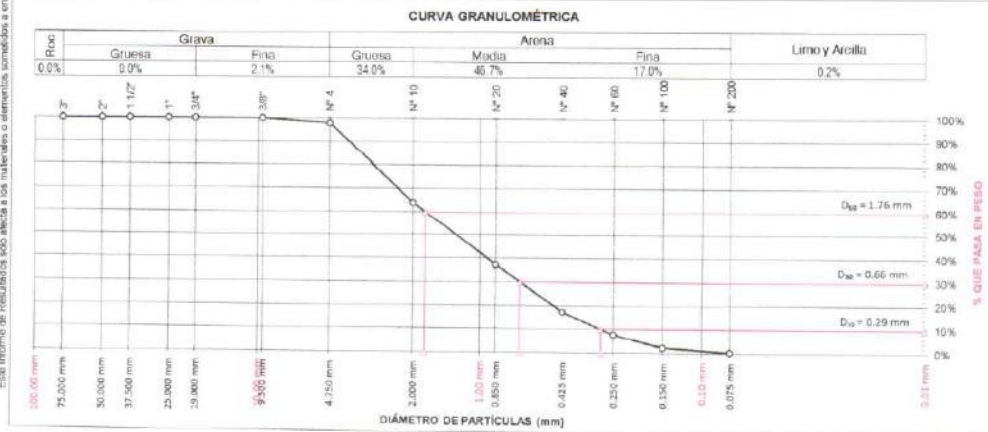
Clasificación de Suelos
SUCS (NTP 339.134) : SP AASHTO (NTP 339.135) : A-1-b (3)
Arena pobremente graduada

Resultados de la Granulometría

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 2.10% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 97.70% |
| Fina | [φ < N° 200] | 0.20% |

Coefficientes / Finos ≤ 12% (NTP 339.134)

| | | |
|--|----------------------------|----------------------------|
| $D_{10} = 0.29 \text{ mm}$ | $D_{30} = 0.66 \text{ mm}$ | $D_{60} = 1.76 \text{ mm}$ |
| $C_u = D_{60} / D_{10}$ | | 6.19 |
| $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$ | | 0.87 |



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

OBSERVACIONES:
Realizado: *Tec. Roy S.R.*
Revisado: *ing. Johnny R. O.*

RUC: 20601685524
 [Pág. 03]



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 21-05-22 | M-02 | SG-N°75/2022 |

SOLICITANTE:
Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:
UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
Modalidad : **Por el Cliente** Profundidad : Altitud (Cota) :
Método de Muestreo : Napa frías Coordinadas UTM :
Identificación de muestra : **Caniza de Carbón**

Análisis Granulométrico NTP 339.128

| Tamices ASTM F11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|-----------------|--------------------|-------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 13.00 g | 1.5% | 98.5% |
| N° 10 | 2.00 mm | 324.00 g | 38.0% | 62.0% |
| N° 20 | 0.85 mm | 218.00 g | 62.6% | 37.4% |
| N° 40 | 0.43 mm | 185.00 g | 83.4% | 16.6% |
| N° 60 | 0.25 mm | 95.00 g | 94.1% | 5.9% |
| N° 100 | 0.15 mm | 41.00 g | 98.8% | 1.2% |
| N° 200 | 0.08 mm | 10.00 g | 99.9% | 0.1% |
| PASA | | 1.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 887.00 g | 100.0% | 100% |

Contenido de Humedad según NTP 339.127

| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|------------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | | | N° 45 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 415.35 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{hum} | (g) | 1025.38 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{sec} | (g) | 1018.25 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 602.89 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _a | (g) | 7.11 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | 1.2% |

Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seccionado como representativo de la muestra total
- Tamaño máximo partícula % que pasa
Masa mínima recomendada - espécimen =

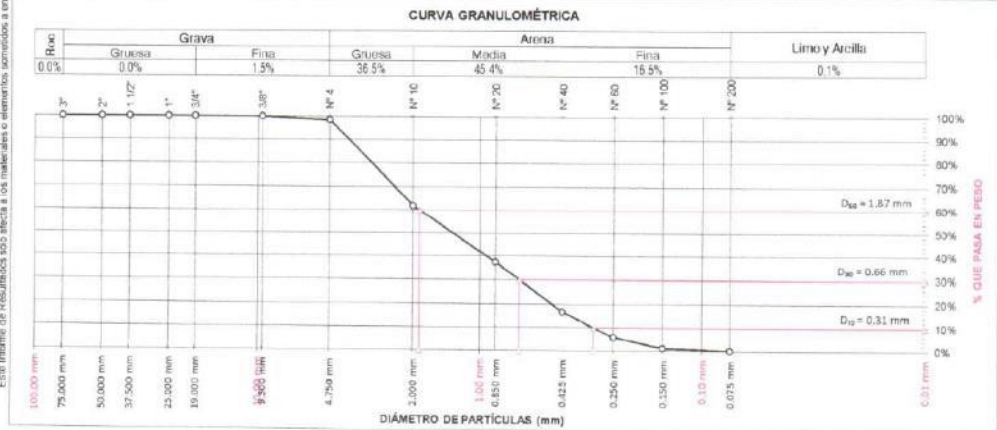
Clasificación de Suelos
SUCS (NTP 339.134) : **SP** AASHTO (NTP 339.135) : **A-1-b (3)**
Arena pobremente graduada

Resultados de la Granulometría

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 1.50% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 98.40% |
| Finos | [φ < N° 200] | 0.10% |

Coefficientes / Finos ≤ 12% (NTP 339.134)

| | | |
|--|----------------------------|----------------------------|
| $D_{10} = 0.31 \text{ mm}$ | $D_{30} = 0.66 \text{ mm}$ | $D_{60} = 1.87 \text{ mm}$ |
| $C_u = D_{60} / D_{10}$ | | 6.68 |
| $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60})$ | | 0.77 |



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

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**
Revisado: **Ing. Johnny R. O.**



Ing. Civil **Johnny R. RAMÍREZ OLIVERA** RUC: 20601685524
C.I.P. 17204332 (Pág. 02)

Anexo N° 03.02: suelo patrón



Jr. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elia, Lima
 Pje. Nuñez N° 122 152 Chica, Huancayo
 Telef: 964246584 / 955905584
 Correo: silvergeotec@igymail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente
 Método de Muestreo : Excavación Manual
 Identificación de muestra : Patrón 01 M-01
 Profundidad : 1.50 m
 Napa freática : No presenta
 Altitud (Cota) : 3.241,00 m s.n.m.
 Coordenadas UTM : E-476016 N-8968321

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 112.00 g | 7.2% | 92.8% |
| N° 10 | 2.00 mm | 85.00 g | 12.7% | 87.3% |
| N° 20 | 0.85 mm | 46.00 g | 15.7% | 84.3% |
| N° 40 | 0.43 mm | 96.00 g | 22.0% | 78.0% |
| N° 60 | 0.25 mm | 61.00 g | 26.0% | 74.0% |
| N° 100 | 0.15 mm | 55.00 g | 29.5% | 70.5% |
| N° 200 | 0.08 mm | 24.00 g | 31.1% | 68.9% |
| PASA | | 1066.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 1547.00 g | 100.0% | 100% |

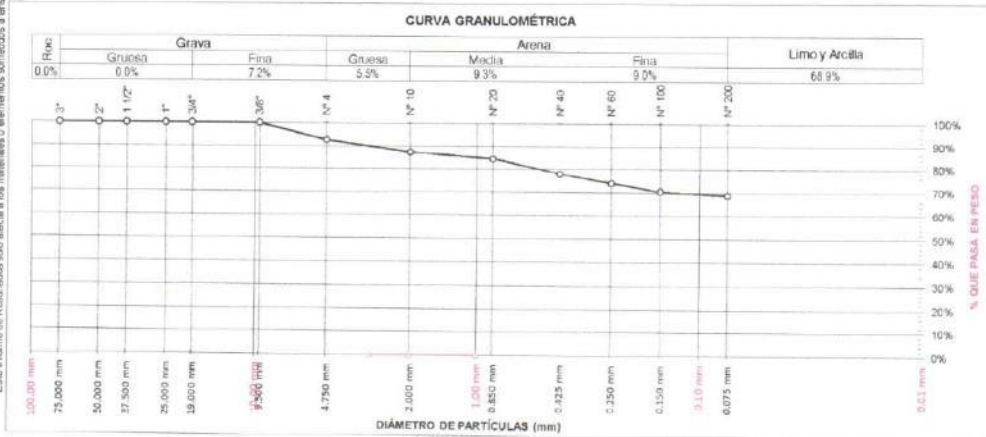
| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|------------------|--------|---------|
| | Var | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | 16-25 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 419.38 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{OH1} | (g) | 2152.36 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{OS1} | (g) | 1923.84 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 1510.28 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 228.72 |
| (F) Contenido de Humedad (100 * E/D) | w | (%) | 15.0% |

Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
 - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - espécimen =

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 7.20% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 23.90% |
| Finos | [φ < N° 200] | 68.90% |

Clasificación de Suelos
 SUCS (NTP 339.134) : CL AASHTO (NTP 339.135) : A-5 (6)
 Arcilla arenosa de baja plasticidad.

| | | |
|--|------------|------------|
| $D_{10} =$ | $D_{30} =$ | $D_{60} =$ |
| $C_u = D_{60} / D_{10}$ | | |
| $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ | | |



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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



RUC: 20601685524
 (Pág. 01)



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2509 Int. 104 Urb. Elia, Lima
 Pje. Nuñez N° 122, 152 Chica, Huancayo
 Telef: 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | OD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | BQ. N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**

UBICACIÓN: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO: CHILCA
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

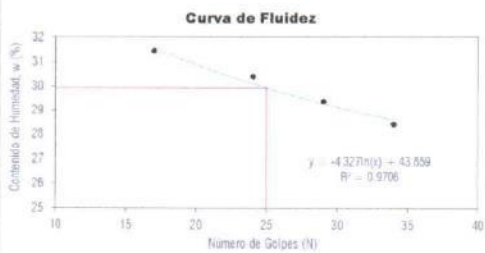
LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Por el Cliente Profundidad: 1.50 m Altitud (Cota): 3.241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo: Excavación Manual Napa freática: N.P. Coordenadas UTM: E 476016 N 8666321
 Identificación de muestra: Patrón 01 M-01

Limites de Atterberg (NTP 339.129)

| Limite Líquido (Método Multipunto) | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Variable | Nro Var | Unidad | Nro | | | |
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 17 | 24 | 29 | 34 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 17 | N° 19 | N° 21 | N° 36 |
| (A) Masa de Contenedor Vacio | M _C | (g) | 21.41 | 22.15 | 22.36 | 21.45 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 51.26 | 52.14 | 51.48 | 52.60 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 44.12 | 45.15 | 44.87 | 45.78 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 22.71 | 23.00 | 22.51 | 24.33 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 7.14 | 6.99 | 6.61 | 6.81 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 31.44 | 30.39 | 29.36 | 28.40 |

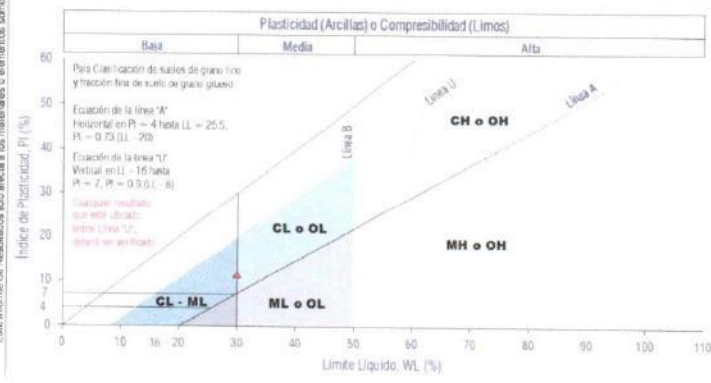


Limite Plástico (Método Manual)

| Variable | Nro Var | Unidad | Nro | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 12 | N° 25 | N° 34 | N° 41 |
| (A) Masa de Contenedor Vacio | M _C | (g) | 21.21 | 21.71 | 21.61 | 21.42 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 28.36 | 27.35 | 28.69 | 29.10 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 27.26 | 26.50 | 27.61 | 27.91 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 6.04 | 4.79 | 6.00 | 6.49 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.11 | 0.88 | 1.08 | 1.19 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 18.38 | 18.37 | 18.00 | 18.34 |

| Resultados Limites de Atterberg (NTP 339.129) | | | | | |
|---|---------|-----------------------------------|---------|-----------------------|---------|
| Liquid Limit (LL _w) | : 29.9% | Plastic Limit (PL _{wp}) | : 18.3% | Plasticity Index (PI) | : 11.6% |

Clasificación de Suelos
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)
Arcilla arenosa de baja plasticidad.



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea 'A' *Sobre A*

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Geotecnia Geoesica
 Laboratorio de Rocios, Concreto y Pavimento

Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
 C.I. N° 2049352

RUC: 20601685204
 [Pág. 02]



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2509 Int. 104 Urb. Elia, Lima
 Pje. Nuñez N° 122, 152 Chica, Huancayo
 Telef: 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | OD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | BQ. N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **ENSAYOS REALIZADOS:**

UBICACIÓN: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO: CHILCA
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

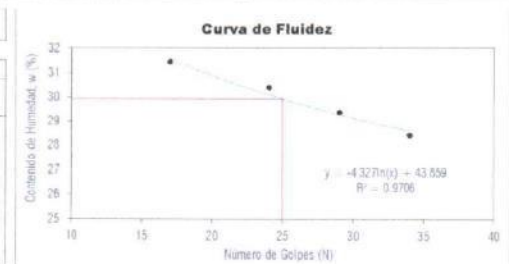
LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Por el Cliente Profundidad: 1.50 m Altitud (Cota): 3.241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo: Excavación Manual Napa freática: N.P. Coordenadas UTM: E 476016 N 8666321
 Identificación de muestra: Patrón 01 M-01

Limites de Atterberg (NTP 339.129)

| Limite Líquido (Método Multipunto) | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Variable | Nro Var | Unidad | Nro | | | |
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 17 | 24 | 29 | 34 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 17 | N° 19 | N° 21 | N° 36 |
| (A) Masa de Contenedor Vacio | M _C | (g) | 21.41 | 22.15 | 22.36 | 21.45 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 51.26 | 52.14 | 51.48 | 52.60 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 44.12 | 45.15 | 44.87 | 45.78 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 22.71 | 23.00 | 22.51 | 24.33 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 7.14 | 6.99 | 6.61 | 6.81 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 31.44 | 30.39 | 29.36 | 28.40 |

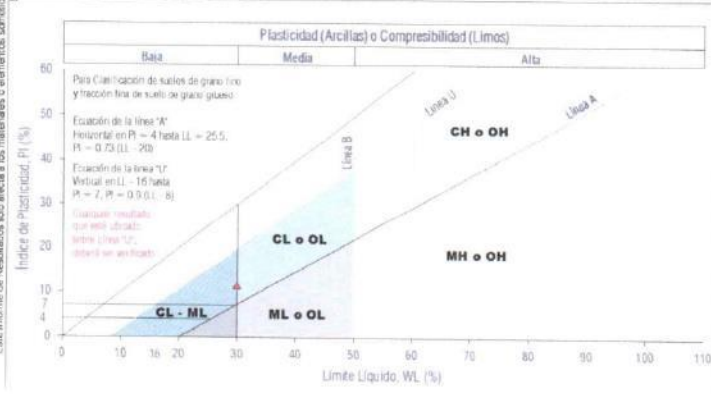


Limite Plástico (Método Manual)

| Variable | Nro Var | Unidad | Nro | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 12 | N° 25 | N° 34 | N° 41 |
| (A) Masa de Contenedor Vacio | M _C | (g) | 21.21 | 21.71 | 21.61 | 21.42 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 28.36 | 27.35 | 28.69 | 29.10 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 27.26 | 26.50 | 27.61 | 27.91 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 6.04 | 4.79 | 6.00 | 6.49 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.11 | 0.88 | 1.08 | 1.19 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 18.38 | 18.37 | 18.00 | 18.34 |

| Resultados Limites de Atterberg (NTP 339.129) | | | | | |
|---|---------|-----------------------------------|---------|-----------------------|---------|
| Liquid Limit (LL _w) | : 29.9% | Plastic Limit (PL _{wp}) | : 18.3% | Plasticity Index (PI) | : 11.6% |

Clasificación de Suelos
 SUCS (ASTM D2487-17) : CL AASHTO (ASTM D3282-15) : A-5 (6)
Arcilla arenosa de baja plasticidad.



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea 'A' *Sobre A*

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

Realizado: *Tec. Roy S.R.*
 Revisado: *Ing. Johnny R.O.*

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Geotecnia Geoesica
 Laboratorio de Rocios, Concreto y Pavimento

Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
 C.I. N° 2049352

RUC: 20601685204
 [Pág. 02]



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 20-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S A C
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

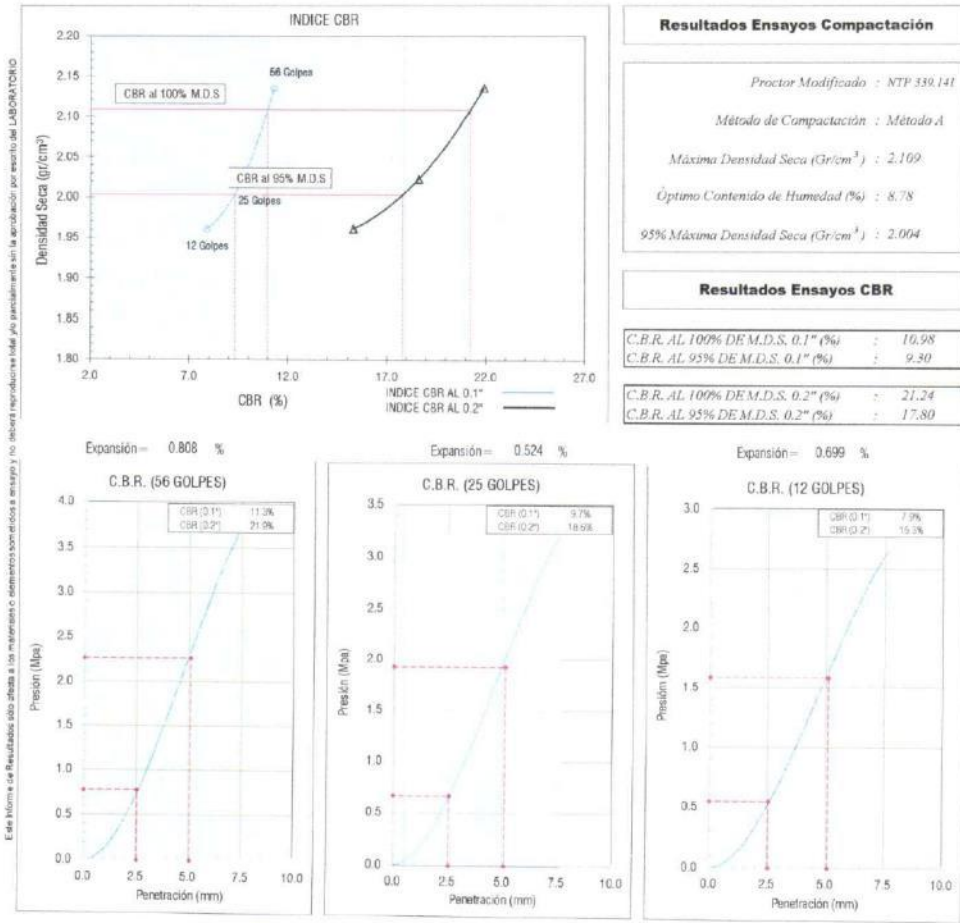
ENSAYOS REALIZADOS:

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO SEGUN NORMA NTP 339.145

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Por el Cliente Profundidad: 1.50 m Altitud (Cota) : 3.241 00 m s n m
 Identificación muestra: Patrón 01 M-01 Símbolo del Suelo: CL Coordenadas UTM : E 476015 N 8666321
 Clasificación del Suelo: Arcilla arenosa de baja plasticidad

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según NTP 339.145



Resultados Ensayos Compactación

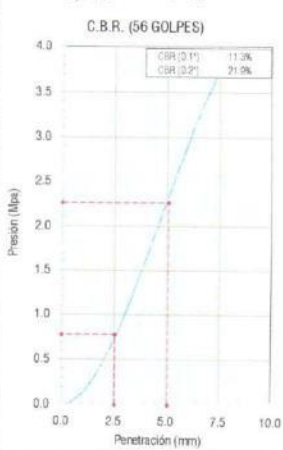
Proctor Modificado : NTP 339.141
 Método de Compactación : Método A
 Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 2.109
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 8.78
 95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 2.004

Resultados Ensayos CBR

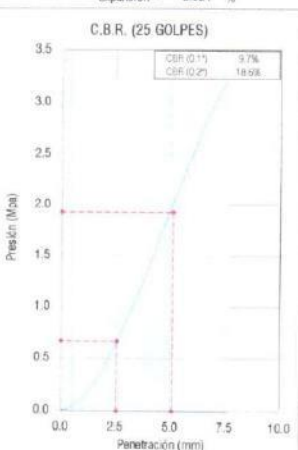
| | |
|-----------------------------------|---------|
| C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1" (%) | : 10.98 |
| C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1" (%) | : 9.30 |
| C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2" (%) | : 21.24 |
| C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2" (%) | : 17.80 |

Este informe de resultados solo abarca a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total o parcialmente sin la autorización por escrito del LABORATORIO

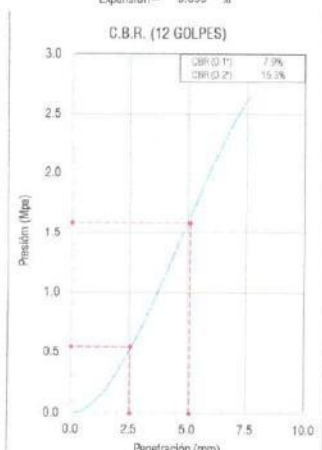
Expansión = 0.808 %



Expansión = 0.524 %



Expansión = 0.699 %



OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Ing. Civil Johnny R. RAYMUNDO OLIVERA RUC: 20601685524
 C.I.P. N° 2004752 [Pág. 04]



Ángel Fernández Quiroz N° 2899 Urb. 104 Urb. Edo. Lima
 Paje. N° 122 152 Chilca, Huancayo
 Telef. 964046688 / 955505564
 Correo: silvergeotec@gmail.com

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3,241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : No presenta Coordenadas UTM : E 476016 N 8666321
 Identificación de muestra : Patrón 01 M 01

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 19-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

ENSAYOS REALIZADOS:

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA ASTM D2419

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419

| Descripción | Nro | | Ensayos | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Variables | Unidad | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 | Muestra 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 | N° 01 | N° 02 | N° 03 |
| (A) Hora inicio de saturación | --- | min | 12:00 a. m. | 02:30 p. m. | 02:32 p. m. | 02:34 p. m. |
| (B) Hora fin de saturación | [A + 10min ± 1min] | min | 12:00 a. m. | 02:40 p. m. | 02:42 p. m. | 02:44 p. m. |
| (C) Hora inicio de sedimentación | --- | min | 12:00 a. m. | 02:41 p. m. | 02:43 p. m. | 02:45 p. m. |
| (D) Hora fin de sedimentación | [C + 20min + 15s] | min | 12:00 a. m. | 03:01 p. m. | 03:03 p. m. | 03:05 p. m. |
| (E) Altura Material fino | --- | pulg | 10.30 | 10.70 | 10.00 | 11.30 |
| (F) Altura arena | --- | pulg | 0.90 | 0.90 | 0.70 | 1.00 |
| (G) Equivalente de arena | [E + F] x 100 | % | 8.7% | 8.4% | 7.0% | 8.8% |
| (H) Promedio equivalente de arena | EA | (%) | 8.2% | | | |

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Ingeniería Geotécnica
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimento
 Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
 C.I.P. N° 204332

RUC: 20601685524
 [Pág. 05]

Anexo N° 03.03: suelo más 25 % de ceniza de carbón



Jr. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elso, Lima
 Pje. Nufes N° 122-152 Chica, Huancaayo
 Telef. 964046688 / 955595584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. **ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

TESIS:

"VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente
 Profundidad : 1.50 m
 Altitud (Cota) : 3.241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual
 Napa freática : No presenta
 Coordenadas UTM : E 475939 N 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 25% de Ceniza de Carbón: M-01

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 78.00 g | 4.2% | 95.8% |
| N° 10 | 2.00 mm | 91.00 g | 9.1% | 90.9% |
| N° 20 | 0.85 mm | 103.00 g | 14.6% | 85.4% |
| N° 40 | 0.43 mm | 155.00 g | 22.9% | 77.1% |
| N° 60 | 0.25 mm | 125.00 g | 29.7% | 70.3% |
| N° 100 | 0.15 mm | 154.00 g | 37.9% | 62.1% |
| N° 200 | 0.08 mm | 85.00 g | 42.5% | 57.5% |
| PASA | | 1070.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 1861.00 g | 100.0% | 100% |

| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 0.00 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{mo} | (g) | 0.00 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{ss} | (g) | 0.00 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 0.00 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 0.00 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | -- |

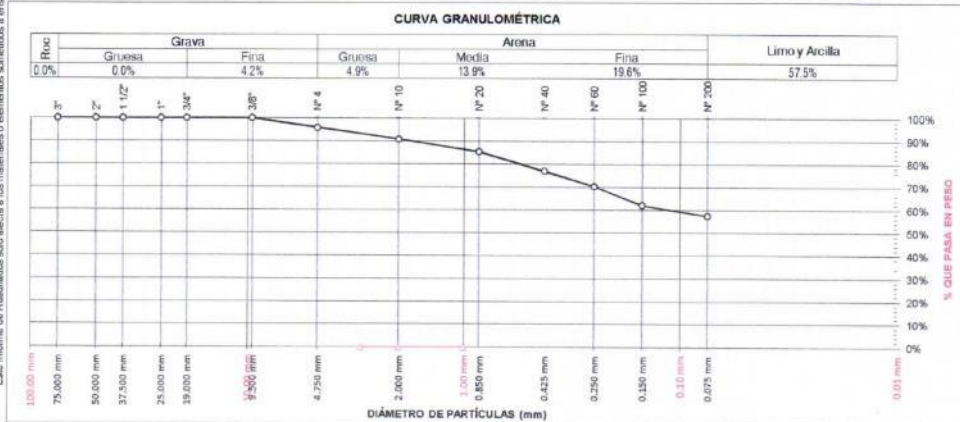
Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total

- Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - espécimen =

| | | | |
|--------------------------------------|----|----------------------|---------|
| SUCS (NTP 339.134) | CL | AASHTO (NTP 339.135) | A-4 (3) |
| Arcilla arenosa de baja plasticidad. | | | |

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 4.20% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 38.30% |
| Finos | [φ < N° 200] | 57.50% |

| | | |
|--|------------|------------|
| $D_{10} =$ | $D_{30} =$ | $D_{60} =$ |
| $C_u = D_{60} / D_{10}$ | | |
| $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$ | | |



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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Ing. Civil **Johany R. RAMUNDO OLIVERA** RUC: 20601685524
 C.I.P. N° 204552 [Pag. 01]



Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Niños N° 122 152 Chila, Huancayo
 Telef: 96404664 / 95550504
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 20-05-22 | M-01 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:

"VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE"

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3.241 00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : N.P. Coordenadas UTM : E 475938 N 8696272
 Identificación de muestra : Adición del 25% de Ceniza de Carbón M-01

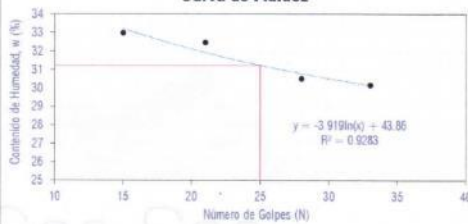
Limites de Atterberg (NTP 339.129)

Límite Líquido (Método Multipunto)

Este informe de Resultados solo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reconocerse total y/o parcialmente en la aprobación por escrito del (LAV) (LAV)

| Variable | Nro | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 15 | 21 | 26 | 33 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 15 | N° 21 | N° 19 | N° 31 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 22.02 | 22.09 | 21.98 | 21.48 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 48.08 | 48.41 | 40.80 | 37.19 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 40.11 | 41.96 | 36.40 | 33.55 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 18.09 | 19.87 | 14.42 | 12.07 |
| (E) Masa of Water (B-C) | M _w | (g) | 5.97 | 6.45 | 4.40 | 3.64 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 33.00 | 32.46 | 30.51 | 30.19 |

Curva de Fluidez



Límite Plástico (Método Manual)

| Variable | Nro | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 12 | N° 13 | N° 15 | N° 61 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 21.74 | 21.62 | 21.89 | 22.45 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 29.23 | 31.55 | 32.14 | 30.58 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 27.87 | 29.74 | 30.25 | 29.11 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 6.13 | 8.12 | 8.36 | 6.66 |
| (E) Masa of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.36 | 1.81 | 1.89 | 1.47 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 22.19 | 22.29 | 22.61 | 22.67 |

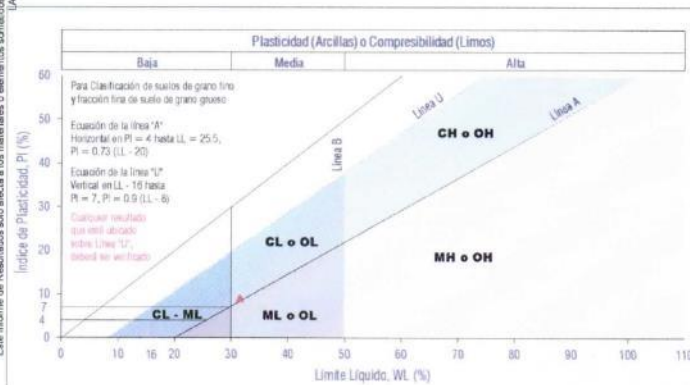
Resultados Límites de Atterberg (NTP 339.129)

| | | | | | |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|
| Liquid Limit (LL _{w_L}) | : 31.5% | Plastic Limit (PL _{w_p}) | : 22.3% | Plasticity Index (PI) | : 9.2% |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|

Clasificación de Suelos

| | | | |
|----------------------|----|------------------------|---------|
| SUCS (ASTM D2487-17) | CL | AASHTO (ASTM D3282-15) | A-4 (3) |
|----------------------|----|------------------------|---------|

Arcilla arenosa de baja plasticidad.



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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Geotecnia Geofísica
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos
 Ing. Civil Johnny R. RAÍMUNDO OLIVERA
 C.I.F. N° 204382

RUC: 20601685524
 [Pág. 02]



Av. Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Nules N° 122-152 Chilca, Huancayo
 Telef. 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-02 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT** TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
 DISTRITO : CHILCA CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
 Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3,241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : No presenta Coordenadas UTM : E 475938 N 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 25% de Ceniza de Carbón: M-02

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 81.00 g | 4.2% | 95.8% |
| N° 10 | 2.00 mm | 102.00 g | 9.6% | 90.4% |
| N° 20 | 0.85 mm | 125.00 g | 16.1% | 83.9% |
| N° 40 | 0.43 mm | 156.00 g | 24.2% | 75.8% |
| N° 60 | 0.25 mm | 132.00 g | 31.1% | 68.9% |
| N° 100 | 0.15 mm | 174.00 g | 40.2% | 59.8% |
| N° 200 | 0.08 mm | 45.00 g | 42.6% | 57.4% |
| PASA | | 1100.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 1915.00 g | 100.0% | 100% |

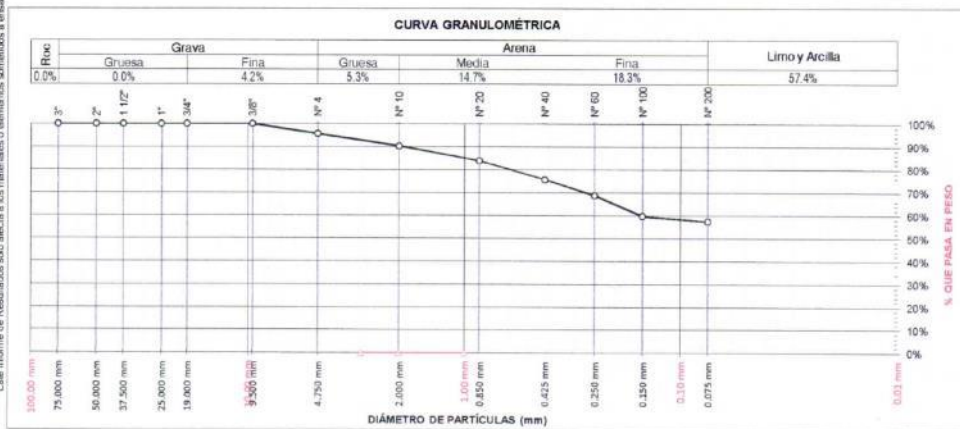
| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|------------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 0.00 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{MS} | (g) | 0.00 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{MS'} | (g) | 0.00 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 0.00 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 0.00 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | -- |

Requisitos mínimos de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
 - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - espécimen =

| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| SUCS (NTP 339.134) CL | AASHTO (NTP 339.135) A-4 (3) |
| Arcilla arenosa de baja plasticidad. | |

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 4.20% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 38.30% |
| Finas | [φ < N° 200] | 57.40% |

| | | |
|---|-------------------|-------------------|
| D ₁₀ = | D ₃₀ = | D ₆₀ = |
| C _u = D ₆₀ / D ₁₀ | | |
| C _c = (D ₃₀) ² / (D ₁₀ * D ₆₀) | | |



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a ladirecrices para dígitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D690.

OBSERVACIONES:  SILVER GEOTEC S.A.C. Geotecnía Geológica, Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimento. RUC: 20601685524 [Pág. 01]



Angel Fernández Quiroz N° 3809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Nules N° 122-152 Crlica, Huancayo
 Telef. 964046685 / 95505554
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NUMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 20-05-22 | M-02 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICA, MARLON HUBERT

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

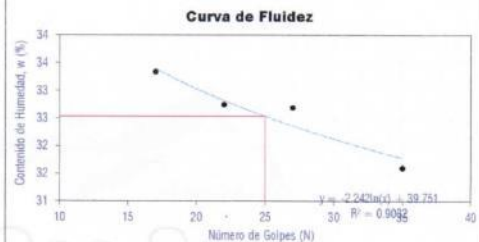
TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : 3,241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : N.P. Coordenadas UTM : E. 475938 N. 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 25% de Ceniza de Carbón. M-02

Limites de Atterberg (NTP 339.129)

Límite Líquido (Método Multipunto)

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | | | | |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 17 | 22 | 27 | 35 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 17 | N° 15 | N° 36 | N° 75 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 22.15 | 22.47 | 22.13 | 22.05 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{húmedo} | (g) | 46.15 | 47.12 | 41.41 | 39.25 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{seco} | (g) | 40.15 | 41.04 | 36.66 | 35.12 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 18.00 | 18.57 | 14.53 | 13.07 |
| (E) Masa de Water (B-C) | M _w | (g) | 6.00 | 6.08 | 4.75 | 4.13 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 33.33 | 32.74 | 32.69 | 31.60 |



Límite Plástico (Método Manual)

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | | | | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 14 | N° 36 | N° 25 | N° 74 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 21.25 | 22.12 | 22.36 | 21.51 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{húmedo} | (g) | 30.12 | 31.25 | 32.45 | 31.31 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{seco} | (g) | 28.47 | 29.57 | 30.58 | 29.51 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 7.22 | 7.45 | 8.22 | 8.00 |
| (E) Masa de Water (B-C) | M _w | (g) | 1.65 | 1.68 | 1.87 | 1.80 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 22.85 | 22.55 | 22.75 | 22.58 |

Resultados Limites de Atterberg (NTP 339.129)

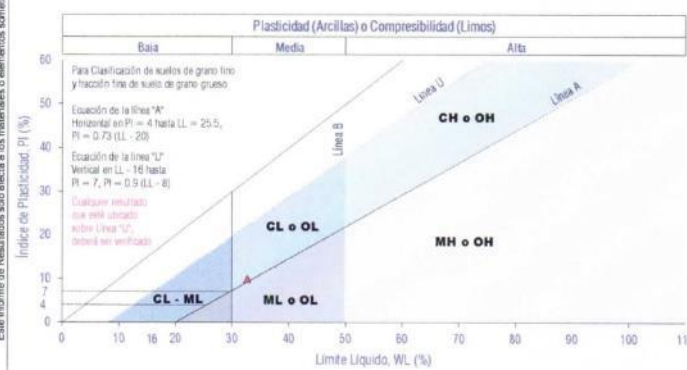
| | | | | | |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|
| Liquid Limit (LL _{w_L}) | : 32.0% | Plastic Limit (PL _{w_P}) | : 22.7% | Plasticity Index (PI) | : 9.9% |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|

Clasificación de Suelos

| | | | |
|----------------------|----|------------------------|---------|
| SUCS (ASTM D2487-17) | CL | AASHTO (ASTM D3382-15) | A-4 (3) |
|----------------------|----|------------------------|---------|

Arcilla arenosa de baja plasticidad.

Este informe de Resultados solo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá negociarse total ni parcialmente sin la autorización por escrito del Laboratorio de Ensayos de Materiales.



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea "A" *Sobre A*

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S. R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

RUC: 20601685524
 [Pág. 02]

Anexo N° 03.04: suelo más 30 % de ceniza de carbón



Jr. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Nuñez N° 122-152 Chica, Huancayo
 Telef. 964046668 / 955595584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT** TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
 Modalidad : **Por el Cliente** Profundidad : **1.50 m.** Altitud (Cota) : **3,241.00 m.s.n.m**
 Método de Muestreo : **Excavación Manual** Napa freática : **No presenta** Coordenadas UTM : **E 475838 N 8668272**
 Identificación de muestra : **Añadido del 30% de Ceniza de Carbón M-01.**

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 87.00 g | 4.1% | 95.9% |
| N° 10 | 2.00 mm | 185.00 g | 12.7% | 87.3% |
| N° 20 | 0.85 mm | 143.00 g | 19.4% | 80.6% |
| N° 40 | 0.43 mm | 115.00 g | 24.8% | 75.2% |
| N° 60 | 0.25 mm | 156.00 g | 32.1% | 67.9% |
| N° 100 | 0.15 mm | 165.00 g | 39.8% | 60.2% |
| N° 200 | 0.08 mm | 136.00 g | 46.2% | 53.8% |
| PASA | | 1150.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 2137.00 g | 100.0% | 100% |

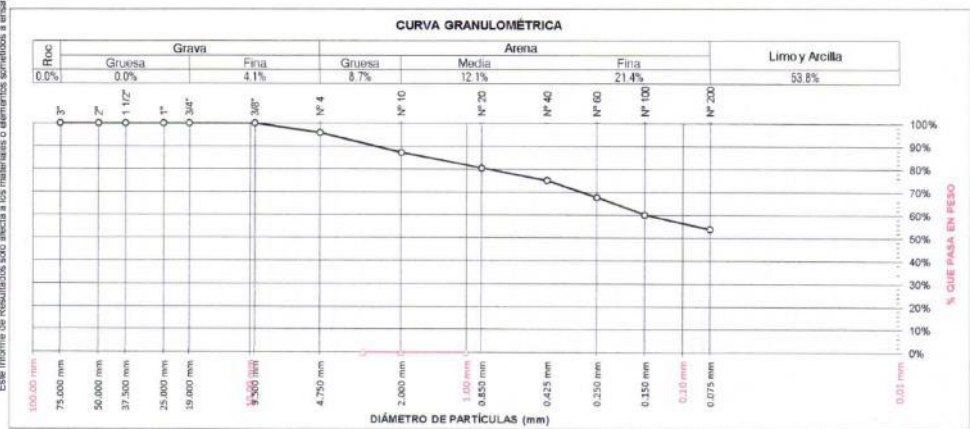
| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|-----------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | | | N° 00 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 0.00 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{CH} | (g) | 0.00 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M _{CS} | (g) | 0.00 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 0.00 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 0.00 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | -- |

Requisitos mínimos de especimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
 - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - especimen =

| | | | |
|---|----|----------------------|---------|
| SUCS (NTP 339.134) | CL | AASHTO (NTP 339.135) | A-4 (3) |
| <i>Arcilla arenosa de baja plasticidad.</i> | | | |

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 4.10% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 42.10% |
| Finos | [φ < N° 200] | 53.80% |

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



Todos los valores observados y calculados se ajustarán a ladirectrices para digitos significativos y redondeo establecidas en la Práctica ASTM D6925

OBSERVACIONES:
 Realizado: **Tec. Roy S.R.**
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

Ing. Ciro Johnny R. RIQUELME OLIVERA
 C.I.P. N° 2049352 RUC: 20601685524 (Pág. 01)



Ángel Fernández, Queros N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Nules N° 122, 152, Chilca, Huancayo
 Telef. 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 28-05-22 | M-01 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:
Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:
 UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

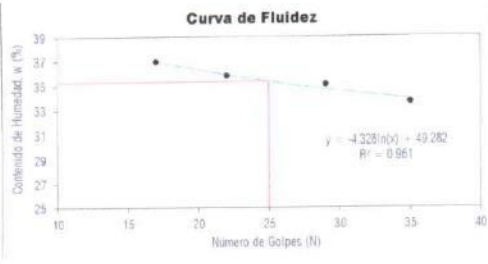
ENSAYOS REALIZADOS:
 LÍMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
 Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3.241,00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa Plástica : N.P. Coordenadas UTM : E 475938 N 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 30% de Ceniza de Carbón, M-01

Límites de Atterberg (NTP 339.129)

Límite Líquido (Método Multipunto)

| Variable | Nro | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var | Unidad | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 17 | 22 | 29 | 35 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 17 | N° 28 | N° 69 | N° 32 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _C | (g) | 22.12 | 22.11 | 22.01 | 21.70 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{SH} | (g) | 42.35 | 45.12 | 47.26 | 46.85 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{SS} | (g) | 36.89 | 39.05 | 40.70 | 40.52 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 14.77 | 16.94 | 18.69 | 18.62 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 5.46 | 8.07 | 6.56 | 6.33 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 36.97 | 35.83 | 35.10 | 33.63 |



Límite Plástico (Método Manual)

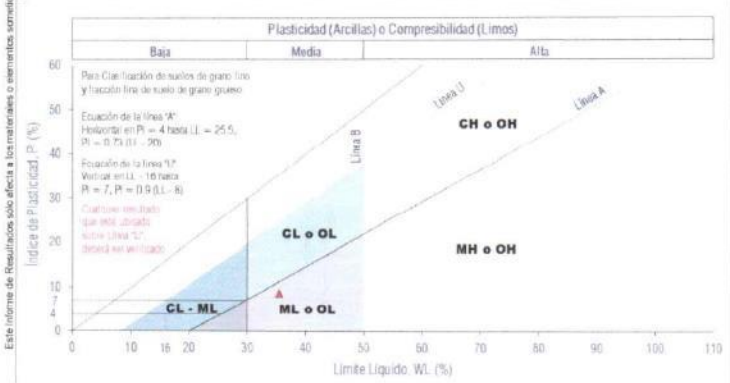
| Variable | Nro | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var | Unidad | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 25 | N° 26 | N° 27 | N° 14 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _C | (g) | 23.25 | 22.62 | 22.78 | 23.41 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{SH} | (g) | 30.12 | 32.14 | 31.75 | 31.62 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{SS} | (g) | 28.68 | 30.11 | 29.88 | 29.89 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _S | (g) | 5.43 | 7.49 | 7.10 | 8.48 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.44 | 2.03 | 1.87 | 1.73 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 26.52 | 27.10 | 26.34 | 26.70 |

Resultados Límites de Atterberg (NTP 339.129)

| | | | | | |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|
| Liquid Limit (LL _{w_L}) | : 35.4% | Plastic Limit (PL _{w_p}) | : 26.7% | Plasticity Index (PI) | : 8.7% |
|---|---------|--|---------|-----------------------|--------|

Clasificación de Suelos

| | |
|----------------------|------------------------|
| SUCS (ASTM D2487-17) | AASHTO (ASTM D3282-15) |
|----------------------|------------------------|



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limo inorgánico de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea 'A': **Sobre A**

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. G.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Ingeniería Geotécnica
 Laboratorio de Ensayos y Perforante

Ing. Civil Johnny R. ESPINOZA OLIVERA
 C.I.P. N° 204372

RUC: 20601685524
 [Pag. 02]



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 29-05-22 | M-01 | SG. N°75/2022 |

SOLICITANTE:
Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:
UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C
DISTRITO : CHILCA
PROVINCIA : HUANCAYO
DEPARTAMENTO : JUNIN

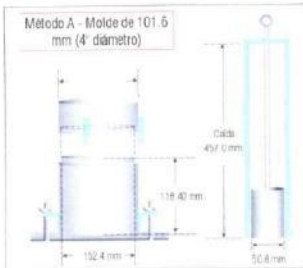
ENSAYOS REALIZADOS:
PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA NTP 339.141
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
Modalidad: Por el Cliente Profundidad: 1.50 m Altitud (Cota): 3.241.00 m s.n.m.
Identificación muestra: Adición del 30% de Ceniza de Carbón M-01 Coordenadas UTM E: 475838 N: 8666272
Procedimiento Utilizado: Método A Gs: 2.80

Compactación de suelo - Proctor Modificado según NTP 339.141

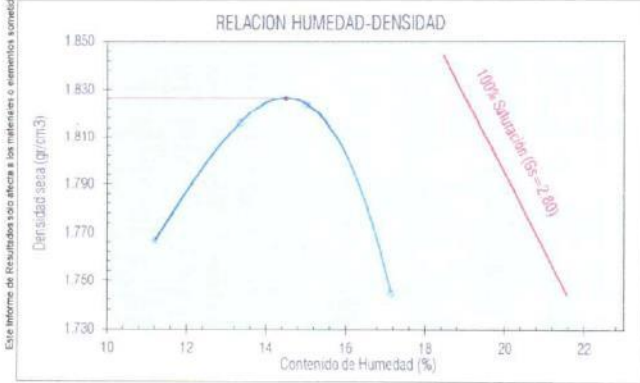
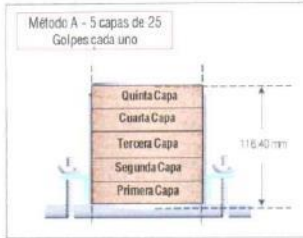
Compactación según ASTM D1557-12e1

| Variable | Nro | | N° 01 | N° 02 | N° 03 | N° 04 |
|-------------------------------------|-------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Var | Unidad | | | | |
| Numero de Capas | N | Capas | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Numero de Golpes por Capa | N | Golpes | 56.00 | 56.00 | 56.00 | 56.00 |
| (A) Masa de Suelos húmedo & Molde | M _{mois} | (g) | 5974.00 | 6061.00 | 6098.00 | 6048.00 |
| (B) Peso del Molde | M _{mol} | (g) | 4142.00 | 4142.00 | 4142.00 | 4142.00 |
| (C) Peso de Suelo Húmedo Compactado | (A - B) | (g) | 1832.00 | 1919.00 | 1956.00 | 1906.00 |
| (D) Volumen del Molde | V | cm ³ | 932.34 | 932.34 | 932.34 | 932.34 |
| (E) Densidad Humeda | (C / D) | gr/cm ³ | 1.965 | 2.058 | 2.098 | 2.044 |



Contenido de Humedad según NTP 339.127

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|-------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Var | Unidad | | | | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 25 | N° 35 | N° 36 | N° 41 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 412.36 | 421.15 | 420.12 | 418.26 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{mois} | (g) | 1912.36 | 1426.25 | 1519.49 | 1378.25 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{cois} | (g) | 1401.50 | 1307.98 | 1372.42 | 1237.72 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 989.14 | 886.83 | 952.30 | 819.46 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 110.86 | 118.27 | 143.03 | 140.53 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | 11.21 | 13.34 | 15.02 | 17.15 |
| (G) Densidad Seca | | gr/cm ³ | 1.767 | 1.816 | 1.824 | 1.745 |



Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm³): 1.827
Óptimo Contenido de Humedad (%): 14.50
Peso Unitario Seco Máximo Modificado (lb/ft³): 114.6

OBSERVACIONES:
Realizado: Tec. Roy S.R.
Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
Geotecnia Geofísica
Laboratorio de Suelos, Rocas y Pavimentos
Ing. Civil Johnny R. O. ROJAS OLIVERA
C.I.F. 10.813.117
RUC: 20601685524 [Pág. 03]



Jr. Ángel Fernández Quiroz N° 2009 Int. 104 Urb. Elco
 Lima
 Pje. Nariño N° 122-152 Chilca, Huanayo
 Telef: 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 30-05-22 | M-01 | SG. N° 75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

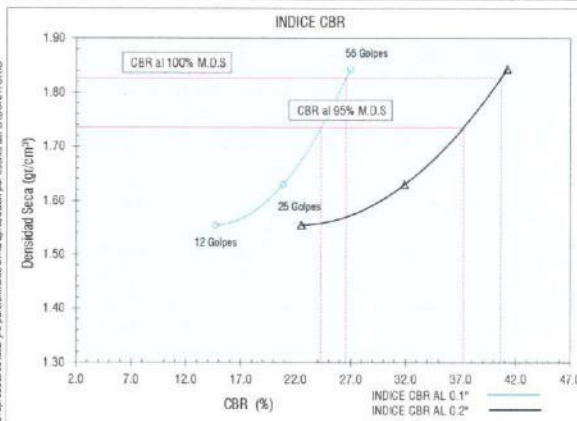
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO SEGUN NORMA NTP 339.145

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad: Por el Cliente Profundidad: 1.50 m Altitud (Cota) : 3.241 00 m s.n.m
 Identificación muestra: Adición del 30% de Ceniza de Carbón: M-01 Coordenadas UTM : E: 475938 N: 8666272

Ensayo CBR (Relación de Soporte California) de Suelos Compactados en Laboratorio según NTP 339.145

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

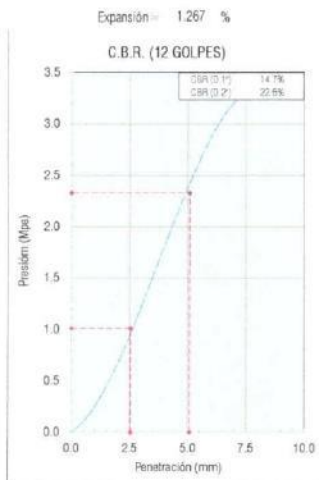
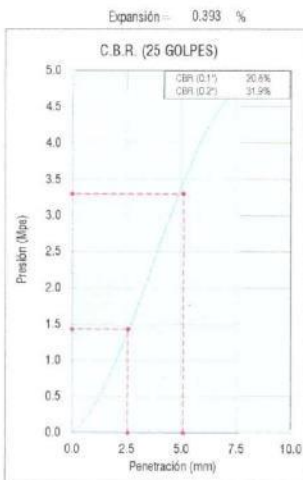
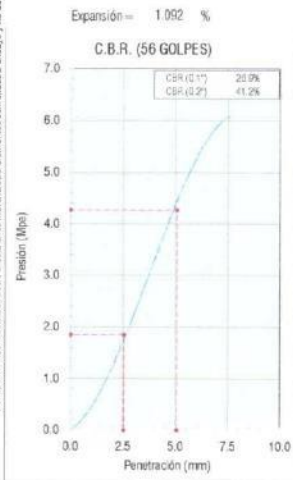


Resultados Ensayos Compactación

Proctor Modificado : NTP 339.141
 Método de Compactación : Método A
 Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.827
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 14.50
 95% Máxima Densidad Seca (Gr/cm³) : 1.735

Resultados Ensayos CBR

| | |
|-----------------------------------|---------|
| C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.1" (%) | : 26.54 |
| C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.1" (%) | : 24.30 |
| C.B.R. AL 100% DE M.D.S. 0.2" (%) | : 40.66 |
| C.B.R. AL 95% DE M.D.S. 0.2" (%) | : 37.24 |



OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Ingeniería Geotécnica
 Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. RAMÍREZ OLIVERA
 C.I.P. N° 201352

RUC: 20601685524
 [Pág. 04]



Angel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. N° 122-152 Chica, Huancaayo
 Telef. 964046588 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICA, MARLON HUBERT

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3,241.00 m s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : No presenta Coordenadas UTM : E 475938 N 8686272
 Identificación de muestra : Adición del 30% de Ceniza de Carbón M-01

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 28-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

ENSAYOS REALIZADOS:

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA ASTM D2419

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419

| Descripción | Nro | | Ensayos | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Variables | Unidad | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 | Muestra 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 | N° 01 | N° 02 | N° 03 |
| (A) Hora inicio de saturación | --- | min | 12:00 a. m. | 02:30 p. m. | 02:32 p. m. | 02:34 p. m. |
| (B) Hora fin de saturación | [A + 10min ± 1min] | min | 12:00 a. m. | 02:40 p. m. | 02:42 p. m. | 02:44 p. m. |
| (C) Hora inicio de sedimentación | --- | min | 12:00 a. m. | 02:41 p. m. | 02:43 p. m. | 02:45 p. m. |
| (D) Hora fin de sedimentación | [C + 20min ± 15s] | min | 12:00 a. m. | 03:01 p. m. | 03:03 p. m. | 03:05 p. m. |
| (E) Altura Material fino | --- | pulg | 9.50 | 10.30 | 8.70 | 11.00 |
| (F) Altura arena | --- | pulg | 1.50 | 1.90 | 1.45 | 1.90 |
| (G) Equivalente de arena | [E ÷ F] x 100 | % | 15.8% | 18.4% | 16.7% | 17.3% |
| (H) Promedio equivalente de arena | EA | (%) | 17.0% | | | |

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Geotecnia Clásica
 Laboratorio de Suelos y Tratamiento

Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
 C.I.P. N° 1094385

RUC: 20601685524
 [Pág. 05]

Anexo N° 03.05: suelo más 35 % de ceniza de carbón



Jr. Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Pje. Nuñez N° 122-152 Chica, Huancayo
 Telef. 964046688 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 18-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT** TESIS: **VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.** ENSAYOS REALIZADOS: **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NORMA NTP 339.128**

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN
 CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339.127
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
 Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1,50 m. Altitud (Cota) : 3,241.00 m.s.n.m.
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : No presenta Coordenadas UTM : E. 475938 N. 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 35% de Ceniza de Carbón M-01

| Tamices ASTM E11 | Abertura (mm) | Peso Retenido | Retenido Acumulado | % Que Pasa |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|------------|
| 3" | 75.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 2" | 50.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1 1/2" | 37.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 1" | 25.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/4" | 19.00 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| 3/8" | 9.50 mm | 0.00 g | 0.0% | 100.0% |
| N° 4 | 4.75 mm | 155.00 g | 6.5% | 93.5% |
| N° 10 | 2.00 mm | 212.00 g | 15.4% | 84.6% |
| N° 20 | 0.85 mm | 257.00 g | 26.1% | 73.9% |
| N° 40 | 0.43 mm | 297.00 g | 38.6% | 61.4% |
| N° 60 | 0.25 mm | 185.00 g | 46.3% | 53.7% |
| N° 100 | 0.15 mm | 85.00 g | 49.9% | 50.1% |
| N° 200 | 0.08 mm | 63.00 g | 52.5% | 47.5% |
| PASA | | 1135.00 g | 100.0% | 0.0% |
| | | 2889.00 g | 100.0% | 100% |

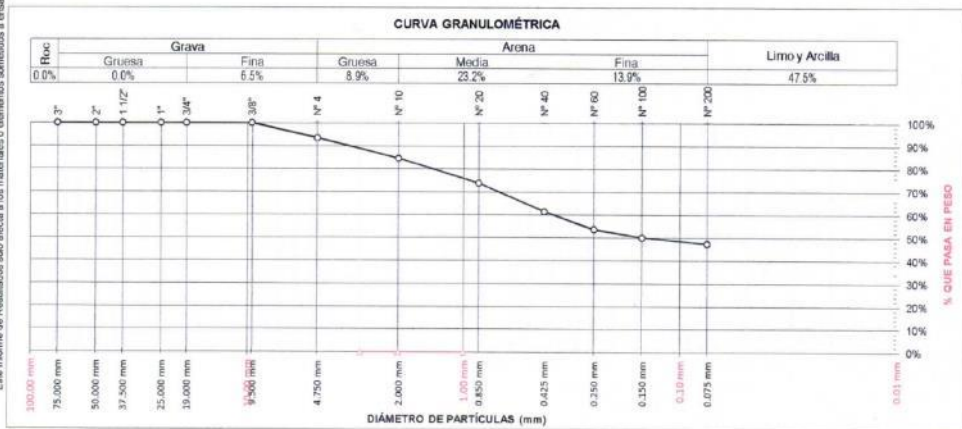
| Variables | Nro | | Muestra |
|---------------------------------------|------------------|--------|---------|
| | Var. | Unidad | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 |
| (A) Peso de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 0.00 |
| (B) Peso de Contenedor & Suelo Húmedo | M ₂₀₀ | (g) | 0.00 |
| (C) Peso de Contenedor & Suelo Seco | M ₁₀₀ | (g) | 0.00 |
| (D) Peso de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 0.00 |
| (E) Peso de Agua (B-C) | M _w | (g) | 0.00 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | -- |

Requisitos mínimos de especimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total
 - Tamaño máximo partícula % que pasa
 Masa mínima recomendada - especimen =

| | |
|------------------------|------------------------------|
| SUCS (NTP 339.134) SC | AASHTO (NTP 339.135) A-4 (2) |
| Arena Arcillosa | |

| | | |
|-------|-----------------------|--------|
| Grava | [N° 4 < φ < 3"] | 6.50% |
| Arena | [N° 200 < φ < N° 4] | 46.00% |
| Finos | [φ < N° 200] | 47.50% |

| | | |
|---|-------------------|-------------------|
| D ₁₀ = | D ₃₀ = | D ₆₀ = |
| $C_u = D_{60} / D_{10}$ | | |
| $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$ | | |



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

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S.R.**
 Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

Ing. Civil Johnny R. O. OLVERA
 C.I.P. N° 2044352
 RUC: 20601685524 [Pág. 01]



Ángel Ferrández Quirós N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Paje Nuñez N° 122 152 Chica, Huancayo
 Telef: 964046688 / 955055584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 06-06-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

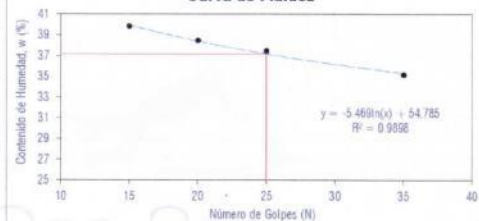
Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1,50 m. Altitud (Cota) : 3,241.00 m.s.n.m
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa trectica : N.P. Coordenadas UTM : E 475938 N 8686272
 Identificación de muestra : Adición del 35% de Ceniza de Carbón: M-01

Limites de Atterberg (NTP 339.129)

Límite Líquido (Método Multipunto)

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | | | | |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 15 | 20 | 25 | 35 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 18 | N° 83 | N° 85 | N° 96 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 22.13 | 21.25 | 23.14 | 21.52 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{cuH} | (g) | 42.35 | 45.12 | 47.26 | 46.85 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{cuS} | (g) | 36.59 | 38.49 | 40.69 | 40.26 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 14.48 | 17.24 | 17.55 | 18.74 |
| (E) Masa of Water (B-C) | M _w | (g) | 5.76 | 6.63 | 6.57 | 6.59 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 39.83 | 38.48 | 37.44 | 35.17 |

Curva de Fluides



Límite Plástico (Método Manual)

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Var. | Unidad | | | | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 02 | N° 12 | N° 10 | N° 03 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 23.15 | 22.15 | 22.14 | 21.63 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{cuH} | (g) | 31.27 | 31.63 | 30.52 | 31.25 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{cuS} | (g) | 29.39 | 29.41 | 28.58 | 29.01 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 6.24 | 7.26 | 6.44 | 7.38 |
| (E) Masa of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.68 | 2.22 | 1.94 | 2.24 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 30.13 | 30.58 | 30.12 | 30.35 |

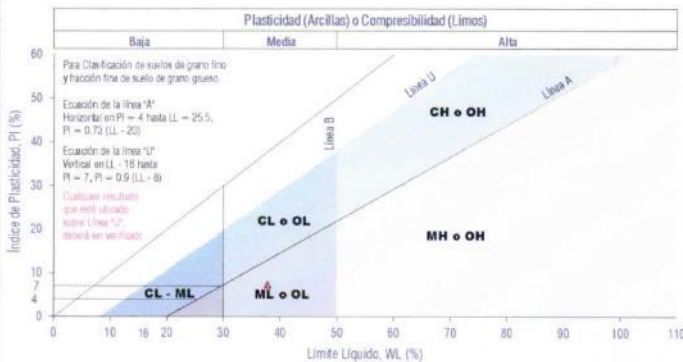
Resultados Límites de Atterberg (NTP 339.129)

| | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------|--------|
| Liquid Limit (LL _w) | : 37.7% | Plastic Limit (PL _w) | : 30.3% | Plasticity Index (PI) | : 7.4% |
|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------|--------|

Clasificación de Suelos

| | | | |
|----------------------|----|------------------------|---------|
| SUCS (ASTM D2487-17) | SC | AASHTO (ASTM D3282-15) | A-4 (2) |
| Arena Arcillosa | | | |

Este informe de Resultados sólo afecta a los materiales o elementos sometidos a ensayo y no deberá reproducirse total ni parcialmente sin la aprobación por escrito de SILVER GEOTEC S.A.C.



LEYENDA

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

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

OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.



Ing. Civil Johnny R. JAMUNDO OLIVERA
 C.I.P. N° 214352 RUC: 20601685524
 (Pág. 02)



Ángel Fernández Quirós N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
 Paje N°125 N° 122-152 Chilca, Huancayo
 Telef. 964046608 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 15-05-22 | 06-06-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO: CHILCA
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS: **LIMITES DE ATTERBERG SEGÚN NORMA NTP 339.129
 CLASIFICACIÓN: SUCS (NTP 339.134) / AASHTO (NTP 339.135)**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C.
 DISTRITO: CHILCA
 PROVINCIA: HUANCAYO
 DEPARTAMENTO: JUNÍN

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:
 Modalidad: Por el Cliente
 Método de Muestreo: Excavación Manual
 Identificación de muestra: Adición del 35% de Ceniza de Carbón: M-01

Profundidad: 1.50 m
 Napa freática: N.P.
 Altitud (Cota): 3,241.00 m s.n.m.
 Coordenadas UTM: E: 475938 N: 8668272

Limites de Atterberg (NTP 339.129)

Límite Líquido (Método Multipunto)

| Variable | Nro | Unidad | Golpes | | | |
|---------------------------------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Numero de Golpes | N | Golpes | 15 | 20 | 25 | 35 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 15 | N° 63 | N° 85 | N° 98 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 22.13 | 21.25 | 23.14 | 21.52 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{sat} | (g) | 42.35 | 45.12 | 47.29 | 46.85 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{sed} | (g) | 36.59 | 38.49 | 40.69 | 40.25 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 14.46 | 17.24 | 17.55 | 18.74 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 5.78 | 6.63 | 6.57 | 6.59 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 39.83 | 38.46 | 37.44 | 35.17 |



Límite Plástico (Método Manual)

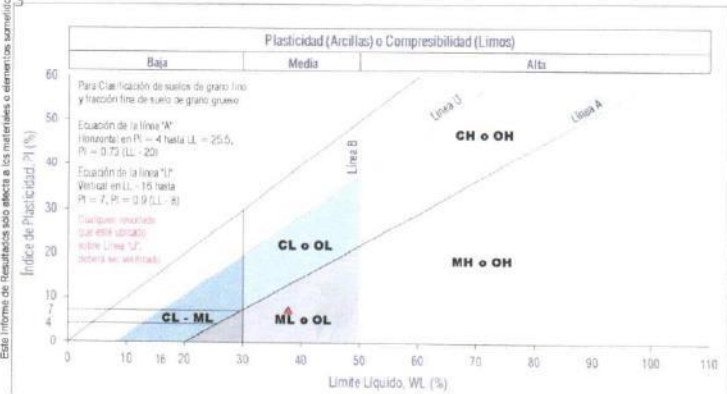
| Variable | Nro | Unidad | Golpes | | | |
|---------------------------------------|------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | 01 | 02 | 03 | 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 02 | N° 12 | N° 19 | N° 03 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 23.13 | 22.15 | 22.14 | 21.63 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M _{sat} | (g) | 31.27 | 31.63 | 30.52 | 31.25 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M _{sed} | (g) | 29.39 | 29.41 | 28.58 | 29.01 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 6.24 | 7.26 | 6.44 | 7.38 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 1.88 | 2.22 | 1.94 | 2.24 |
| (F) Contenido de Humedad (100° E/D) | w | (%) | 30.13 | 30.38 | 30.12 | 30.35 |

Resultados Límites de Atterberg (NTP 339.129)

| | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------|--------|
| Liquid Limit (LL _w) | : 37.7% | Plastic Limit (PL _w) | : 30.3% | Plasticity Index (PI) | : 7.4% |
|---------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------|--------|

Clasificación de Suelos

| | |
|----------------------|------------------------|
| SUCS (ASTM D2487-17) | AASHTO (ASTM D3282-15) |
|----------------------|------------------------|



- LEYENDA**
- Suelo sin cohesión
 - Arcillas inorgánicas de baja plasticidad
 - Limos inorgánicos de baja compresibilidad
 - Arcillas inorgánicas de media plasticidad
 - Limos inorgánicos de compresibilidad media y limos orgánicos
 - Arcillas inorgánicas de alta plasticidad
 - Limos inorgánicos de alta compresibilidad y arcillas orgánicas
- Ecuación de la línea 'A': *Sobre A*

Carta de Plasticidad elaborada según Figure 4-21 Plasticity Chart, pag. 117 - Principles of Geotechnical Engineering - Braja M. Das, 9th Edition

Realizado: Tec. Roy S. R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Laboratorio Geotécnico
 Laboratorio de Ensayos y Análisis

Ing. Civil Johnny R. O. OLIVERA
 C.I.P. N° 20-3342

RUC: 20601685524
 Pág. 02



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COO. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 29-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

SOLICITANTE: **Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C**

UBICACIÓN: CHILCA, DISTRITO HUANCAYO, PROVINCIA JUNÍN, DEPARTAMENTO

MODALIDAD: **Por el Cliente**

IDENTIFICACIÓN MUESTRA: **Adición del 35% de Ceniza de Carbón M-01**

PROCEDIMIENTO UTILIZADO: **Método A**

PROFUNDIDAD: **1.50 m**

ALTUD (Cota): **3.241.00 m s.n.m**

COORDENADAS UTM: **E: 475938 N: 8686272**

Gs: **2.80**

UBICACIÓN DEL PROYECTO: **LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C**

UBICACIÓN: CHILCA, DISTRITO HUANCAYO, PROVINCIA JUNÍN, DEPARTAMENTO

ENSAYOS REALIZADOS: **PROCTOR MODIFICADO SEGÚN NORMA NTP 339-141
CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NORMA NTP 339-127**

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

MODALIDAD: **Por el Cliente**

IDENTIFICACIÓN MUESTRA: **Adición del 35% de Ceniza de Carbón M-01**

PROCEDIMIENTO UTILIZADO: **Método A**

PROFUNDIDAD: **1.50 m**

ALTUD (Cota): **3.241.00 m s.n.m**

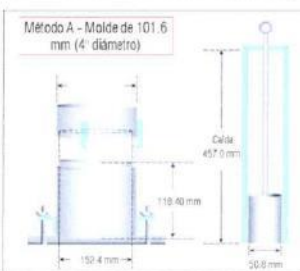
COORDENADAS UTM: **E: 475938 N: 8686272**

Gs: **2.80**

Compactación de suelo - Proctor Modificado según NTP 339.141

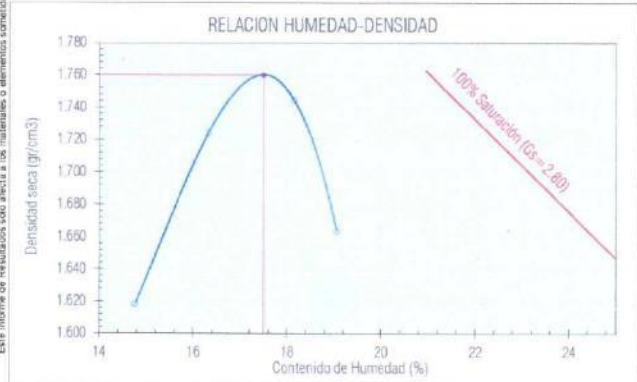
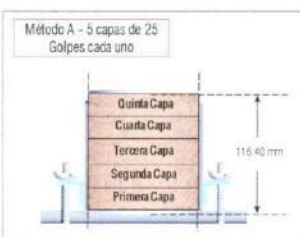
Compactación según ASTM D1557-12e1

| Variable | Nro | | N° 01 | N° 02 | N° 03 | N° 04 |
|-------------------------------------|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Var | Unidad | | | | |
| Numero de Capas | N | Capas | 5.00 | 5.00 | 5.00 | 5.00 |
| Numero de Golpes por Capa | N | Golpes | 56.00 | 56.00 | 56.00 | 56.00 |
| (A) Masa del Suelo húmedo & Molde | M ₂₀₀ | (g) | 5874.00 | 6012.00 | 6064.00 | 5989.00 |
| (B) Peso del Molde | M ₂₀₅ | (g) | 4142.00 | 4142.00 | 4142.00 | 4142.00 |
| (C) Peso de Suelo Húmedo Compactado | (A - B) | (g) | 1732.00 | 1870.00 | 1922.00 | 1847.00 |
| (D) Volumen del Molde | V | cm ³ | 932.34 | 932.34 | 932.34 | 932.34 |
| (E) Densidad Húmeda | (C / D) | gr/cm ³ | 1.858 | 2.006 | 2.061 | 1.981 |



Contenido de Humedad según NTP 339.127

| Variable | Nro | | 01 | 02 | 03 | 04 |
|---------------------------------------|------------------|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| | Var | Unidad | | | | |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 25 | N° 26 | N° 34 | N° 41 |
| (A) Masa de Contenedor Vacío | M _c | (g) | 412.25 | 421.26 | 420.25 | 420.15 |
| (B) Masa de Contenedor & Suelo Húmedo | M ₂₀₅ | (g) | 1513.19 | 1417.85 | 1517.38 | 1385.17 |
| (C) Masa de Contenedor & Suelo Seco | M ₂₀₃ | (g) | 1371.51 | 1277.96 | 1348.82 | 1230.72 |
| (D) Masa de Suelo Seco (C-A) | M _s | (g) | 959.26 | 856.72 | 928.57 | 810.57 |
| (E) Mass of Water (B-C) | M _w | (g) | 111.68 | 139.87 | 188.54 | 154.45 |
| (F) Contenido de Humedad (100* E/D) | w | (%) | 14.77 | 16.33 | 16.15 | 19.05 |
| (G) Densidad Seca | | gr/cm ³ | 1.619 | 1.724 | 1.745 | 1.664 |



Resultados Ensayos de Compactación

Densidad Máxima Seca (gr/cm³) : **1.780**

Óptimo Contenido de Humedad (%) : **17.89**

Peso Unitario Seco Máximo Modificado (lb/ft³) : **110.5**

OBSERVACIONES:

Realizado: **Tec. Roy S. R.**

Revisado: **Ing. Johnny R. O.**

SILVER GEOTEC S.A.C.
Geotecnia Geofísica, Laboratorio de Suelos, Cimentación y Pavimentos

Ing. Civil **Johnny R. ROJAS OLIVERA**
C.T.P. N° 204251

RUC: 20601685524
[Pág. 03]

SILVER GEOTEC S.A.C.
Geotécnica Geofísica
Laboratorio de Relleno, Cimentación y Pavimentos

In: Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elío, Lima
Paje, Nubes N° 122, 152 Chilca, Huancayo
Tel: 964046688 / 955595264
Correo: silvergeotec@gmail.com

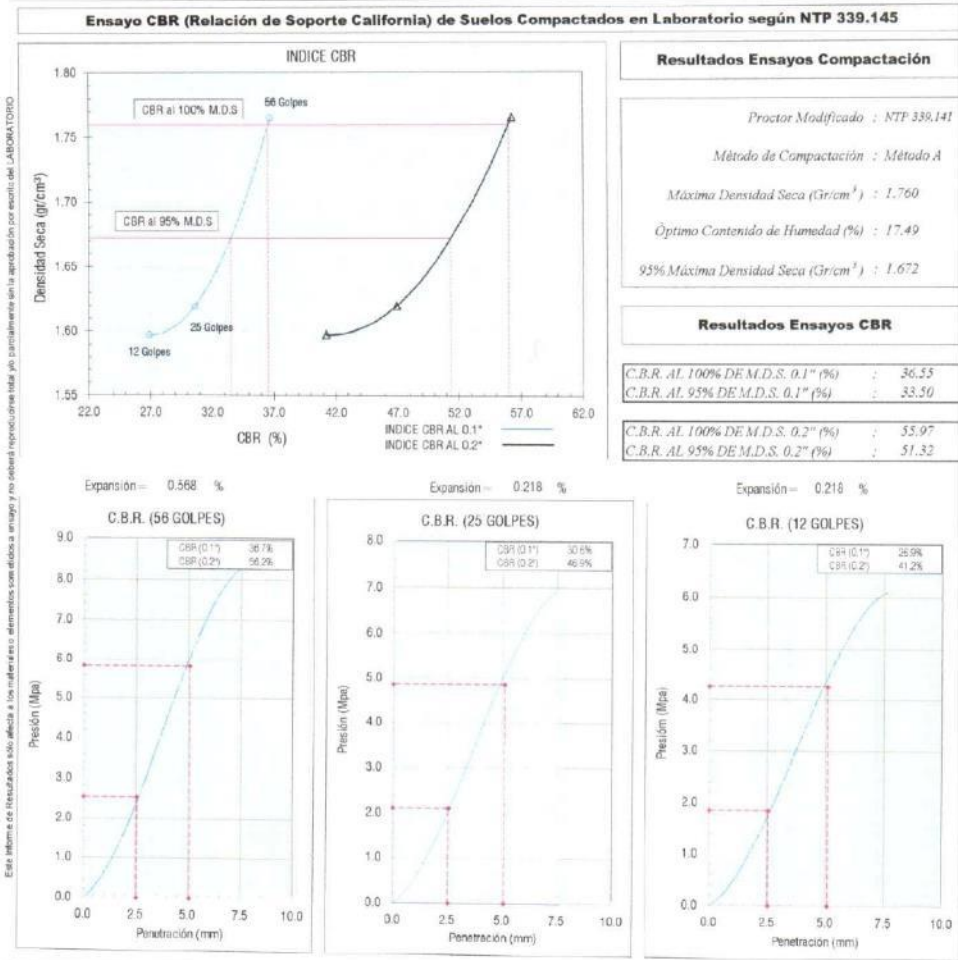
INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 06-06-22 | M-01 | SG. N°75/2022. |

SOLICITANTE:
Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

TESIS:
VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

| | |
|--|---|
| UBICACIÓN DEL PROYECTO: UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S.A.C. DISTRITO : CHILCA PROVINCIA : HUANCAYO DEPARTAMENTO : JUNÍN | ENSAYOS REALIZADOS: MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR) DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO SEGUN NORMA NTP 339.145 |
| TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD: Modalidad : Por el Cliente Identificación muestra : Adición del 35% de Ceniza de Carbón M-01 | Profundidad : 1.50 m. Altitud (Cota) : 3.241,00 m s.n.m. Coordenadas UTM : E 475938 N 8666272 |



OBSERVACIONES:

Realizado: Tec. Roy S.R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
Geotécnica Geofísica
Laboratorio de Relleno, Cimentación y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. FAYMUNDO OLIVERA
C.I.P. N° 20425

RUC: 20601685524
[Pág. 04]



Ángel Fernández Quiroz N° 2809 Int. 104 Urb. Elio, Lima
 Pje. Nuñez N° 122-152 Chilca, Huancayo
 Telef: 964046689 / 955505584
 Correo: silvergeotec@gmail.com

SOLICITANTE:

Bach. ESPINOZA CARHUARICRA, MARLON HUBERT

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO

| FECHA TOMA DE MUESTRAS | FECHA INICIO ENSAYO | COD. MUESTRA O ACTIVIDAD | NÚMERO DE INFORME |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| 16-05-22 | 28-05-22 | M-01 | SG N°75/2022 |

TESIS:

VARIACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU USO COMO SUBRASANTE

UBICACIÓN DEL PROYECTO:

UBICACIÓN : LABORATORIO DE SUELOS SILVER GEOTEC S A C
 DISTRITO : CHILCA
 PROVINCIA : HUANCAYO
 DEPARTAMENTO : JUNÍN

ENSAYOS REALIZADOS:

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA SEGÚN NORMA ASTM D2419

TOMA DE MUESTRAS O ACTIVIDAD:

Modalidad : Por el Cliente Profundidad : 1.50 m Altitud (Cota) : 3.241.00 m s.n.m
 Método de Muestreo : Excavación Manual Napa freática : No presenta Coordenadas UTM : E 475938 N 8666272
 Identificación de muestra : Adición del 35% de Ceniza de Carbón M-01

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS SEGÚN NORMA ASTM D2419

| Descripción | Nro | | Ensayos | | | |
|-----------------------------------|----------------------|--------|------------|------------|------------|------------|
| | Variables | Unidad | Muestra 01 | Muestra 02 | Muestra 03 | Muestra 04 |
| Recipiente N° | --- | --- | N° 00 | N° 01 | N° 02 | N° 03 |
| (A) Hora inicio de saturación | --- | min | 12:00 a.m. | 02:30 p.m. | 02:32 p.m. | 02:34 p.m. |
| (B) Hora fin de saturación | [A + 10min ± 1min] | min | 12:00 a.m. | 02:40 p.m. | 02:42 p.m. | 02:44 p.m. |
| (C) Hora inicio de sedimentación | --- | min | 12:00 a.m. | 02:41 p.m. | 02:43 p.m. | 02:45 p.m. |
| (D) Hora fin de sedimentación | [C + 20min ± 15s] | min | 12:00 a.m. | 03:01 p.m. | 03:03 p.m. | 03:05 p.m. |
| (E) Altura Material fino | --- | pulg | 10.00 | 10.50 | 10.80 | 10.40 |
| (F) Altura arena | --- | pulg | 1.80 | 2.20 | 2.00 | 2.00 |
| (G) Equivalente de arena | [E ÷ F] x 100 | % | 18.0% | 21.0% | 18.5% | 19.2% |
| (H) Promedio equivalente de arena | EA | (%) | 19.2% | | | |

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

OBSERVACIONES:

Elaborado: Tec. Roy S. R.
 Revisado: Ing. Johnny R. O.

SILVER GEOTEC S.A.C.
 Geotecnia Geofísica
 Laboratorio de Suelos, Cimentas y Pavimentos

Ing. Civil Johnny R. ESPINOZA OLIVERA
 C.I.P. N° 204392

RUC: 2060168524
 [Pág. 05]

Anexo N° 04: certificados de calibración

Certificado



La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

TEST & CONTROL S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Calle Condessa de Lemos N° 117, Urb. San Miguelito, distrito de San Miguel, provincia de Lima y departamento de Lima

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2006 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-OSP-2IF que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número de registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 24 de marzo de 2019

Fecha de Vencimiento: 23 de marzo de 2023

ESTELA CONTRERAS JUGO
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 230-2019-INACAL/DA
Contrato N° : Adenda al Contrato de Acreditación N°004-16/INACAL-DA
Registro N° : LC-016

Fecha de emisión: 05 de junio de 2019

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y código de calibración dado que el alcance puede estar sujeto a modificaciones, extensiones, actualizaciones y suspensiones temporales. Su vigencia y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion o en el momento de hacer uso del presente certificado.
La Dirección de Acreditación del INACAL, es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo al (MLAU) del Inter American Accreditation Co-operation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M-Vol. 02

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC-09250-2022

PROFORMA : 11317A

Fecha de emisión : 2022 - 06 - 08

Página : 1 de 2

SOLICITANTE : SILVER GEOTEC S.A.C.

Dirección : Pj. Nuñez Nro. 122 Junin-Huancayo-Chilca

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : CBR MARSHALL

Marca : PINZUAR
 Modelo : PS-27
 N° Serie : 299
 Intervalo de indicación : 50 kN
 Resolución : 0,01 kN
 Procedencia : No Indica
 Código de Identificación : No Indica
 Ubicación : Laboratorio
 Fecha de Calibración : 2022 - 06 - 07

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de SILVER GEOTEC S.A.C.

METODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se efectuó por comparación directa utilizando un instrumento patrón calibrado.

CONDICIONES AMBIENTALES

| MAGNITUD | INICIAL | FINAL |
|------------------|---------|--------|
| TEMPERATURA | 16,4°C | 16,4°C |
| HUMEDAD RELATIVA | 49,0% | 49,0% |

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes. Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 C.F.P. N° 0316



Certificado : TC-09250-2022

Página : 2 de 2

TRAZABILIDAD

| Patrón de Referencia | Patrón de Trabajo | Certificado de Calibración |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Balanza de Presión AEP Transducers | Celda de Carga 3MN 5000 Kn | 12821C |

RESULTADOS DE MEDICIÓN

| Indicación del Equipo (kN) | Lectura Convencionalmente Verdadera (kN) | Error (kN) | Incertidumbre (kN) |
|---------------------------------|--|-----------------|-------------------------|
| 5,04 | 5,02 | 0,02 | 0,01 |
| 10,07 | 9,93 | 0,14 | 0,01 |
| 20,03 | 19,73 | 0,30 | 0,01 |
| 30,01 | 29,50 | 0,51 | 0,01 |
| 35,02 | 34,51 | 0,51 | 0,01 |
| 40,02 | 39,46 | 0,56 | 0,01 |
| 45,03 | 44,41 | 0,62 | 0,01 |
| 50,00 | 49,35 | 0,65 | 0,01 |

OBSERVACIONES.

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Certificado de Calibración
TC - 09248 - 2022

Proforma : 11317A Fecha de emisión : 2022-06-09

 Solicitante : SILVER GEOTEC S.A.C.
 Dirección : Pj. Nuñez Nro. 122 Junín-Huancayo-Chilca

 Instrumento de medición : Balanza
 Tipo : Electrónica
 Marca : OHAUS
 Modelo : R31P30
 N° de Serie : 8336130194
 Capacidad Máxima : 30000 g
 Resolución : 10 g
 División de Verificación : 10 g
 Clase de Exactitud : III
 Capacidad Mínima : 200 g
 Procedencia : CHINA
 Identificación : No Indica
 Ubicación : Laboratorio
 Variación de ΔT Local : 5 °C
 Fecha de Calibración : 2022-06-07

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

 Lugar de calibración
 Instalaciones de SILVER GEOTEC S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Método de calibración

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-001 "Procedimiento para la Calibración de Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático Clase III y IIII", Primera Edición - Mayo 2019. DM - INACAL.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



 Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 CFP: 0316


Certificado de Calibración
 TC - 09248 - 2022

Trazabilidad

| Trazabilidad | Patrón de trabajo | Certificado de calibración |
|--|--|-----------------------------|
| Patrones de Referencia de TEST & CONTROL | Juego de Pesas 100 mg a 1 kg Clase de Exactitud M2 | TC-00555-2022 Abril 2022 |
| Patrones de Referencia de TEST & CONTROL | Juego de Pesas 2 kg Clase de Exactitud M2 | TC-06242-2022 Abril 2022 |
| Patrones de Referencia de TEST & CONTROL | Juego de Pesas 5 kg Clase de Exactitud M2 | TC-06243-2022 Abril 2022 |
| Patrones de Referencia de TEST & CONTROL | Juego de Pesas 10 kg Clase de Exactitud M2 | TC-06244-2022 Abril 2022 |
| Patrones de Referencia de TEST & CONTROL | Juego de Pesas 20 kg Clase de Exactitud M2 | TC-06809-2021 Julio 2021 |

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Inspección visual

| | | | |
|------------------|----------|------------|----------|
| Ajuste de Cero | Tiene | Escala | No Tiene |
| Oscilación Libre | Tiene | Cursor | No Tiene |
| Plataforma | Tiene | Nivelación | Tiene |
| Sistema de Traba | No Tiene | | |

Ensayo de repetibilidad

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 15,2 °C | 15,2 °C |
| Humedad Relativa | 57 % | 58 % |

| Medición N° | Carga (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) | Medición N° | Carga (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) |
|-------------------|-----------|--------|----------------|-------|-------------------|-----------|--------|----------------|-------|
| 1 | 15000 | 15 000 | 7 | -2 | 1 | 30000 | 30 000 | 8 | -3 |
| 2 | | 15 000 | 5 | 0 | 2 | | 30 000 | 8 | -3 |
| 3 | | 15 000 | 5 | 0 | 3 | | 30 000 | 8 | -3 |
| 4 | | 15 000 | 6 | -1 | 4 | | 30 000 | 7 | -2 |
| 5 | | 15 000 | 6 | -1 | 5 | | 30 000 | 7 | -2 |
| 6 | | 15 000 | 5 | 0 | 6 | | 30 000 | 8 | -3 |
| 7 | | 15 000 | 7 | -2 | 7 | | 30 000 | 8 | -3 |
| 8 | | 15 000 | 7 | -2 | 8 | | 30 000 | 7 | -2 |
| 9 | | 15 000 | 6 | -1 | 9 | | 30 000 | 8 | -3 |
| 10 | | 15 000 | 5 | 0 | 10 | | 30 000 | 8 | -3 |
| Emax - Emin (g) | | | | 2 | Emax - Emin (g) | | | | 1 |
| e.m.p. \pm (g) | | | | 20 | e.m.p. \pm (g) | | | | 30 |





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016



Certificado de Calibración
TC - 09248 - 2022



Ensayo de excentricidad

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 15,2 °C | 15,2 °C |
| Humedad Relativa | 58 % | 58 % |

| N° | Determinación de Eo | | | | Determinación del Error Corregido Ec | | | | | e.m.p. ± (g) |
|----|---------------------|-------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|-------|--------|-----------------|
| | Carga (g) | I (g) | ΔL (g) | Eo (g) | Carga (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) | Ec (g) | |
| 1 | 100 | 100 | 6 | -1 | 10000 | 10 000 | 7 | -2 | -1 | 20 |
| 2 | | 100 | 4 | 1 | | 10 000 | 5 | 0 | -1 | |
| 3 | | 100 | 7 | -2 | | 10 000 | 6 | -1 | 1 | |
| 4 | | 100 | 7 | -2 | | 10 000 | 6 | -1 | 1 | |
| 5 | | 100 | 5 | 0 | | 10 000 | 5 | 0 | 0 | |

Ensayo de pesaje

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 15,2 °C | 15,2 °C |
| Humedad Relativa | 58 % | 57 % |

| Carga (g) | Carga Creciente | | | | Carga Decreciente | | | | e.m.p. ± (g) |
|-----------|-----------------|--------|-------|--------|-------------------|--------|-------|--------|-----------------|
| | I (g) | ΔL (g) | E (g) | Ec (g) | I (g) | ΔL (g) | E (g) | Ec (g) | |
| 100 | 100 | 6 | -1 | | | | | | |
| 200 | 200 | 7 | -2 | -1 | 200 | 6 | -1 | 0 | 10 |
| 1 000 | 1 000 | 6 | -1 | 0 | 1 000 | 7 | -2 | -1 | 10 |
| 5 000 | 5 000 | 6 | -1 | 0 | 5 000 | 6 | -1 | 0 | 10 |
| 7 000 | 7 000 | 4 | 1 | 2 | 7 000 | 5 | 0 | 1 | 20 |
| 10 000 | 10 000 | 5 | 0 | 1 | 10 000 | 6 | -1 | 0 | 20 |
| 15 000 | 15 000 | 7 | -2 | -1 | 15 000 | 7 | -2 | -1 | 20 |
| 17 000 | 17 000 | 8 | -1 | 0 | 17 000 | 7 | -2 | -1 | 20 |
| 20 000 | 20 000 | 7 | -2 | -1 | 20 000 | 6 | -1 | 0 | 20 |
| 25 000 | 25 000 | 7 | -2 | -1 | 25 000 | 7 | -2 | -1 | 30 |
| 30 000 | 30 000 | 8 | -4 | -3 | 30 000 | 7 | -3 | -2 | 30 |

Donde:

- I : Indicación de la balanza
- ΔL : Carga incrementada
- Eo : Error en cero
- e.m.p. : Error máximo permitido
- E : Error encontrado
- Ec : Error corregido

Lectura corregida e incertidumbre de la balanza

$$\text{Lectura Corregida} = R + 3,60 \times 10^{-5} \times R$$

$$\text{Incertidumbre Expandida} = 2 \times \sqrt{7,63 \times 10^{-6} \text{ g}^2 + 3,55 \times 10^{-6} \times R^2}$$

R : Lectura, cualquier indicación obtenida después de la calibración (g)

Observaciones

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado. La indicación de la balanza fue de 29 960 g para una carga de valor nominal 30000 g.

Incertidumbre

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Fin del documento



Certificado de Calibración
TC - 09249 - 2022

Proforma : 11317A Fecha de emisión : 2022-06-09

 Solicitante : SILVER GEOTEC S.A.C.
 Dirección : Pj. Nuñez Nro. 122 Junín-Huancayo-Chilca

 Instrumento de medición : Balanza
 Tipo : Electrónica
 Marca : OHAUS
 Modelo : PR2202/E
 N° de Serie : B935184778
 Capacidad Máxima : 2200 g
 Resolución : 0,01 g
 División de Verificación : 0,1 g
 Clase de Exactitud : II
 Capacidad Mínima : 0,5 g
 Procedencia : CHINA
 N° de Parte : NO INDICA
 Identificación : NO INDICA
 Ubicación : Laboratorio
 Variación de ΔT Local : 5 °C
 Fecha de Calibración : 2022-06-07

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

 Lugar de calibración
 Instalaciones de SILVER GEOTEC S.A.C.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Método de calibración

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



 Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 CFP: 0316


Certificado de Calibración
 TC - 09249 - 2022

Trazabilidad

| Trazabilidad | Patrón de trabajo | Certificado de calibración |
|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Patrones de Referencia de KOSMET | Juego de Pesas 1 mg a 1 kg Clase de Exactitud F1 | PE21A-C-1070 Agosto 2021 |
| Patrones de Referencia de LOJUSTO SAC | Juego de Pesas 1 kg a 5 kg Clase de Exactitud F1 | E107-L-209B-2021-1 Agosto 2021 |

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Inspección visual

| | | | |
|------------------|----------|------------|----------|
| Ajuste de Cero | Tiene | Escala | Tiene |
| Oscilación Libre | Tiene | Cursor | No Tiene |
| Plataforma | Tiene | Nivelación | Tiene |
| Sistema de Traba | No Tiene | | |

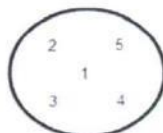
Ensayo de repetibilidad

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 16,2 °C | 15,9 °C |
| Humedad Relativa | 52 % | 50 % |

| Medición N° | Carga (g) | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Medición N° | Carga (g) | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) |
|------------------------------|-----------|----------|---------|--------|------------------------------|-----------|----------|---------|--------|
| 1 | 1 000,000 | 1 000,00 | 5 | 0 | 1 | 2 000,000 | 2 000,00 | 6 | -1 |
| 2 | | 1 000,01 | 7 | 8 | 2 | | 2 000,01 | 8 | 7 |
| 3 | | 1 000,01 | 7 | 8 | 3 | | 2 000,00 | 4 | 1 |
| 4 | | 1 000,00 | 5 | 0 | 4 | | 2 000,01 | 8 | 7 |
| 5 | | 1 000,00 | 6 | -1 | 5 | | 2 000,01 | 7 | 8 |
| 6 | | 1 000,00 | 4 | 1 | 6 | | 2 000,00 | 5 | 0 |
| 7 | | 1 000,01 | 8 | 7 | 7 | | 2 000,00 | 4 | 1 |
| 8 | | 1 000,00 | 4 | 1 | 8 | | 2 000,01 | 8 | 7 |
| 9 | | 1 000,00 | 5 | 0 | 9 | | 2 000,01 | 7 | 8 |
| 10 | | 1 000,01 | 7 | 8 | 10 | | 2 000,00 | 4 | 1 |
| Emáx - Emín (mg) | | | | 9 | Emáx - Emín (mg) | | | | 9 |
| error máximo permitido (±mg) | | | | 200 | error máximo permitido (±mg) | | | | 200 |



Certificado de Calibración
TC - 09249 - 2022



Ensayo de excentricidad

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 15,9 °C | 15,9 °C |
| Humedad Relativa | 50 % | 50 % |

| N° | Determinación de Error Eo | | | | Determinación de Error Corregido Ec | | | | | e.m.p. (±mg) |
|----|---------------------------|-------|---------|---------|-------------------------------------|--------|---------|--------|---------|-----------------|
| | Carga (g) | I (g) | ΔL (mg) | Eo (mg) | Carga (g) | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Ec (mg) | |
| 1 | 0,100 | 0,10 | 7 | -2 | 700,000 | 700,01 | 7 | 8 | 10 | 200 |
| 2 | | 0,10 | 6 | -1 | | 700,02 | 7 | 18 | 19 | |
| 3 | | 0,10 | 3 | 2 | | 700,00 | 5 | 0 | -2 | |
| 4 | | 0,10 | 6 | -1 | | 699,99 | 3 | -8 | -7 | |
| 5 | | 0,10 | 8 | -3 | | 700,01 | 7 | 8 | 11 | |

Ensayo de pesaje

| Magnitud | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 15,9 °C | 16,0 °C |
| Humedad Relativa | 50 % | 49 % |

| Carga (g) | Crecientes | | | | Decrecientes | | | | e.m.p. (±mg) |
|-----------|------------|---------|--------|---------|--------------|---------|--------|---------|-----------------|
| | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Ec (mg) | I (g) | ΔL (mg) | E (mg) | Ec (mg) | |
| 0,100 | 0,10 | 7 | -2 | | | | | | |
| 0,500 | 0,50 | 4 | 1 | 3 | 0,50 | 5 | 0 | 2 | 100 |
| 1,000 | 1,00 | 6 | -1 | 1 | 1,00 | 6 | -1 | 1 | 100 |
| 100,000 | 100,00 | 6 | -1 | 1 | 100,00 | 7 | -2 | 0 | 100 |
| 500,000 | 500,00 | 5 | 0 | 2 | 500,01 | 7 | 8 | 10 | 100 |
| 700,000 | 700,00 | 8 | -3 | -1 | 700,01 | 8 | 7 | 9 | 200 |
| 1 000,001 | 1 000,00 | 4 | 1 | 3 | 1 000,01 | 8 | 7 | 9 | 200 |
| 1 500,000 | 1 500,00 | 7 | -2 | 0 | 1 500,01 | 7 | 8 | 10 | 200 |
| 1 700,000 | 1 700,00 | 4 | 1 | 3 | 1 700,00 | 4 | 1 | 3 | 200 |
| 2 000,005 | 2 000,00 | 5 | -5 | -3 | 2 000,00 | 5 | -5 | -3 | 200 |
| 2 200,005 | 2 200,00 | 6 | -6 | -4 | 2 200,00 | 6 | -6 | -4 | 300 |

Donde:

- I : Indicación de la balanza
- R : Lectura de la balanza posterior a la calibración (g)
- ΔL : Carga adicional
- E : Error del instrumento
- Eo : Error en cero
- Ec : Error corregido

Lectura corregida e incertidumbre de la balanza

| | | |
|-------------------------|---|---|
| Lectura Corregida | : | $R_{\text{corregida}} = R + 3,94 \times 10^{-7} \times R$ |
| Incertidumbre Expandida | : | $U_R = 2 \times \sqrt{5,26 \times 10^{-5} \text{ g}^2 + 5,35 \times 10^{-10} \times R^2}$ |

Observaciones

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.
La indicación de la balanza fue de 1 998,00 g para una carga de valor nominal 2000 g.

Incertidumbre

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Fin del documento



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
TC - 09902 - 2022

Proforma : 11317 Fecha de Emisión : 2022-06-10

SOLICITANTE : SILVER GEOTEC S.A.C.
 Dirección : P.J. NUÑEZ NRO. 122 JUNÍN-HUANCAYO-CHILCA

EQUIPO : HORNO
 Marca : A&A INSTRUMENTS
 Modelo : STHX-1A
 Número de Serie : 16635
 Identificación : NO INDICA
 Procedencia : NO INDICA
 Circulación del aire : Ventilación natural
 Ubicación : LABORATORIO
 Fecha de Calibración : 2022-06-07

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Instrumento de Medición del Equipo :

| | Tipo | Alcance | Resolución |
|-------------------|---------|---------------|------------|
| Termómetro | DIGITAL | 0 °C a 300 °C | 0,1 °C |
| Selector | DIGITAL | 0 °C a 300 °C | 0,1 °C |

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE LA CALIBRACIÓN

Instalaciones de SILVER GEOTEC S.A.C.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-018 2da edición, Junio 2009; "Procedimiento para la calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático" publicada por el SNM/ INDECOPI.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

CONDICIONES DE CALIBRACIÓN

| | Temperatura | Humedad | Tensión |
|----------------|-------------|---------|---------|
| Inicial | 14,6 °C | 56 %hr | 221 V |
| Final | 15 °C | 51 %hr | 221 V |

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

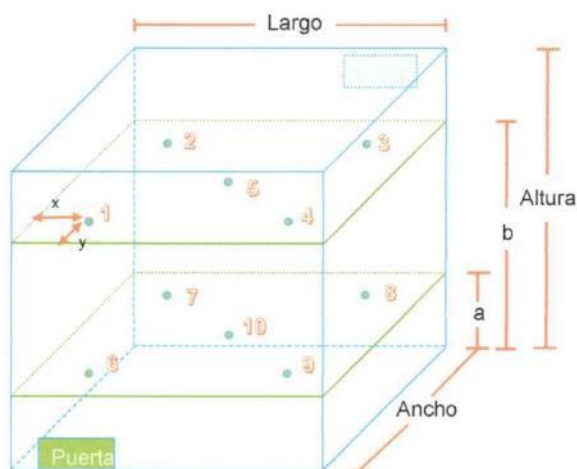
El presente documento carece de valor sin firma y sello.



 Lic. Nicolás Ramos Paucar
 Gerente Técnico
 CFP: 0318

TRAZABILIDAD

| Trazabilidad | Patrones de Trabajo | Certificado de Calibración |
|--------------------------------|--|----------------------------|
| Patrones de Referencia del SAT | Indicador digital con termopares tipo K, con incertidumbres del orden desde 0,16 °C hasta 0,18 °C. | LT-0849-2021 |

UBICACIÓN DE LOS SENSORES DENTRO DEL MEDIO ISOTERMO

| | | | | | |
|-----------------|---------|------------|---------|------------|--------|
| Largo : | 50,0 cm | a : | 5,0 cm | x : | 6,0 cm |
| Ancho : | 38,0 cm | b : | 34,0 cm | y : | 5,0 cm |
| Altura : | 50,0 cm | | | | |

Los termopares 5 y 10 se ubicaron en el centro de su respectivos niveles.
 El medio isoterma tenía 2 parrillas al momento de iniciar la calibración.

NOMENCLATURA DE ABREVIATURAS

| | | | |
|---------------|---|---------------|--|
| t | : Instante de tiempo en minutos. | T.PROM | : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de |
| I | : Indicación del termómetro del equipo. | Tprom | : Promedio de las temperaturas en las diez posiciones de medición para un instante |
| T. MÁX | : Temperatura máxima por sensor. | DTT | : Desviación de temperatura en el tiempo. |
| T. MÍN | : Temperatura mínima por sensor. | | |
| T. max | : Temperatura máxima para un instante dado. | | |
| T. min | : Temperatura mínima para un instante dado. | | |

RESULTADOS DE MEDICIÓN (1ER PUNTO DE CALIBRACIÓN)

| Temperatura de Trabajo | Posición del Controlador/ Selector | Tiempo de Calentamiento Estabilización | Porcentaje de carga | Descripción de la carga |
|------------------------|------------------------------------|--|---------------------|-------------------------|
| 115 °C ± 5 °C | 115 °C | 240 min | 30% | MUESTRAS DE PIEDRA |

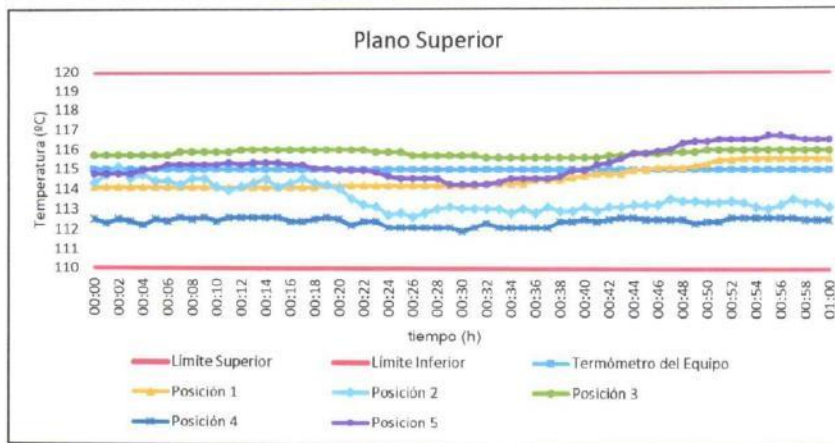
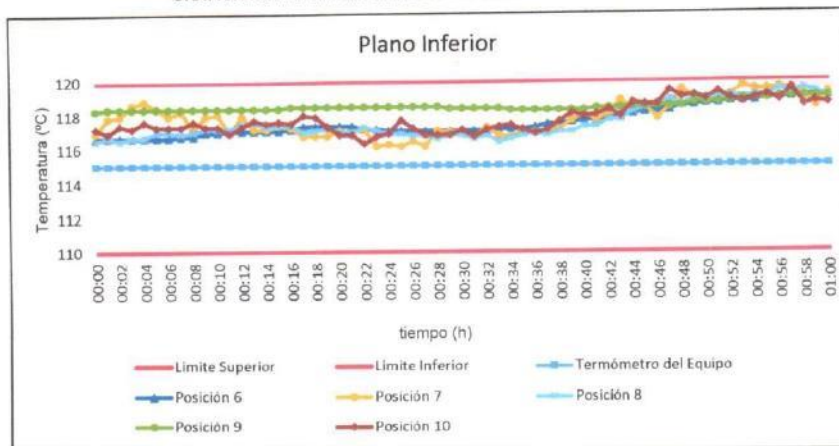
| t (h) | l (°C) | Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C) | | | | | | | | | | T _{prom} (°C) | T _{max} T _{min} (°C) |
|----------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|--|
| | | Nivel Superior | | | | | Nivel Inferior | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 00:00 | 115,0 | 114,1 | 114,3 | 115,7 | 112,5 | 114,8 | 116,7 | 117,0 | 116,5 | 118,3 | 117,2 | 115,7 | 5,8 |
| 00:01 | 115,0 | 114,1 | 114,7 | 115,7 | 112,3 | 114,8 | 116,7 | 117,9 | 116,7 | 118,4 | 116,9 | 115,8 | 6,1 |
| 00:02 | 115,0 | 114,1 | 115,1 | 115,7 | 112,5 | 114,8 | 116,7 | 118,0 | 116,5 | 118,4 | 117,4 | 115,9 | 5,9 |
| 00:03 | 115,0 | 114,1 | 114,5 | 115,7 | 112,4 | 114,8 | 116,7 | 118,7 | 116,7 | 118,4 | 117,2 | 115,9 | 6,2 |
| 00:04 | 115,0 | 114,1 | 114,7 | 115,7 | 112,2 | 115,0 | 116,7 | 118,9 | 116,7 | 118,4 | 117,6 | 116,0 | 6,6 |
| 00:05 | 115,0 | 114,1 | 114,4 | 115,7 | 112,5 | 115,0 | 116,7 | 118,5 | 117,0 | 118,4 | 117,3 | 116,0 | 5,9 |
| 00:06 | 115,0 | 114,1 | 114,4 | 115,7 | 112,4 | 115,2 | 116,7 | 118,0 | 117,0 | 118,4 | 117,3 | 115,9 | 6,0 |
| 00:07 | 115,0 | 114,1 | 114,2 | 115,9 | 112,6 | 115,2 | 116,8 | 118,3 | 116,9 | 118,4 | 117,3 | 116,0 | 5,8 |
| 00:08 | 115,0 | 114,1 | 114,5 | 115,9 | 112,5 | 115,2 | 116,8 | 117,2 | 117,0 | 118,4 | 117,6 | 115,9 | 5,9 |
| 00:09 | 115,0 | 114,1 | 114,5 | 115,9 | 112,6 | 115,2 | 117,0 | 118,0 | 117,2 | 118,4 | 117,3 | 116,0 | 5,8 |
| 00:10 | 115,0 | 114,1 | 114,1 | 115,9 | 112,4 | 115,2 | 117,0 | 118,1 | 117,2 | 118,4 | 117,3 | 116,0 | 6,0 |
| 00:11 | 115,0 | 114,1 | 113,9 | 115,9 | 112,6 | 115,3 | 117,1 | 117,0 | 117,2 | 118,4 | 116,9 | 115,9 | 5,8 |
| 00:12 | 115,0 | 114,1 | 114,1 | 116,0 | 112,6 | 115,2 | 117,1 | 118,0 | 117,5 | 118,4 | 117,3 | 116,0 | 5,8 |
| 00:13 | 115,0 | 114,1 | 114,3 | 116,0 | 112,6 | 115,3 | 117,1 | 117,2 | 117,6 | 118,4 | 117,7 | 116,0 | 5,8 |
| 00:14 | 115,0 | 114,1 | 114,5 | 116,0 | 112,6 | 115,3 | 117,1 | 117,2 | 117,3 | 118,4 | 117,5 | 116,0 | 5,8 |
| 00:15 | 115,0 | 114,1 | 114,1 | 116,0 | 112,6 | 115,3 | 117,1 | 117,4 | 117,4 | 118,4 | 117,6 | 116,0 | 5,8 |
| 00:16 | 115,0 | 114,1 | 114,3 | 116,0 | 112,4 | 115,2 | 117,2 | 117,3 | 117,4 | 118,5 | 117,5 | 116,0 | 6,1 |
| 00:17 | 115,0 | 114,1 | 114,5 | 116,0 | 112,4 | 115,2 | 117,4 | 116,8 | 117,0 | 118,5 | 118,0 | 116,0 | 6,1 |
| 00:18 | 115,0 | 114,1 | 114,3 | 116,0 | 112,5 | 115,0 | 117,4 | 116,8 | 117,1 | 118,5 | 117,9 | 116,0 | 6,0 |
| 00:19 | 115,0 | 114,2 | 114,2 | 116,0 | 112,6 | 115,0 | 117,4 | 116,8 | 117,2 | 118,5 | 117,3 | 115,9 | 5,9 |
| 00:20 | 115,0 | 114,2 | 114,0 | 116,0 | 112,5 | 115,0 | 117,4 | 117,1 | 117,0 | 118,5 | 116,8 | 115,9 | 6,0 |
| 00:21 | 115,0 | 114,2 | 113,5 | 116,0 | 112,2 | 115,0 | 117,4 | 117,0 | 117,0 | 118,5 | 116,8 | 115,8 | 6,3 |
| 00:22 | 115,0 | 114,2 | 113,2 | 116,0 | 112,4 | 115,0 | 117,2 | 117,2 | 117,3 | 118,5 | 116,3 | 115,7 | 6,1 |
| 00:23 | 115,0 | 114,2 | 113,1 | 115,9 | 112,4 | 114,9 | 117,2 | 116,2 | 117,1 | 118,5 | 116,7 | 115,8 | 6,1 |
| 00:24 | 115,0 | 114,2 | 112,7 | 115,9 | 112,1 | 114,7 | 117,1 | 116,3 | 116,9 | 118,5 | 116,9 | 115,5 | 6,4 |
| 00:25 | 115,0 | 114,2 | 112,8 | 115,9 | 112,1 | 114,6 | 117,1 | 116,2 | 116,9 | 118,5 | 117,7 | 115,6 | 6,4 |
| 00:26 | 115,0 | 114,2 | 112,7 | 115,7 | 112,1 | 114,6 | 117,1 | 116,5 | 116,8 | 118,5 | 117,2 | 115,5 | 6,4 |
| 00:27 | 115,0 | 114,2 | 112,8 | 115,7 | 112,1 | 114,6 | 117,1 | 116,2 | 116,8 | 118,5 | 116,8 | 115,5 | 6,4 |
| 00:28 | 115,0 | 114,2 | 113,0 | 115,7 | 112,1 | 114,6 | 117,1 | 117,1 | 116,6 | 118,5 | 116,8 | 115,6 | 6,4 |
| 00:29 | 115,0 | 114,2 | 113,1 | 115,7 | 112,1 | 114,3 | 117,1 | 117,0 | 116,8 | 118,4 | 116,8 | 115,6 | 6,3 |
| 00:30 | 115,0 | 114,2 | 113,0 | 115,7 | 111,9 | 114,3 | 117,1 | 117,1 | 116,8 | 118,4 | 117,1 | 115,6 | 6,5 |

| t (h) | l (°C) | Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C) | | | | | | | | | | T _{prom} (°C) | T _{máx} T _{mín} (°C) |
|----------|-----------|---|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|--|
| | | Nivel Superior | | | | | Nivel Inferior | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 00:31 | 115,0 | 114,2 | 113,0 | 115,7 | 112,1 | 114,3 | 117,1 | 116,7 | 116,6 | 118,4 | 116,7 | 115,5 | 6,3 |
| 00:32 | 115,0 | 114,3 | 113,0 | 115,6 | 112,3 | 114,3 | 117,1 | 117,3 | 116,8 | 118,4 | 117,1 | 115,6 | 6,1 |
| 00:33 | 115,0 | 114,3 | 113,0 | 115,6 | 112,1 | 114,4 | 117,2 | 116,8 | 116,4 | 118,4 | 117,3 | 115,6 | 6,3 |
| 00:34 | 115,0 | 114,3 | 112,8 | 115,6 | 112,1 | 114,6 | 117,2 | 116,7 | 116,6 | 118,3 | 117,4 | 115,6 | 6,2 |
| 00:35 | 115,0 | 114,3 | 113,0 | 115,6 | 112,1 | 114,6 | 117,2 | 117,1 | 116,8 | 118,3 | 117,1 | 115,6 | 6,2 |
| 00:36 | 115,0 | 114,5 | 112,8 | 115,6 | 112,1 | 114,6 | 117,3 | 117,0 | 116,9 | 118,3 | 116,9 | 115,6 | 6,2 |
| 00:37 | 115,0 | 114,5 | 113,1 | 115,6 | 112,1 | 114,6 | 117,5 | 117,1 | 116,8 | 118,3 | 117,1 | 115,7 | 6,2 |
| 00:38 | 115,0 | 114,5 | 112,9 | 115,6 | 112,4 | 114,7 | 117,5 | 117,2 | 117,0 | 118,3 | 117,6 | 115,8 | 5,9 |
| 00:39 | 115,0 | 114,6 | 112,9 | 115,6 | 112,4 | 115,0 | 117,6 | 117,7 | 117,0 | 118,3 | 118,1 | 115,9 | 5,9 |
| 00:40 | 115,0 | 114,7 | 113,1 | 115,6 | 112,5 | 115,0 | 117,7 | 118,1 | 117,3 | 118,3 | 117,9 | 116,0 | 5,8 |
| 00:41 | 115,0 | 114,8 | 112,9 | 115,6 | 112,4 | 115,2 | 117,7 | 117,7 | 117,3 | 118,4 | 118,0 | 116,0 | 6,0 |
| 00:42 | 115,0 | 114,8 | 113,1 | 115,7 | 112,5 | 115,3 | 117,8 | 118,1 | 117,7 | 118,4 | 118,3 | 116,2 | 5,9 |
| 00:43 | 115,0 | 114,8 | 113,1 | 115,7 | 112,6 | 115,5 | 117,9 | 118,9 | 117,7 | 118,4 | 117,9 | 116,3 | 6,2 |
| 00:44 | 115,0 | 115,0 | 113,2 | 115,8 | 112,6 | 115,8 | 118,1 | 118,3 | 118,2 | 118,5 | 118,7 | 116,4 | 6,1 |
| 00:45 | 115,0 | 115,0 | 113,2 | 115,8 | 112,5 | 115,8 | 118,2 | 118,5 | 118,4 | 118,5 | 118,6 | 116,5 | 6,1 |
| 00:46 | 115,0 | 115,1 | 113,2 | 115,8 | 112,5 | 115,9 | 118,3 | 117,8 | 118,6 | 118,5 | 118,6 | 116,4 | 6,1 |
| 00:47 | 115,0 | 115,1 | 113,5 | 115,9 | 112,5 | 116,0 | 118,3 | 118,5 | 118,9 | 118,5 | 119,4 | 116,7 | 6,9 |
| 00:48 | 115,0 | 115,1 | 113,4 | 115,9 | 112,5 | 116,3 | 118,6 | 119,4 | 118,6 | 118,5 | 119,0 | 116,7 | 6,9 |
| 00:49 | 115,0 | 115,2 | 113,4 | 115,9 | 112,3 | 116,4 | 118,6 | 119,0 | 118,9 | 118,7 | 119,1 | 116,7 | 6,8 |
| 00:50 | 115,0 | 115,3 | 113,3 | 116,0 | 112,4 | 116,4 | 118,7 | 118,9 | 118,9 | 118,7 | 118,9 | 116,7 | 6,5 |
| 00:51 | 115,0 | 115,5 | 113,3 | 116,0 | 112,4 | 116,5 | 118,7 | 118,8 | 118,9 | 118,7 | 119,3 | 116,8 | 6,9 |
| 00:52 | 115,0 | 115,5 | 113,4 | 116,0 | 112,6 | 116,5 | 118,8 | 119,1 | 119,1 | 118,8 | 118,9 | 116,9 | 6,5 |
| 00:53 | 115,0 | 115,6 | 113,3 | 116,0 | 112,6 | 116,5 | 118,8 | 119,6 | 119,0 | 118,9 | 118,7 | 116,9 | 7,0 |
| 00:54 | 115,0 | 115,6 | 113,1 | 116,0 | 112,6 | 116,5 | 118,8 | 119,4 | 119,1 | 118,9 | 118,9 | 116,9 | 6,8 |
| 00:55 | 115,0 | 115,6 | 113,0 | 116,0 | 112,6 | 116,7 | 119,0 | 119,4 | 119,1 | 118,9 | 119,1 | 116,9 | 6,8 |
| 00:56 | 115,0 | 115,6 | 113,2 | 116,0 | 112,6 | 116,7 | 119,0 | 119,5 | 119,5 | 119,0 | 118,8 | 117,0 | 6,9 |
| 00:57 | 115,0 | 115,6 | 113,5 | 116,0 | 112,6 | 116,6 | 119,0 | 119,4 | 119,3 | 119,0 | 119,5 | 117,1 | 6,9 |
| 00:58 | 115,0 | 115,6 | 113,3 | 116,0 | 112,5 | 116,5 | 119,1 | 119,1 | 119,5 | 119,0 | 118,5 | 116,9 | 6,9 |
| 00:59 | 115,0 | 115,6 | 113,3 | 116,0 | 112,5 | 116,5 | 119,1 | 118,5 | 119,3 | 119,0 | 118,7 | 116,8 | 6,7 |
| 01:00 | 115,0 | 115,6 | 113,1 | 116,0 | 112,5 | 116,5 | 119,1 | 119,2 | 119,0 | 119,0 | 118,6 | 116,9 | 6,7 |
| T.PROM | 115,0 | 114,6 | 113,6 | 115,8 | 112,4 | 115,3 | 117,6 | 117,8 | 117,5 | 118,5 | 117,8 | 116,1 | |
| T.MAX | 115,0 | 115,6 | 115,1 | 116,0 | 112,6 | 116,7 | 119,1 | 119,6 | 119,5 | 119,0 | 119,5 | | |
| T.MIN | 115,0 | 114,1 | 112,7 | 115,6 | 111,9 | 114,3 | 116,7 | 116,2 | 116,4 | 118,3 | 116,3 | | |
| DTT | 0,0 | 1,5 | 2,5 | 0,4 | 0,7 | 2,5 | 2,4 | 3,5 | 3,1 | 0,7 | 3,2 | | |

RESUMEN DE RESULTADOS

| Parámetro | Valor (°C) | Incertidumbre Expandida (°C) |
|---|------------|------------------------------|
| Temperatura Máxima Medida | 119,6 | 0,8 |
| Temperatura Mínima Medida | 111,9 | 0,3 |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 6,1 | 0,2 |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo | 3,5 | 0,1 |
| Estabilidad Medida (±) | 1,7 | 0,05 |
| Uniformidad Medida | 7,0 | 0,7 |

GRÁFICA PARA LA TEMPERATURA DE TRABAJO DE 115 °C ± 5 °C



DECLARACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES ESPECIFICADOS DE TEMPERATURA

Durante la calibración y bajo las condiciones en que esta ha sido hecha, el medio isoterma.

- Cumple con los límites especificados de temperatura.

Certificado : TC - 09902 - 2022

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperaturas registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "**desviación de temperatura en el espacio**" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del equipo es 0,03 °C.
 La estabilidad es considerada igual a la mitad de la máxima DTT.

Fotografía del medio isoterma:



OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%

Fin del Documento

PGC-16-r11/Octubre 2021/Rev.01

Página : 6 de 6

Anexo N° 05: Panel fotográfico



Fotografía 1. Vista del inicio de la excavación en la zona de estudio.



Fotografía 5. Vista final de las muestras recolectadas.



Fotografía 2. Verificación de la profundidad de la calicata en la zona de estudio.



Fotografía 6. Realización del ensayo de granulometría de manera manual.



Fotografía 3. Estado final de la calicata de la cual se ha obtenido las muestras de suelo.



Fotografía 7. Determinación de las propiedades de la ceniza de carbón.



Fotografía 4. Llenado de las muestras de suelo en baldes para evitar la contaminación del material.



Fotografía 8. Vista del ensayo de límite líquido del suelo con adición de ceniza de carbón.



Fotografía 9. Determinación de Límite plástico del suelo con la adición de ceniza de carbón.



Fotografía 13. Compactación de la muestra óptima para el desarrollo del ensayo de CBR.



Fotografía 10. Colocación de las muestras de suelo en sus respectivas taras.



Fotografía 14. Colocación de la muestra en la máquina de CBR.



Fotografía 11. Colocación de muestras de suelos en el horno para la determinación del LL, LP e IP.



Fotografía 15. Determinación del ensayo de CBR con 0.1'' y 0.2'' de penetración.



Fotografía 12. Realización de la compactación para la determinación del ensayo de Proctor modificado.