



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Influencia de las fibras de caucho reciclado en la resistencia al corte no drenado de los
suelos arcillosos expansivos”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTORES:

Escalante Herrera, Víctor (**ORCID: 0000-0003-4470-8628**)

Quintero Tinco, Max (**ORCID: 0000-0002-6049-1775**)

ASESOR:

Casusol Iberico, German (**ORCID: 0000-0001-7143-5026**)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Infraestructura Vial

LIMA, PERU

2019

Dedicatoria

Damos gracias primeramente a Dios, por brindarnos la vida la cual nos permite estar hoy dando este paso tan importante en nuestra meta como futuros profesionales, por darnos la luz del camino para seguir con la mente enfocada en el objetivo que queremos y colocar a las personas indicadas que han podido brindarnos su apoyo para poder lograr esta tesis. A nuestros padres quienes nos han acompañado constantemente en los estudios y todo nuestro trayecto de vida.

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios por permitirnos seguir logrando nuestras metas, a nuestros padres y seres queridos que constantemente nos están apoyando como también agradecemos a la Universidad César Vallejo, a los ingenieros de la escuela de Ingeniería Civil, en especial a los ingenieros que nos estuvieron brindando asesoría durante el proceso de elaboración de la tesis sin su guía y apoyo constante no se hubiera logrado una correcta investigación.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Página del Jurado | ii |
| Dedicatoria | iii |
| Agradecimiento | iv |
| Declaratoria de autenticidad | v |
| Índice | vi |
| RESUMEN | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| I. INTRODUCCION | 12 |
| II. METODOLOGÍA | 38 |
| 2.1 Tipo y Diseño de Investigación | 38 |
| 2.2 Diseño de Investigación | 38 |
| 2.3 Variables, Operacionalización | 39 |
| 2.4 Población y muestra | 41 |
| 2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos. Validez y confiabilidad | 43 |
| 2.6 Método de Análisis de datos | 44 |
| 2.7 Aspectos Éticos | 45 |
| III. RESULTADOS | 46 |
| IV. DISCUSION | 71 |
| V. CONCLUSIONES | 77 |
| VI. RECOMENDACIONES | 78 |
| REFERENCIAS | |
| ANEXOS | |

RESUMEN

La presente investigación titulada: “Influencia de las fibras de caucho reciclado en la resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos expansivos” busca Obtener un mejoramiento en el comportamiento de los suelos arcillosos con características expansivas a través de la adición de fibras de caucho reciclado y su influencia directa en la resistencia al corte no drenado.

Para continuar con la determinación de la influencia de las fibras de caucho reciclado en la resistencia al corte no drenado, fue esencial el determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo antes de la realización de la estabilización, y así a continuación determinar los parámetros que influyen en la resistencia del suelo adicionando el 3%, 5% y 15% de fibras de caucho reciclado.

La variable independiente a evaluar fue las fibras de caucho reciclado y la dependiente fue la resistencia al corte no drenado. El tipo de investigación es de forma aplicada y el diseño utilizado para esta investigación es de carácter experimental en un nivel exploratorio, dando lugar a la utilización de las variables de estudio para poder modificar el valor de la variable independiente, y observar los efectos que estas modificaciones causan en la variable dependiente.

La población de la investigación estuvo conformada por el suelo natural del distrito de Morrope – Lambayeque. Para obtener la muestra se hizo una visita a la zona para la verificación in situ del suelo, y que esta cumpla con las características expansivas visuales y de laboratorio requeridas para llevar a cabo la estabilización.

Los instrumentos utilizados fueron los protocolos establecidos por el Laboratorio de estudios especiales del MTC y el Laboratorio de Mecánica de suelos de la Universidad Cesar Vallejo, consiguiendo así lograr el desarrollo de todos los ensayos propuestos en esta investigación.

Concluyendo que la fibra de caucho reciclado en la resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos expansivos influye positivamente con adición del 3%.

Palabras Clave: Resistencia al corte no drenado, fibras de caucho reciclado, parámetros de resistencia.

ABSTRACT

The present investigation entitled: “Influence of recycled rubber fibers on the resistance to the undrained cut of expansive clayey clay soils” seeks to obtain an improvement in the behavior of clayey soils with expansive characteristics through the addition of recycled rubber fibers and its direct influence on resistance to undrained cut.

In order to continue determining the influence of recycled rubber fibers on resistance to undrained shear, it was essential to determine the physical and mechanical properties of the soil prior to stabilization, and thus to determine the parameters that influence in soil resistance adding 3%, 5% and 15% of recycled rubber fibers.

The independent variable to evaluate was the recycled rubber fibers and the dependent variable was the resistance to undrained cut. The type of research is applied and the design used for this research is experimental at an exploratory level, leading to the use of the study variables to be able to modify the value of the independent variable, and observe the effects that these modifications cause in the dependent variable.

The research population was made up of the natural soil of the Morrope - Lambayeque district. To obtain the sample, a visit was made to the area for in-situ verification of the soil, and that it complies with the expansive visual and laboratory characteristics required to carry out the stabilization.

The instruments used were the protocols established by the MTC Special Studies Laboratory and the Soil Mechanics Laboratory of the Cesar Vallejo University, thus achieving the development of all the tests proposed in this research.

Concluding that the recycled rubber fiber in the resistance to the undrained cut of the expansive clay soils influences positively with the addition of 3%.

Key Words: Undrained cut resistance, recycled rubber fibers, resistance parameters.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Ilustración 1. Partes de un neumático | 17 |
| Ilustración 2. Tamaño de fibras de caucho reciclado triturado en el mercado nacional | 22 |
| Ilustración 3. Suelo Arcilloso | 22 |
| Ilustración 4. Arcilla Caolintico | 23 |
| Ilustración 5. Arcilla Montmorilonitico | 24 |
| Ilustración 6. Arcilla | 24 |
| Ilustración 7. Mapa de Zonificación de suelos expansivos de la Región Norte y Nororiente del Perú..... | 27 |
| Ilustración 8. Mapa de Geológico la Región Norte y Nororiente del Perú | 28 |
| Ilustración 9. Modelo de fricción..... | 31 |
| Ilustración 10. Plano de Falla del Suelo | 32 |
| Ilustración 11. Grafica de la envolvente de Morh | 33 |
| Ilustración 12. Gráfico de Esfuerzos Totales y efectivos | 35 |
| Ilustración 13. Lugar de extracción de la muestra de suelo arcilloso (Morrope, Lambayeque) .. | 42 |
| Ilustración 14. Curva Granulométrica..... | 48 |
| Ilustración 15. Análisis Granulométrico por Sedimentación | 51 |
| Ilustración 16. Abaco clasificación AASHTO | 55 |
| Ilustración 17. Abaco de Casagrande SUCS | 57 |
| Ilustración 18. Criterio de Colapsibilidad de Gibbs..... | 58 |
| Ilustración 19. Formula Índice de Consistencia | 59 |
| Ilustración 20. Formula Índice de Liquidez | 59 |
| Ilustración 21. Formula Contracción Lineal..... | 61 |
| Ilustración 22. Curva Granulométrica por tamizado fibras de caucho reciclado | 64 |
| Ilustración 23. Curvas de máximas tensiones aplicadas al suelo arcilloso con diferentes porcentajes de fibras a diferentes confinamientos..... | 66 |
| Ilustración 24. Curvas de resistencia al corte del suelo arcilloso con diferentes porcentajes de fibras a diferentes confinamientos..... | 66 |
| Ilustración 25. Mejora del esfuerzo desviador en suelos arcillosos expansivos con adición de fibras de caucho reciclado..... | 67 |

| | |
|--|-----|
| Ilustración 26. Gráfico de parámetros de cohesión sin y con adición de fibras de caucho reciclado..... | 68 |
| Ilustración 27. Porcentaje de mejora de la cohesión con adición de fibras de caucho reciclado . | 69 |
| Ilustración 28. Gráfico de parámetros de ángulo de fricción interna sin y con adición de fibras de caucho reciclado | 70 |
| Ilustración 29. Porcentaje de mejora del ángulo de fricción interna con adición de fibras de caucho reciclado | 71 |
| Ilustración 30. Identificación de la zona para extracción de la muestra de suelo con características expansivas | 167 |
| Ilustración 31. Grietas formadas debido a la expansión del suelo..... | 167 |
| Ilustración 32. Trazado de la calicata..... | 168 |
| Ilustración 33. Extracción de la muestra a profundidad de 1.20 m | 168 |
| Ilustración 34. Segunda Calicata de Extracción de muestra | 169 |
| Ilustración 35. Ensayo Granulométrico por tamizado | 169 |
| Ilustración 36. Ensayo de Limite Liquido | 170 |
| Ilustración 37. Ensayo de Limite Liquido | 170 |
| Ilustración 38. Ensayo de Limite de contracción..... | 171 |
| Ilustración 39. Equipo de ensayo triaxial (UU)..... | 171 |
| Ilustración 40. Equipo de consolidación | 172 |
| Ilustración 41. Preparación de mezcla suelo - fibra..... | 172 |
| Ilustración 42. Preparación de briqueta para ensayo triaxial..... | 173 |
| Ilustración 43. Ajuste de la muestra en la cámara de ensayo | 173 |
| Ilustración 44. Presentación de la muestra una vez después de ser ensayada | 174 |
| Ilustración 45. Briquetas patrones ensayadas | 174 |
| Ilustración 46. Briquetas al 5% de adición de fibras de caucho reciclado | 175 |
| Ilustración 47. Briquetas al 3% de adición de fibras de caucho reciclado | 175 |
| Ilustración 48. Briquetas al 15% de adición de fibras de caucho | 176 |
| Ilustración 49. Análisis de falla en las briquetas mezcla suelo - fibras | 176 |
| Ilustración 50. Granulometría por tamizado de fibras de caucho reciclado..... | 177 |
| Ilustración 51. Peso Específico fibras de caucho reciclado | 177 |
| Ilustración 52. Ensayo de Absorción de las fibras de caucho reciclado | 178 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Materiales que componen un neumático | 18 |
| Tabla 2. Tabla de clasificación de suelos SUCS | 25 |
| Tabla 3. Cuadro para el cálculo del grado de expansión de suelos..... | 30 |
| Tabla 4. Relación entre la densidad y el ángulo de fricción..... | 33 |
| Tabla 5. Matriz de Operacionalización de las variables | 41 |
| Tabla 6. Población..... | 43 |
| Tabla 7. Cantidad de muestra a extraer según la necesidad de ensayos a realizar | 44 |
| Tabla 8. Ensayo de Granulometría por tamizado | 47 |
| Tabla 9. Ensayo de Limite Liquido..... | 49 |
| Tabla 10. Ensayo de Limite Plástico..... | 49 |
| Tabla 11. Ensayo de Limite de contracción | 50 |
| Tabla 12. Análisis Granulométrico por Sedimentación | 50 |
| Tabla 13. Contenido de Humedad del suelo..... | 52 |
| Tabla 14. Peso Específico del Suelo | 52 |
| Tabla 15. Peso Unitario Mínimo..... | 53 |
| Tabla 16. Resumen Clasificación Geotécnica del suelo | 54 |
| Tabla 17. Sistema de clasificación de suelos AASHTO | 54 |
| Tabla 18. Sistema de clasificación de suelos unificado SUCS..... | 56 |
| Tabla 19. Grado de Expansión del suelo | 61 |
| Tabla 20. Ensayo de Granulometría por tamizado fibras de caucho reciclado | 63 |
| Tabla 21. Ensayo de peso específico de las fibras de caucho reciclado | 64 |
| Tabla 22. Ensayo de humedad de las fibras de caucho reciclado | 65 |
| Tabla 23. Tabla resumen de los incrementos en los esfuerzos desviadores de falla con adición de fibras de PET..... | 73 |
| Tabla 24. Tabla resumen de los incrementos en los esfuerzos desviadores de falla con adición de fibras de caucho reciclado | 74 |
| Tabla 25. Tabla resumen de resultados de mejoras en la cohesión y ángulo de fricción con adición de fibras de caucho reciclado y PET..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabla 26. Tabla resumen de mejoras obtenidas de la resistencia al corte | 76 |
| Tabla 27. Tabla resumen de mejoras obtenidas de la resistencia al corte | 76 |
| Tabla 28. Matriz de consistencia | 88 |

I. INTRODUCCIÓN

Realidad problemática

El suelo es el material que constituye como soporte de las estructuras (edificaciones, vías, puentes, terraplenes, diques, rellenos etc.) de ello surge la necesidad de realizar estudios que brinden nuevas perspectivas de solución a los problemas existentes dentro de este campo de la Ingeniería Civil.

El ingeniero civil como tal se enfrenta con diversos problemas relacionados con el terreno de fundación, uno de estos problemas es el suelo, su tipología y características propias que dificultan la realización del proyecto, uno de los suelos que desatan cierta negatividad, son los suelos arcillosos, estos suelos presenta características muy lentas en su drenaje debido a la cohesión existente en sus partículas, lo que hace que presente dentro de sus poros esfuerzos que a su vez generan inestabilidad dentro de la estructura propia del suelo.

Los suelos expansivos son aquellos suelos que presentan un alto índice de plasticidad lo que ocasiona un cambio brusco en su volumen, que hace que el suelo sufra deformabilidad debido a la consolidación de sus partículas y en al realizarse cambio en sus características de cohesión y ángulo de fricción interna haciendo que sea imposible cimentar sobre ellas.

Los suelos arcillosos expansivos en si presenta una baja capacidad a la resistencia al corte y esto es una problemática que agobia al sector constructivo. Al ser suelos inestables en sus propiedades, es necesario buscar formas de estabilización ya sea manera física, mecánica o química dependiendo siempre de la efectividad del proceso.

La problemática ha llevado a realizar investigaciones para resolver el problema, una de estas soluciones es su mejoramiento mediante el reemplazo total del suelo o gran parte de él, lo cual genera una gran inversión económica.

Es ahí donde entra a tallar el uso fibras de caucho, que busca resolver la problemática de los suelos arcillosos expansivos, mediante su uso como mejora a la resistencia al corte de estos suelos, influyendo en el ángulo de fricción el suelo, en su cohesión y consolidación con el fin de incrementar su capacidad de resistencia al corte y volverlos suelos actos para cimentar.

De esta manera su busca contribuir como una alternativa económica de mejora del suelo arcilloso mediante la reutilización del caucho mediante fibras mitigando así el impacto ambiental que genera el parque automotor de Lima al desechar estas llantas en desuso.

Antecedentes Internacionales

Se han presentado varias investigaciones correspondientes al mejoramiento de los suelos arcillosos, una de ellas es el artículo científico “Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo” (Grez y Gerding, 2005), este artículo tiene como objetivo estudiar la viabilidad de utilizar los residuos producidos por la industria forestal(aserrín) como material en la estabilización de suelos debido a su mejora en el régimen de retención de agua en suelos de texturas finas como son las arcillas y las arenas. En su metodología se realizó una caracterización química y ensayos para la determinación de la capacidad de retención de humedad en mezclas suelo-aserrín, a continuación, se hicieron los ensayos de lixiviación, determinándose el comportamiento de la mezcla suelo-aserrín respecto al régimen de agua, saturando las mezclas con agua y siguiendo la evolución de su peso en función del tiempo. En donde se obtuvo como resultado un efecto favorable del aserrín, sobre la dinámica de comportamiento de las texturas del suelo al retener la humedad y liberarla de forma suministrable, mejorando las condiciones del suelo natural y hacer notar la importancia que tuvo la adición de aserrín a un suelo arcilloso. Se concluyó que la mezcla de suelo-aserrín presenta un efecto positivo mejorando significativamente la capacidad de retención de agua del suelo arcilloso mejorando sus propiedades mecánicas aprovechando el reusó de recursos.

Otro artículo científico que aporta a la investigación es “Reutilización de las fibras textiles del neumático de desecho como refuerzo del suelo” (Mohsen, Esmail y Fereidonn 2008), realizado en Iran, tienen como objetivo evaluar la reutilización de las fibras de las llantas de caucho en suelos arcillosos como estabilizador físico del suelo como mejoramiento de sus propiedades mecánicas. Correspondiente a la metodología se realizó ensayos para la caracterización geotécnica del suelo, luego se procedió a encontrar el mezclado óptimo, realizando diferentes porcentajes de adición entre el suelo y las fibras de caucho reciclado, y a su vez realizar los siguientes ensayos, ensayo de resistencia a la compresión no confinada

(UCS), relación de capacidad de carga (CBR) y resistencia a la tracción dividida, se usaron 141 pruebas para la identificación de la interacción de la mezcla suelo-fibras de caucho reciclado y determinar el porcentaje de aumento en sus propiedades mecánicas. Como resultado se obtuvo de la prueba de corte directo muestra que hasta un 2% de adición fibras de caucho en arcilla, se produce un ligero cambio de cohesión en una forma no uniforme y una variación en el ángulo de fricción del suelo en $\pm 1\%$, donde se concluyó que la adición de fibras está en relación directa al aumento del ángulo de fricción el cual tiene un efecto en la resistencia al corte directo del suelo

Guadalupe, D. (2015), en su tesis “Determinación de la resistencia al corte in situ de los suelos en zonas de peligro sísmico” realizado en Sangolqui, tiene como objetivo determinar el ángulo de rozamiento interno y la cohesión del suelo, permitiendo así establecer los parámetros de la resistencia al corte mediante la aplicación de esfuerzos verticales y laterales a las probetas del suelo en condición inalterada. La tesis realizada fue de tipo pre experimental con un nivel de investigación descriptiva se realizaron ensayos in situ y en laboratorio para estudiar el fenómeno y poder determinar la resistencia la corte. Se realizaron ensayos de corte triaxial uu, ensayo del ficometro para determinación de la resistencia cortante in situ. Se concluyó que los esfuerzos de cortes resistentes calculados in situ y en laboratorio presentan una dispersión importante al ser comparados, también se pudo determinar a través del ficometro que el suelo en cuestión presenta alta varianza en la cohesión y el ángulo de fricción interna respectivamente.

Antecedentes Nacionales

Cusquisibán, W. (2014), en la tesis titulada “Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos” realizada en Perú, tuvo como objetivo el mejorar la capacidad portante de los suelos arcillosos mediante la utilización de caucho granular proveniente del reciclaje de neumáticos, con un enfoque ambiental en contribución a la protección del medio ambiente; con una aplicabilidad futura en la construcción de pavimentos, basado sus estudios en las especificaciones mínimas establecidas en el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimento, en la metodología, se realizó ensayos para la caracterización geotécnica del suelo arcilloso, para

la determinación de sus propiedades mecánicas, en base a estos ensayos se realizó el mezclado de especímenes bajo diferentes porcentajes de adición de caucho granular reciclado al suelo, para poder determinar un porcentaje óptimo, como resultados se obtuvo, a través del ensayo de corte directo y CBR, que el reforzamiento de los suelos arcillosos con caucho granular tiene un incremento en la capacidad portante del suelo de las cuales se llegó a concluir de la siguiente manera, que con la adición de 20% de caucho granular se obtuvo el máximo valor del CBR del 10.00% y un valor mínimo igual a 8.00% en base a lo ensayado, también agregando el 40% de caucho granular, se logró obtener un CBR con valor máximo igual a 30.40% y registrando un valor mínimo de 26.30%, siendo esta adicción la que alcanzó un mayor valor de incremento. En base al aporte para la presente investigación, se tomó en cuenta la metodología empleada, en los pasos para determinar la caracterización y los diferentes porcentajes de adición para llegar a un óptimo.

Carbonel, E y Quintana, I. (2018), en la tesis titulada “Influencia de la adición de fibras de pet reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilidad de taludes” realizada en Perú, el objetivo de esta investigación fue utilización de fibras de pet reciclado para la estabilización de taludes, principalmente suelos cohesivos, los cuales presentan en sus características, un alto índice de plasticidad. Como metodología se realizó la caracterización geotécnica de la muestra de suelo arcilloso extraída del talud, para poder obtener un mezclado óptimo se desarrolló el mezclado bajo diferentes porcentajes de adición, entre el suelo y las fibras de PET, estas fibras presentaban un tamaño estimado de 50mm; a continuación, se procedió a realizar los ensayos de resistencia a la compresión axial, del suelo reforzado con fibras. Del cual se obtuvo como resultado, que el reforzamiento del suelo arcilloso con fibras de PET reciclado, presentó un incremento en el ángulo de fricción y a su vez una disminución de la cohesión, sin embargo, en el análisis de estabilidad desarrollado en esta investigación, se logró alcanzar mejores parámetros de seguridad. Se concluyó que la estabilización de suelos con fibras de PET reciclado, puede lograr mejoras considerables, por lo cual el suelo reforzado con fibras de PET permite que el talud se adapte de manera continua a la deformación del suelo evitando el agrietamiento interno del mismo, de esta manera se produce una reducción en el riesgo de falla producido por la expansión o retracción del suelo. Se tomó como aporte para la presente

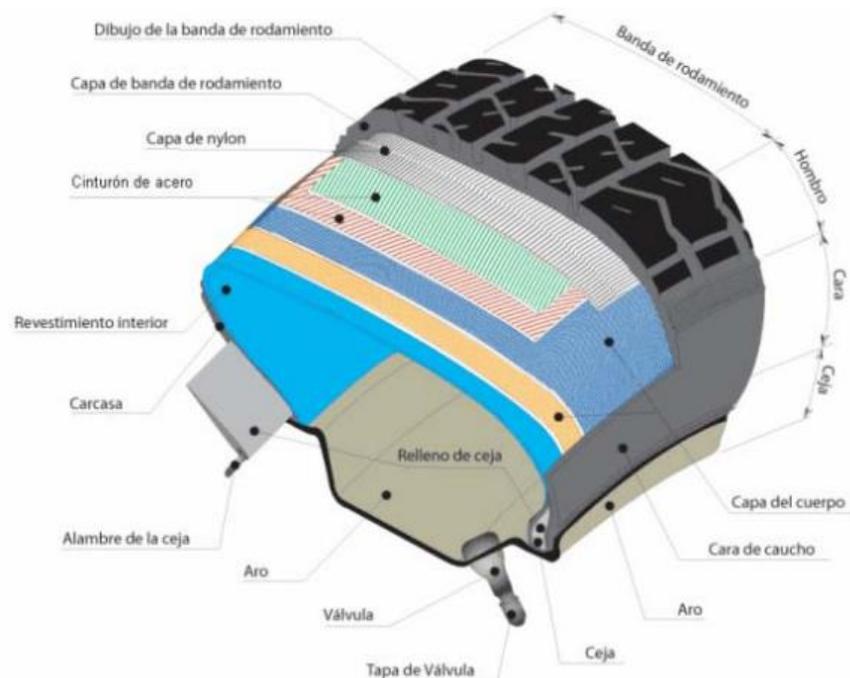
investigación, la metodología empleada para la realización de ensayos de laboratorio, ya que hay un gran énfasis en el comportamiento de las fibras de PET y como estas logran un mezclado óptimo con el suelo. Además, que la investigación nos permite tener una visualización del efecto que tiene el uso de fibras PET reciclado y como su aplicación excesiva puede traer repercusión en el comportamiento con el suelo, donde se determinó que el porcentaje de 0.6% es el que mayor incremento de forma progresiva presenta en los valores tales como la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos; del cual se logró aumentar en un 24.64% la estabilidad de terraplenes viales como aplicación teórica.

El Neumático

Según Delearze (2008) nos dice:

El neumático es un instrumento necesario para la movilización de los vehículos, este compuesta por una cubierta que comprende primordialmente caucho y a su vez contiene por dentro aire incorporado, todo esto en conjunto conforma el neumático. Charles fue quien descubrió en 1880, a través de la vulcanización del caucho natural. (pp.25)

Ilustración 1. Partes de un neumático



Componentes de un Neumático

Según Delearze (2008, p. 26) “Los neumáticos están conformados por diferentes capas de material, que se les asigna según el uso a las que son destinadas finalmente, las cuales presentan principalmente las siguientes características: resistencia a la carga, capacidad de soportar presiones altas, adherencia, entre otros.”

Tabla 1. Materiales que conforman un neumático

| Material | Composición % | |
|--|---------------------|---------------------|
| | Automóvil | Camiones |
| Caucho Natural | 14% | 27% |
| Caucho Sintético | 27% | 14% |
| Negro de huma | 28% | 28% |
| Acero | 15% | 15% |
| Fibra Textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes | 17% | 17% |
| Peso Promedio | 8.6 kg | 45.5 kg |
| Volumen | 0.06 m ³ | 0.36 m ³ |

Fuente: Rubber Manufacturers Association.

Caucho Reciclado

Según Cabanillas (2017) nos dice:

El caucho en desuso, que en su mayoría son neumáticos reutilizados que ya con cuenta con vida útil son aquellos a los que se les denomina caucho reciclado, los neumáticos, y principalmente el caucho se ha convertido en una gran fuente de energía reutilizable, al ser valorizado y usado en múltiples campos aplicativos entre uno de ellos la ingeniería. Por ello, es esencial evitar su desecho y promover una gestión para su reciclaje a través de plantas autorizadas. (pp.33)

En la ingeniería el caucho ha sido utilizado en varios proyectos de ingeniería como solución a diferentes problemas entre ellas como agregado para morteros y concretos, como material estabilizante de los taludes y suelos y un fin de ejemplos de su aplicación que cada vez es mayor.

El caucho reciclado es un material derivado de los neumáticos obtenido ya sea por métodos mecánicos, químicos o simplemente por métodos físicos, para ello es importante avanzar en la gestión de producir este material en lugar de mantenerlo en desecho.

Procedimiento de reciclaje de neumáticos a través de aplicación de calor

- Termólisis

La termólisis es la reacción que se genera a la hora de separar un cuerpo compuesto sujeto a altas temperaturas. Para este procedimiento se somete a un calentamiento anaeróbico (sin oxígenos) a los neumáticos. Bajo estas altas temperaturas se destruyen los enlaces químicos, esto debido a la ausencia de oxígeno, de esta manera es que se hace desaparecer los hidrocarburos, que es el componente principal del neumático. Por medio de este procedimiento se obtienen, los hidrocarburos tanto sólidos como los gaseosos, los metales los cuales pueden ser reutilizados en una nueva producción de neumáticos o buscar otras aplicaciones.

• Pirolisis

La pirolisis es un método de desintegración química de todo tipo de material exceptuando los vidrios y metales, que produce un calentamiento del material bajo la ausencia de oxígeno, que evita la producción de dioxinas, que son gases contaminantes para el medio ambiente. Debido a esta desintegración del caucho y la aplicación del calor puede obtenerse: GAZ, que es un derivado del gas propano que son empleadas para el uso industrial y aceite industrial refinado en diésel.

• Incineración

La incineración en los neumáticos se da mediante la combustión del mismo, es decir en resumidas palabras son convertirlas en cenizas, para este procedimiento el material es llevado a hornos donde son puestas bajo oxidación química y oxígeno. Este proceso es uno de los más costosos y esto se adjunta también la dificultad que se da en las diferentes etapas debido a la velocidad a la que se da la combustión y la necesidad de eliminar los residuos gaseosos generados, por su dificultad es de las menos utilizadas para el tratamiento del caucho. El calor puede ser utilizado como energía en este proceso. En caso de que no haya un control en la incineración, se puede provocar altos índices de impacto ambiental tales como: La liberación de gases nocivos, tales como el monóxido de carbono,

óxido de plomo y óxido de zinc. También durante este proceso muchos de los residuos generados son solubles con el agua, por eso se resalta lo peligroso que puede ser el realizar este procedimiento.

Método Físicos

• Trituración Criogénica

La trituración criogénica se da mediante el congelamiento con nitrógeno líquido a los neumáticos, de cual se puede obtener el caucho de forma de polvo solo mediante trituración, a su vez se genera en el proceso la liberación de nitrógeno gaseoso. Este método tiene una ventaja, la cual es la reducción rápida del material y como desventaja es que las partículas de caucho y acero se ven mezcladas; además de que adicionalmente se requiere de instalaciones que generan altos costos de inversión y mantenimiento, así como maquinaria altamente especializada para la realización del trabajo. Este método consta de instalaciones muy complejas la cual hace que sea poco rentable y económica, para ser utilizado. Añadiendo que la se hace dificultoso el purificar y separar el caucho del metal y d demás materiales que forman el neumático, obteniendo como resultado un producto de baja calidad, hace que este procedimiento poco recomendable para ser aplicado para el reciclado de neumáticos.

• Trituración Mecánica

Este proceso de completamente mecánico, durante su procedimiento no existe aplicación de agentes químicos o mucho menos calentamiento del material en cuestión. Este método consta principalmente de pasar el neumático por una serie de molinos para ser triturado de manera sucesiva hasta llegar a conseguir reducir el volumen del tamaño del neumático, el cual dependerá del uso posterior que se le dé al caucho reciclado en un corto plazo o largo plazo.

El proceso de reciclado del caucho mediante el método de trituración mecánica es el siguiente establecido:

- **Desgarrador de llantas y acero:** Consiste en extraer todo el acero del neumático, obteniendo este nuevamente para ser aprovechado en las siderúrgicas para nuevos neumáticos u otros fines de ingeniería.
- **Primera trituración:** Los Neumáticos en desuso son puestos en una banda para después dirigirse a la tolva principal, que en su interior presenta varios juegos de cuchillas compuestas por acero de alta resistencia, las cuales cuentan con una capacidad de trituración equivalente a 2 t/hora, de este proceso se obtienen las fibras granulares de caucho de tamaño aproximado de 120 mm.
- **Etapas de Pre-granulación (Rasper):** Es aquí donde se realiza la trituración secundaria bajo una capacidad de trituración de 4 t/hora y este a su vez alimenta dos granuladores de trituración. Después del pre-granulamiento, el acero es eliminado para lograr obtener un producto limpio sin metal.
- **Planta de granulometría fina:** Está compuesto por dos molinos granuladores que producen y tamizan los granos ubicados entre la malla n°8 y malla n°30; es aquí donde se obtienen uno de los productos de mayor aceptación dentro del mercado mundial y latinoamericano y su utilización en la construcción de carreteras ecológicas de caucho reciclado.
- **Planta de extracción de fibras:** Está compuesto por un conjunto de ciclones los cuales extraen la fibra del material procesado a través de un molino granulador.
- **Extractor de acero:** En este proceso el acero es hecho casi polvo al ser separado del granulo de caucho, esta es la última etapa del procedimiento.

-

Este es uno de los procedimientos más utilizados en el Perú, ya que contamos con diferentes fábricas de tratamiento de este material bajo trituración mecánica, ya que resulta un método más sencillo y menos costoso en comparación con los demás. Pero a su vez es el menos recomendable ya que se no termina de separar todos los componentes del neumático, y el caucho obtenido no es totalmente puro ya que aún sigue existiendo otros componentes

Ilustración 2. Tamaño de fibras de caucho reciclado triturado en el mercado nacional



Fuente: Caucho Perú

Suelo Arcilloso

El suelo arcilloso denominado así por que predominan más las partículas de arcilla y a sus otros tamaños diferentes como limos, arena, gravas, etc. Las arcillas es el conjunto de partículas pequeñas atraídas por la cohesión del material, poseen un tamaño menor a 0,001 mm. de diámetro, en comparación de otros tipos de suelos que poseen partículas más grandes como el limo y la arena, compuestas por orden de tamaño, de menor a mayor. Un suelo arcilloso en si también puede tener en su estructura partes de limo y de arena, pero la que predomina más es la arcilla, y esto se puede dar según el suelo estudiado en distintas proporciones. (Cusquisibán,2014, p.8).

Ilustración 3. Suelo Arcilloso



Fuente: Imágenes de Google

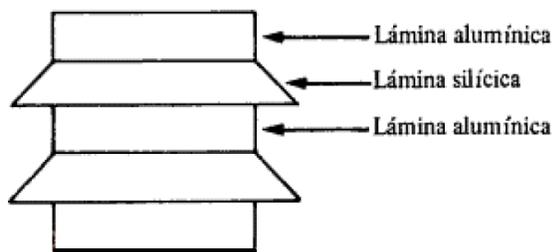
Clasificación de las arcillas

a) El Caolintico

Este tipo de arcilla proviene de la carbonatación de la ortoclasa denominado también como feldespato potásico. Las caoliniticas básicamente están compuestas por una lámina silica que esta superpuesta de manera indefinida entre la unión de sus retículas, la cual hace que las moléculas de agua no logren penetrar en ella, lo que hace que este tipo de arcillas sean estables en presencia del agua. (Villalaz,2004, p.25)

Estas arcillas son las más cohesivas, ya que debido a la composición de sus laminas el drenaje de los poros de agua no es de forma inmediata, lo que la hace una arcilla estable en sus propiedades.

Ilustración 4. Arcilla Caolintico



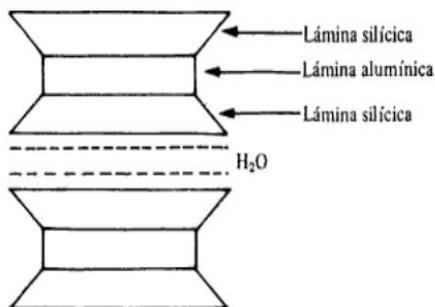
Fuente:(Villalaz,2004)

b) El Montmorilonitico

Este tipo de arcillas pertenecen al grupo de las bentonitas, formadas por la lámina aluminica ubicada y superpuesta entre dos laminas silicas, debido a su estructura la unión entre las retículas es débil, lo que hace que la estructura sea penetrada por las moléculas de agua con facilidad. (Villalaz,2004, p.26)

Este tipo de arcillas son la menos cohesivas ya que la composición de sus laminas hace que sea posible el drenaje rápido de sus poros, produciéndose una consolidación rápida del suelo y terminándose produciéndose deformaciones y cambios de volúmenes constantes

Ilustración 5. Arcilla Montmorilonitico



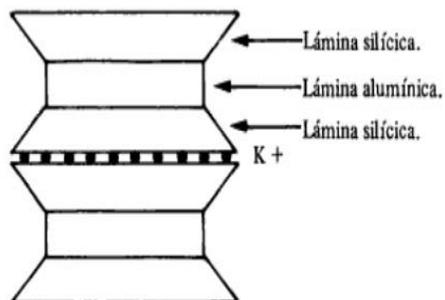
Fuente:(Villalaz,2004)

a) El ilitico

Esta arcilla se da producto del proceso de hidratación de las micas, las cuales presentan un arreglo reticular parecida al de las arcillas montmoriloniticas, pero estas en cambio tienen tendencias a formar grumos bajo la presencia de iones de potasio, lo cual causa una reducción en el área expuesta al agua, y esta es una de las causas por la cual no son tan expansivas como las arcillas montmoriloniticas. (Villalaz,2004, p.27)

Esta arcilla tiene una forma muy idéntica a la arcilla montmorilonitica pero la diferencia es que sus laminas silicas son un poco más resistentes a la presión de los poros manteniéndolos estables por un tiempo antes de terminar consolidándose por completo.

Ilustración 6. Arcilla



Fuente:(Villalaz,2004)

Los suelos arcillosos y su relación con la ingeniería civil

Los suelos arcillosos dentro de la ingeniería son los materiales más contradictorios a la hora de ser estudiados pues debido a las constantes problemáticas que resulta a la hora de realizar estructuras sobre ellas. Estas generan múltiples problemas de estabilidad en un gran número de obras alrededor del país. Por otro lado, durante el transcurso de los últimos años se ha cobrado un interés especial en las arcillas, en medida que están constituyen potenciales proyectos de repositorios de residuos nucleares, ya que es últimamente considerado su empleo para la realización de barreras, que cumplen la función de retardar y evitar el esparcimiento de radionucleidos e interactúe con la biosfera del medio ambiente. (Cusquisibán,2014, p,11)

Tabla 2. Tabla de clasificación de suelos SUCS

| Grupos de suelos arcillosos | Símbolo del grupo | Propiedades mas importantes de las arcillas | | | |
|---|-------------------|--|--|---|--------------------------|
| | | Permeabilidad del suelo en estado compactado | Resistencia al corte del suelo en estado compactado y saturado excelente | Compresibilidad del suelo en estado compactado y saturado | Facilidad de tratamiento |
| Limos inorganicos/ arenas finas (polvo de roca)/arenas limo - arcillosas con ligera plasticidad | ML | Semipermeable/ Impermeable | Regular | Media | Regular |
| Arcillas inorganicas de baja plasticidad | CL | Impermeable | Regular | Media | Buena a regular |
| Limos organicos de baja plasticidad | OL | De semipermeable a Impermeable | Deficiente | Media | Regular |
| Limos organicos de alta plasticidad | MH | De semipermeable a Impermeable | Regular a Deficiente | Media | Deficiente |
| Arcillas inorganicas de alta plasticidad | CH | Impermeable | Deficiente | Alta | Deficiente |
| Limo Organico /Arcilla organica de alta plasticidad | OH | Impermeable | Deficiente | Alta | Deficiente |
| Turba y o tros suelos altamente organicos | PL | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración Propia

Importancia de los suelos arcillosos

Durante la mayor parte del tiempo, ha surgido diversos problemas concerniente a los suelos que el ingeniero civil debe enfrentar para encontrar la solución o forma de como estabilizarlo o tratarlo, ya que el suelo es el soporte del peso de las futuras estructuras y si este no cumple con los parámetros de resistencia establecidos en el cálculo sencillamente no pueden cumplir el objetivo de soportar estructuras, ya que estas estructuras sufrirán problemas de agrietamiento, hundimientos y otros daños si no procede a realizar una estabilización . El suelo no solamente es utilizado como base para el soporte de las cargas de las estructuras, sino también han cumplido un papel fundamental en los taludes como material para construcción de viviendas y carreteras. (Cusquisibán,2014, p,12)

Suelos Arcillosos expansivos

Se entiende por suelo arcilloso expansivo a todo aquel suelo donde predomine principalmente las partículas de arcillas las cuales presenten gran susceptibilidad a cambios volumétricos debido a la presencia de humedad, puede recalcarse que son más comunes presenciarlos en suelos arcillosos con mineral montmorilonita y o áreas de suelo que presenten climas semiáridos, donde la precipitación media anual es mayor a la evapotranspiración potencial media anual del lugar. (Lopez,1995, p.6)

Los suelos expansivos son aquellos suelos donde no existen la presión debido a los poros de agua ya que estas son drenadas rápidamente, en estos suelos los esfuerzos son considerados en parámetros totales ya que no se consideran los parámetros de esfuerzos efectivos de los poros, debido a esto estos suelos sufren una consolidación inmediata.

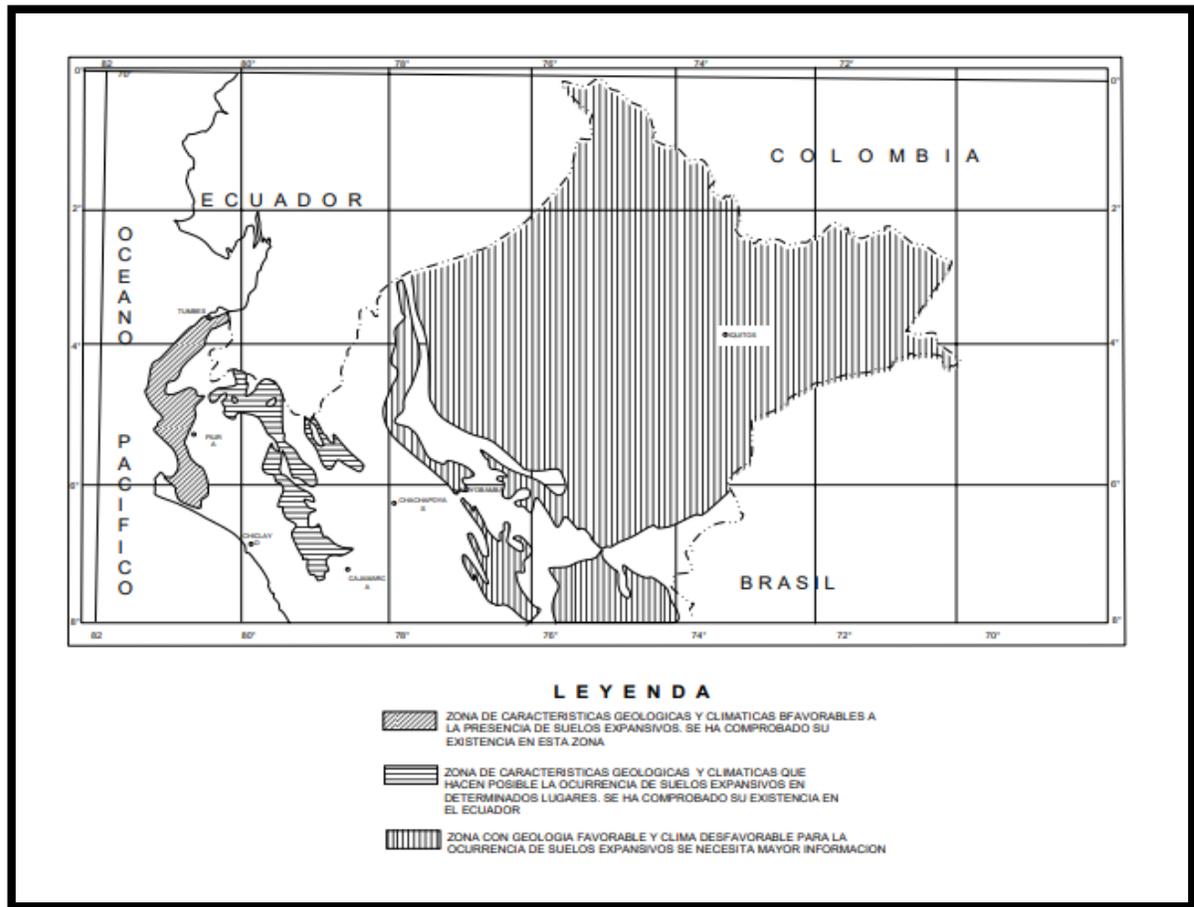
Zonas donde se presentan suelos expansivos en Perú

Los suelos expansivos en el Perú están presentes en varias regiones, con depósitos de suelo arcilloso, donde suceden variaciones considerables de humedad, una zona con mayor índice es la amazonia peruana, la cual presenta clima con estaciones muy variadas y también en zonas semidesérticas, donde se presentan largas temporadas de sequía con

pequeños periodos donde se da precipitación, pero principalmente en zonas semiáridas con clima templado y tropical.

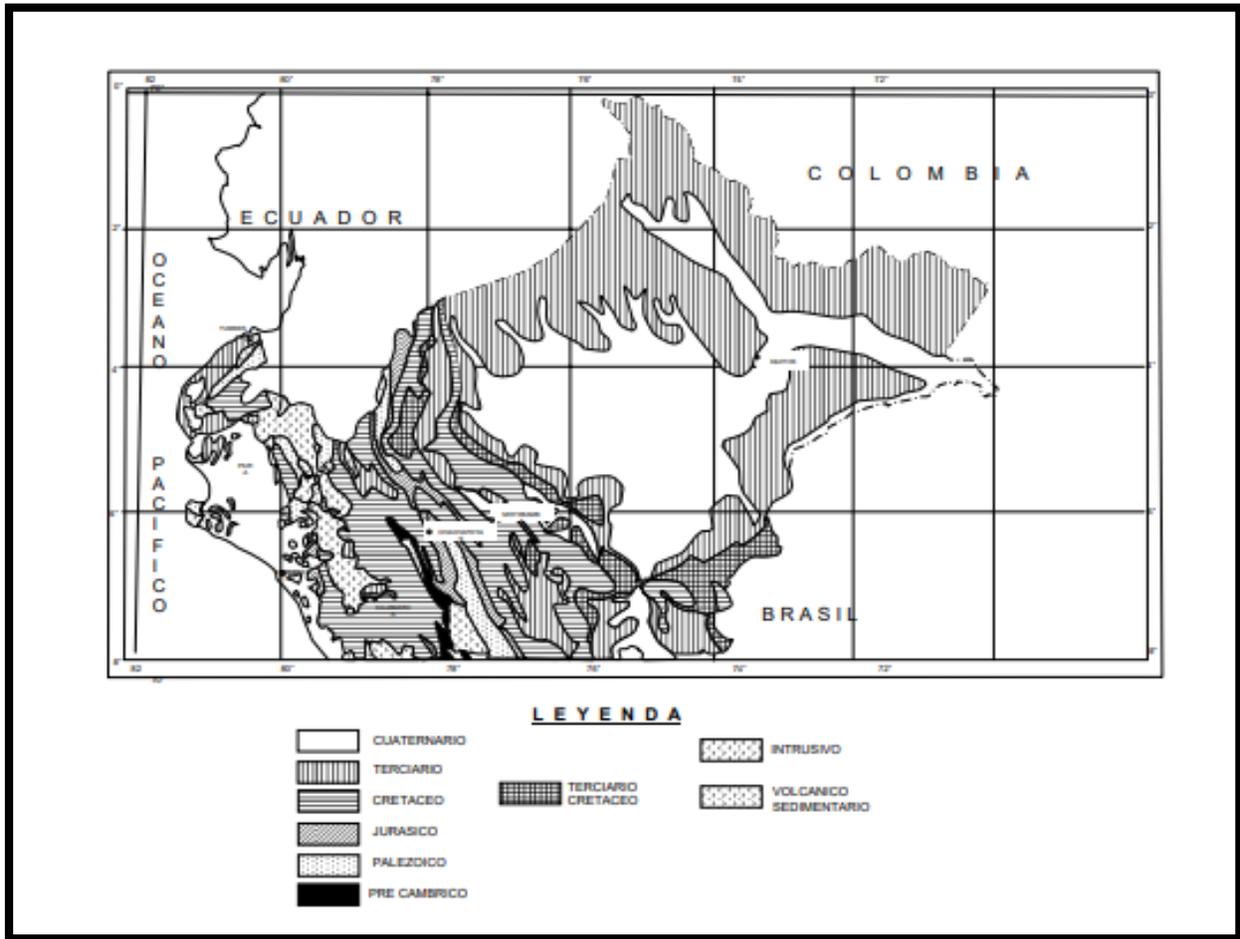
Mayormente se presencia en zonas del norte de país como Chiclayo, Trujillo, Piura y Chimbote. También en zonas de la amazonia peruana como Iquitos, Madre de Dios y Pucallpa.

Ilustración 7. Mapa de Zonificación de suelos expansivos de la Región Norte y Nororiente del Perú



Fuente: Ministerio de agricultura

Ilustración 8. Mapa de Geológico la Región Norte y Nororiente del Perú



Fuente: Ministerio de agricultura

El fenómeno expansivo de los suelos suele darse por un aumento de los esfuerzos efectivos del suelo, llamado también fenómeno capilar, en suelos como las arcillas se pierde agua mediante la evaporación, la cual genera contracción y consolidación del suelo debido a la tensión capilar.

Mineralogía

Dependiendo de los minerales las arcillas, se pueden clasificar en caolinitas, montmorilonitas e ilitas. Las montmorilonitas son los culpables en el problema de la expansión del suelo.

Las montmorilonitas están formadas, por laminas aluminicas entre dos silícicas cuyos enlaces son débiles la cual hace difícil la entrada y drenaje de las moléculas de agua.

Identificación de los suelos de los suelos expansivos

Para la identificación de suelos expansivos existen diferentes métodos.

- Uno de los primeros métodos es la identificación mineralógica
- Otro método utilizado es mediante la identificación de sus propiedades Índice de plasticidad, ya que los suelos arcillosos son suelos con alto índice de plasticidad.
- Otra forma es el método directo, donde se identifica el suelo mediante ensayos de corte para identificación del comportamiento. (Lopez,1995, p.13)

Propiedades físicas de los suelos expansivos

a) Contenido de Agua

Independientemente del potencial de suelo, mientras el contenido de humedad de la arcilla siga permaneciendo constante, no habrá cambio en su estructura volumétrica, en cambio sí ocurre un cambio gradual de 1% o 2% es más que suficiente para provocar expansiones en dirección vertical y horizontal.

b) Peso Específico Seco

Está directamente relacionado al contenido de humedad del suelo. Los suelos con pesos específicos secos relativamente mayores a 1.76 ton/m³ generalmente presentan un alto índice de expansión en su estructura.

c) Fatiga

Una Arcilla en el proceso de consolidamiento puede dejar de expandirse completamente alcanzando su contenido de humedad inicial, para luego después saturarse nuevamente y así repitiéndose en ciclos de secado y saturado, en donde la expansión va disminuyendo en cada ciclo.

Tabla 3. Cuadro para el cálculo del grado de expansión de suelos

| Datos estandar de laboratorio de campo | | | Expansión probable | Presión de expansión en kg/cm2 | Grado de expansión |
|--|----------------|---|--------------------|--------------------------------|--------------------|
| % pasante de la malla #200 | Limite Liquido | Resistencia a la penetración estandar golpes/pies | | | |
| > 35 | > 60 | > 30 | > 10 | > 9.8 | alta |
| 60 - 95 | 40 - 60 | 20 - 30 | 3 - 10 | 1.5 - 9.8 | muy alta |
| 30 - 60 | 30 - 40 | 10 - 20 | 1 - 5 | 1.5 - 2.5 | media |
| < 30 | < 30 | < 30 | < 1 | 0.5 | baja |

Fuente: López (1995)

Flujo de agua y permeabilidad en suelos expansivos

El agua en los suelos expansivos se traslada como respuesta a las gradientes de carga hidráulica, pero en suelos no expansivos el agua está sujeta a las presiones menores que succión siendo esta gradiente menor que el flujo. (Lopez.1995, p.24)

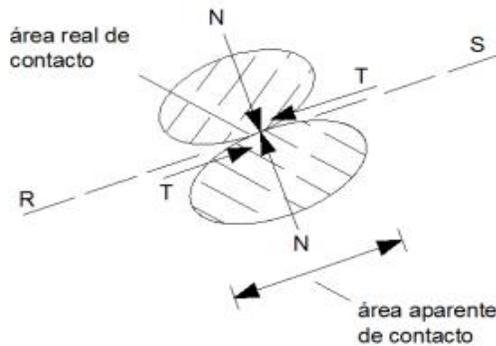
El flujo de humedad de las arcillas expansivas está dominado por las grietas y la estructura del bloque arcilloso, la cual puede caracterizarse en dos partes, primero en el flujo a través de las grietas y otro el flujo a través del bloque. (Lopez.1995, p.24)

Resistencia al Corte en suelos

Se define como resistencia al corte, como la resistencia del suelo al esfuerzo cortante en valor máximo o total, este límite de esfuerzo puede causar que la masa se consolide y ceda. En una masa la resistencia al corte se da mediante el desarrollo de la fricción entre las partículas adyacentes, basándose así el modelo principalmente en el análisis de la fricción. (Guadalupe,2015, p.9)

Se conoce que un suelo se deforma cuando el esfuerzo de corte aplicado a este es mayor que su resistencia al corte. (Guadalupe,2015, p.9)

Ilustración 9. Modelo de fricción



Fuente: Torres (2006)

Criterios de falla (Circulo de Morh – Coulomb)

Fue Mohr quien presentó la teoría de ruptura de los materiales. Basándose contextualmente que material falla debido a la combinación de forma crítica del esfuerzo normal y del esfuerzo cortante. Por ende, la relación funcional surgida entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante da como resultado un plano de falla. (Das,2001, p.228)

El criterio de la teoría del círculo de Mohr se entiende bajo un plano de falla que se da bajo una combinación de esfuerzos donde se ve implicado el esfuerzo cortante actuante sobre el suelo y los esfuerzos normales que sufre la masa, la tangente de estos establece la línea de falla del material, donde podemos determinar el ángulo de fricción interna y cohesión mediante una gráfica funcional de la tangente de los esfuerzos.

$$T_f = f(\sigma) \quad (1.1)$$

Dónde:

T_f = Esfuerzo cortante aplicado sobre el plano de falla

σ = Esfuerzo normal surgido sobre el plano de falla

La envolvente de falla está dada por la ecuación (1.1) la cual representa una curva. En la mayoría de los problemas donde se involucre a los suelos, es suficiente para aproximarse

al esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776).

Esta relación puede escribirse como:

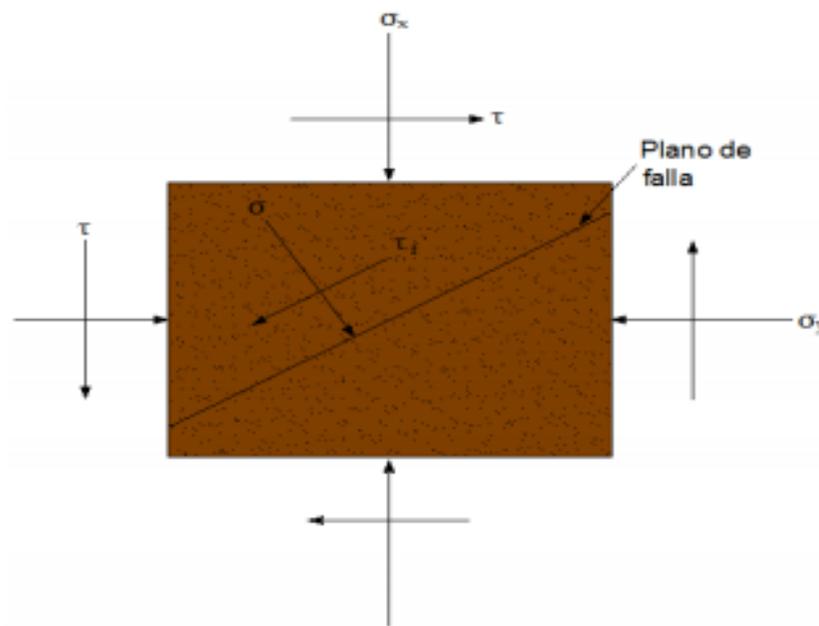
$$T = c + \sigma \times \text{Tan } \emptyset \quad (1.2)$$

Dónde:

c = Cohesión del material

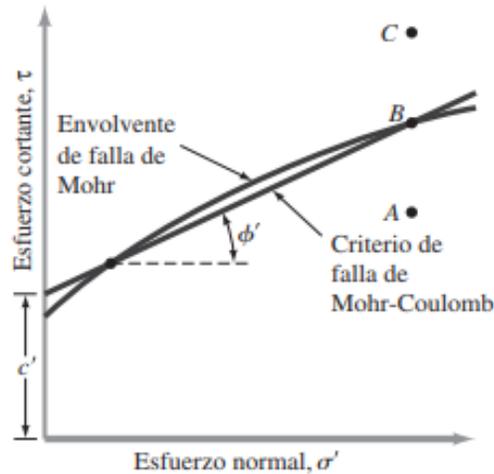
\emptyset = Ángulo de fricción interna del material

Ilustración 10. Plano de Falla del Suelo



Fuente: Das (2001)

Ilustración 11. Grafica de la envolvente de Mohr



Fuente: Das (2001)

Tabla 4. Relación entre la densidad y el ángulo de fricción

| Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión | | |
|--|----------------------|-------------------------------------|
| Estado de empaquetamiento | Densidad relativa(%) | Ángulo de fricción ϕ' (grados) |
| Muy suelto | <20 | <30 |
| Suelto | 20 -40 | 30 -35 |
| Compacto | 40 -60 | 35 -40 |
| Denso | 60 - 80 | 40 - 45 |
| Muy Denso | > 80 | > 45 |

Fuente: Das (2001)

Angulo de Fricción

El ángulo de fricción interna (ϕ) denominado así al ángulo formado entre el eje de esfuerzos normales y la tangente al círculo envolvente de Mohr, es ahí en este punto donde se presenta una condición de ruptura del suelo sólido debido a los esfuerzos; es decir, es el ángulo correspondiente a la tangente generada de la relación entre la fuerza resistente al deslizamiento y la fuerza normal aplicado a lo largo de un plano. La deformación de las

partículas del suelo, tamaño nominal, forma de los granos y presión normal son los factores principales del cual depende el ángulo de fricción interna; los valores del ángulo de fricción pueden variar prácticamente de 0° que son para arcillas plásticas, cuya consistencia esta próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para las gravas y arenas secas, de forma compacta o de partículas angulares. (Villalaz, 2004, p.35).

El ángulo de fricción del suelo es una característica relacionada directamente a la resistencia al corte, donde si surge un aumento en el ángulo de fricción significaría un aumento también en el plano de falla de los esfuerzos lo cual incrementaría el grafico de la línea de falla obteniendo una mayor resistencia la corte, para ello es importante entender el material que comprende el suelo ya que el ángulo de fricción varía según el tipo y sus componentes.

En suelos arcilloso el ángulo de fricción comprende un valor menor o igual a 30° dependiendo del estado de cohesión y consolidación del suelo, un caso particular son los suelos expansivos ya que son suelos que se consolidan rápidamente ello deriva que el ángulo de fricción de sus partículas sea mucho menor aún.

Cohesión

Se define como cohesión a la adherencia generada en las partículas del suelo debido a la atracción molecular de las mismas en base a capacidad de las películas de agua y las fuerzas moleculares que tiene como característica. Por lo tanto, si el suelo sufre un cambio de humedad se verá afectada la cohesión del suelo. La cohesión puede medirse en kg/cm^2 o en kPa . Los suelos arcillosos pueden presentar hasta valores de cohesión de $0.25 \text{ kg}/\text{cm}^2$ hasta $1.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$, o más. En comparación de los suelos limosos los cuales presentan muy poca cohesión, y en las arenas donde la presencia de la cohesión es casi definitivamente nula podría decirse que no existe. (Juárez, 2005, p.169).

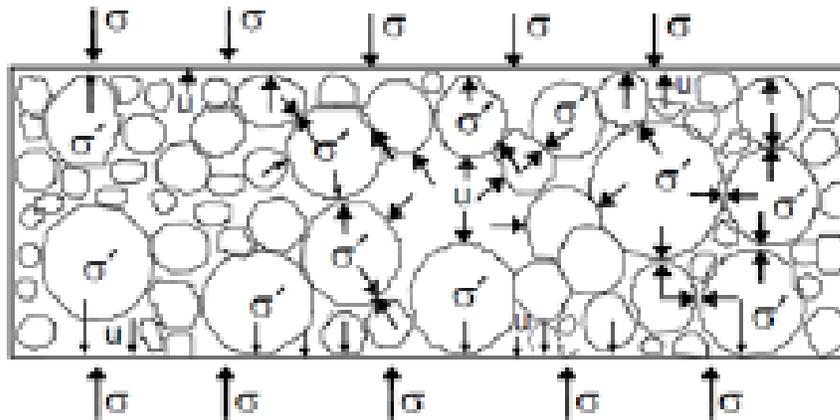
Esfuerzos Totales y efectivos

Se define como esfuerzo a la fuerza ejecutada por unidad de área. (Guadalupe,2015, p.18)

Esfuerzo Efectivo

La masa de un suelo está conformada por dos fases que se distinguen: La primera es el esqueleto de la partícula y la segunda son los poros de las partículas los cuales están llenos de agua. (Suarez,2009, p.35)

Ilustración 12. Gráfico de Esfuerzos Totales y efectivos



Fuente: Suarez (2009)

Básicamente el esqueleto estructural del suelo puede transmitir los esfuerzos normales y también de corte a través del contacto con el agua, puede lograr ejercer presión hidrostática de la misma manera en todas las direcciones. (Suarez,2009, p. 56)

Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto son denominados esfuerzos efectivos y a los hidrostáticos se le nombra como presión de poros. Los esfuerzos efectivos son los encargados de controlar el comportamiento del suelo a la resistencia al corte. (Suarez,2009, p. 56)

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Esfuerzo efectivo= esfuerzo total – presión de poros

Esfuerzo total

El esfuerzo total no es más que la suma respectiva de todas las fuerzas ejercidas en el suelo, incluyendo aquellas que son transmitidas a través del contacto con las partículas, estas a través de la presión de los poros en el agua añadiendo el área de sólidos y el área de los vacíos. (Suarez,2009, p.37)

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

Esfuerzo Total = esfuerzo efectivo + presión de poros

Problema General

¿Cómo influye la adición de fibras de caucho sobre la resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos expansivos?

Problemas Específicos

¿Cómo la adición de fibras de caucho reciclado influye en el esfuerzo de falla de los suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y al 15%?

¿Cómo la adición de fibras de caucho reciclado influye en el ángulo de fricción interna de suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y 15%?

¿Cómo la adición de fibras de caucho reciclado influye en la cohesión de suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y 15%?

Justificación del estudio

Ante la problemática planteada de los suelos arcillosos, al considerado suelo poco favorable para la construcción, debido a su baja capacidad portante y cambiado de sus propiedades volumétricas y de plasticidad, la cual ha generado buscar formar de estabilización o incluso el mejoramiento a través del reemplazo del suelo, ha resultado el

interés de plantear esta investigación como una solución con enfoque medio ambiental y de beneficio a la ingeniería.

Justificación teórica.

Este proyecto proporcionará una alternativa de solución para afrontar la problemática ambiental y la problemática surgida de los suelos arcillosos expansivos, mediante la adición de fibras de caucho reciclado como a material estabilizante que influirá en la mejora de la resistencia al corte no drenado.

Justificación metodológica.

Este proyecto permitirá aplicar procedimientos y metodologías al realizar los ensayos de laboratorios necesarios para la solución de la problemática y poner en conocimiento de los alcances y mejoras que se implementarán en la comunidad en base a lo investigado.

El presente trabajo busca afianzar mayor conocimiento de la estabilidad de suelos y promover una cultura ambiental. El trabajo tiene una utilidad metodología ya que podría realizarse futuras investigaciones que utilicen metodologías compatibles, de manera que podrían surgir una ampliación del trabajo que ayude a un mayor análisis para el mejoramiento. La investigación es viable, pues dispone de los recursos y medios necesarios para llevarlo a cabo con los objetivos establecidos completamente.

Justificación práctica

La adición de fibras de caucho reciclado en el suelo arcilloso tendrá una influencia directa en el ángulo de fricción y cohesión, sucediendo como consecuencia un aumento en la resistencia al corte bajo condiciones no drenadas.

La presente investigación surge de la necesidad de resolver el problema de los suelos arcillosos expansivos bajo una perspectiva de solución.

Hipótesis General

La resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos presenta un aumento con la adición de fibras de caucho reciclado al 3%,5% y 15% del peso seco.

Hipótesis Específicas

La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente en la capacidad del suelo de resistir mayores esfuerzos antes de la falla.

La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente aumentando el ángulo de fricción de los suelos arcillosos expansivos

La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente aumentando la cohesión de los suelos arcillosos expansivos.

Objetivo General

Obtener un mejoramiento en los parámetros mecánicos de los suelos arcillosos a través de la adición de fibras de caucho reciclado y su influencia a la resistencia al corte no drenado.

Objetivos Específicos

Determinar el esfuerzo de falla aplicado en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU).

Determinar el ángulo de fricción interna del suelo arcilloso en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU).

Determinar la cohesión del suelo arcilloso en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU).

II. METODOLOGIA

2.1. Tipo y Diseño de investigación

2.1.1. Tipo de investigación

“La investigación aplicada es aquella que está dirigida a resolver objetivamente los problemas” (Ñaupas, 2014, p.93).

La presente investigación es **aplicada** porque se está dando solución entorno a la problemática planteada, incrementando la capacidad portante del suelo arcilloso. El tipo de investigación es de **enfoque cuantitativo**.

2.2. Diseño de investigación

“El diseño de la investigación es la estrategia o el plan efectuado para obtener información relevante y requerida en una investigación con el fin de responder los planteamientos expuestos” (Hernández Sampieri et al, 2014, p.128). La investigación experimental consiste principalmente en someterse a un grupo de individuos u objetos bajo determinadas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), para lograr observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente) (Arias,2012, p.34).

El diseño empleado para la presente investigación es **Experimental** ya que hara una manipulación de la variable independiente y se medirá la variable dependiente.

2.2.1. Nivel de investigación

“Una investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o de origen poco estudiado, por lo que sus resultados que se obtendrán solo constituyen una visión aproximada de dicho objeto o tema” (Arias,2012, p.23).

El nivel de la presente investigación es **exploratorio**, ya que se tiene como propósito el demostrar que los cambios surgidos en la variable dependiente fueron causados por la variable independiente en forma directa y que sirva como base para una futura investigación descriptiva.

2.3. Variables, Operacionalización

2.3.1. Variables

Variable independiente: Fibras de caucho reciclado

Variable dependiente: Resistencia al corte no drenado del suelo arcilloso expansivo

2.3.2. Operacionalización

Establece cómo se va a medir las variables (dependiente e independiente). La

Operacionalización de variables se indica en el siguiente cuadro.

Tabla 5. Matriz de Operacionalización de las variables

| MATRIZ DE OPERACIONALIZACION | | | | | |
|--|--|---|--|-------------------------------------|---------------|
| VARIABLES | DEFINICION CONCEPTUAL | DEFINICION OPERACIONAL | DIMENSIONES | INDICADORES | ESCALA |
| V1: FIBRAS DE CAUCHO | Según Cabanillas (2017) nos dice: Las fibras de caucho reciclado es el material proveniente del caucho de los neumáticos los cuales son reutilizados debido a que ya no presentan vida útil, además estos son bien aprovechados en la industria como material de residuo y fuente de energía, que al ser valorizado puede ser usado en infinidad de aplicaciones no solo limitándose a las ingenierías. (pp.33) | Las fibras de caucho serán estudiadas mediante ensayos de granulometría, para determinar tamaño de muestra. | PROPIEDADES MECANICAS DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO | PESO ESPECIFICO | INTERVALO |
| | | | | GRANULOMETRIA (TAMAÑO DE FIBRAS) | |
| | | | | HUMEDAD | |
| V2: RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO | La resistencia cortante del suelo o también denominada resistencia interna aplicada por unidad de área masa de suelo la cual se obtiene debido a la falla o deslizamiento causado a lo largo plano interior. (Braja, 2015) | La resistencia al corte no drenado será estudiada mediante la realización del ensayo de corte triaxial no consolidado no drenado de suelos (CU). (Norma ASTM 2850-95) | ENSAYO TRIAxIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO (UU) | ESFUERZO DESVIADOR DE FALLA | INTERVALO |
| | | | | ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA | |
| | | | | COHESION | |

Fuente: Elaboración Propia

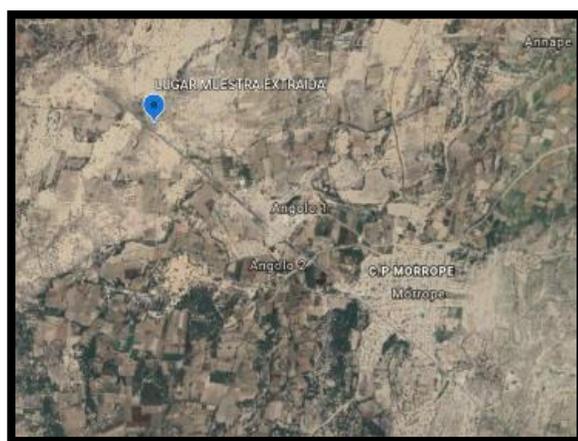
2.4 Población y muestra

2.4.1 Población

“La población es un conjunto finito o infinito de seres, elementos o cosas que comparten entre si atributos o características en común, los cuales son susceptibles a ser observados” (Valderrama, 2013, p.182).

Para esta investigación se considera la población a todo el ensayo que se requiere para obtener los resultados requeridos que son 12 probetas.

Ilustración 13. Lugar de extracción de la muestra de suelo arcilloso (Morrope, Lambayeque)



Fuente: (Google Earth,2019)

2.4.2 Muestra

“Se le denomina muestra a una porción representativa de la población con el propósito de ser estudiada” (Murria, 2010, p. 25). Para seleccionar el tipo de muestra se utiliza una técnica denominada muestreo. El muestreo puede realizarse básicamente de dos formas: Probabilístico o Aleatorio y No Probabilístico (Arias, 2012, p.83).

Muestreo no probabilístico: es un procedimiento de selección donde se desconoce la probabilidad exactamente de todos los elementos de la población seleccionada de para integrar la muestra. Este es el caso del Muestreo intencional, donde los elementos son escogidos con base en criterios o juicios previamente establecidos por el investigador (Arias, 2012, p.85).

Tabla 6. Población

| % de adición de fibras de caucho reciclado | Numero de réplicas del testigo |
|---|---------------------------------------|
| LINEA BASE (0.0)% | 3 |
| 3% | 3 |
| 5% | 3 |
| 15% | 3 |
| TOTAL | 12 |

Fuente: Elaboración propia

Criterios para estimar el tamaño de la muestra:

Los criterios están directamente relacionados con las posibilidades del investigador y la manera de determinar que se la correcta y la más viable en estudiar y analizar, en la mayoría de las instituciones universitarias, existen tesis que no cuentan con el financiamiento necesario para llevar a cabo el desarrollo de un proyecto de investigación. Por lo general, solo se dispone al investigador para la realización, un semestre académico comprendido en (16 semanas de clases) para recolectar los datos. En base a este sentido es que se justifica de manera plena que el tesista preestablezca un tamaño de muestra ajustada y acorde a sus posibilidades, sin descuidar la representatividad de la misma y afectar los resultados. (Arias,2012, p.87)

- En la presente investigación se usó el muestreo **no probabilístico** “muestreo intencional u opinático”, en este caso las muestras fueron escogidas por conveniencia del investigador, el tamaño de la muestra es de 34 kg de suelo expansivo extraídos de la zona urbana de (Ver Ilustración N°13). Esto se realiza con el propósito de alcanzar la cantidad de muestra requerida.
- El suelo arcilloso se reforzó con fibras de caucho al 3%,5% y 15% de su peso seco. La muestra total se utilizó por completo para el desarrollo de la presente investigación y esta con más detalle en la Tabla N° 7.

Tabla 7. Cantidad de muestra a extraer según la necesidad de ensayos a realizar

| Ensayos | Norma | Número de ensayos | Cantidad por ensayo (Kg) | Tamaño de muestra total (Kg) |
|---|-----------|-------------------|--------------------------|------------------------------|
| Granulometría por tamizado | MTC E 107 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| Humedad | MTC E 108 | 3 | 0,1 | 0,3 |
| Granulometría por hidrómetro | MTC E 109 | 1 | 0,2 | 0,2 |
| Límite líquido | MTC E 110 | 3 | 0,5 | 1,5 |
| Límite plástico e Índice de plasticidad | MTC E 111 | 3 | 0,2 | 0,6 |
| Límite de contracción | MTC E 112 | 3 | 0,2 | 0,6 |
| Gravedad Específica | MTC E 113 | 3 | 0,2 | 0,6 |
| Proctor estándar | MTC E 116 | 1 | 18 | 18 |
| Compresión triaxial no consolidado no drenado | MTC E 131 | 12 | 1 | 12 |
| TOTAL : | | | | 34 |

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Validez y confiabilidad

2.5.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Borja (2012, p.33) Es preciso describir las técnicas que se emplearan para la recopilación de datos e información en campo, también es necesario el presentar todos los formatos empleados en esta actividad, para el caso de los proyectos de investigación dentro de la ingeniería es necesario estos documentos para validar los datos recogidos.

El proceso de recolección está vinculada a tres actividades entre sí:

- Seleccionar el instrumento para la recolección de datos, el mismo que debe ser validado para obtención de la confiabilidad a la hora de la recolección de datos.
- Aplicar el instrumento a la muestra de estudio, en otras palabras, obtener observaciones registro o mediciones de variables.
- Analizar la información recopilada mediante los formularios de recolección.

Para la elaboración de la presente investigación se aplica la técnica de observación, ya que se observará como varía la capacidad portante del suelo arcilloso por cada

adición de porcentaje de fibras de caucho reciclado al realizarlos con los respectivos ensayos según el Manual de Ensayo de Materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC). Los instrumentos a utilizar son formatos estandarizados de laboratorio que se encuentran en la parte de anexos de la presente investigación.

2.5.2 Validez y confiabilidad

La confiabilidad del instrumentó de medición se basa en el grado en que su aplicación en forma repetitiva produzca en el objeto de estudio resultados iguales. La validez por otro lado se refiere al grado en que el instrumento mide en forma real la variable que pretende medir en cuestión. (Hernández Sampieri et al, 2014).

La presente investigación utilizará **formatos estandarizados** del laboratorio basados por la norma técnica peruana (NTP), por lo tanto, cumplen con la validez necesaria para una investigación. Por otro lado, se consideró una **muestra significativa** de 12 probetas con el objetivo de verificar el aumento de la resistencia al corte del suelo arcilloso expansivo. Como también se tiene el **respaldo de 3 ingenieros colegiados** para la validación del instrumento.

2.6 Método de análisis de datos

En la presente investigación se realizará un método para realizar los ensayos de laboratorio, en principio se eligió el tamaño de la muestra por conveniencia de los investigadores de 12 probetas con diferentes porcentajes de fibras de caucho reciclado que se encuentra a más detalle en la población y muestra de la presente investigación.

Luego se procedió a cotizar los ensayos que se va a realizar para esta investigación, para desarrollar el presupuesto del proyecto e identificar los materiales a usar para la elaboración de las probetas, realizando la compra de los materiales para los ensayos como son la adquisición del suelo cohesivo, probetas plásticas de 3"x6". Los ensayos se realizarán en el Laboratorio de coordinación de estudios especiales del (MTC), así cumpliendo con la NTP y la ASTM, estos ensayos se realizan con la finalidad de observar y analizar los datos que se obtendrán de la resistencia al corte del suelo arcilloso con la

incorporación de fibras de caucho reciclado, del análisis de datos se obtendrá y realizará una data de resultados y por consiguiente las conclusiones de la presente investigación.

2.7 Aspectos éticos

Según Betancur la ética es el saber el cual pretende orientar y dar pautas de como encaminar nuestra libertad, estas pautas se basan en actuar a través de la razón y bajo argumentos fidedignos. En el ámbito de la investigación esta comprende tres momentos:

El **primer momento**, se basa en finalidad de la investigación (para que se investiga), se tiene que ser claro en los objetivos que se persigue y la sinceridad de la investigación. El **segundo momento** son los medios y métodos de la investigación, no se debe usar métodos inadecuados. El **tercero** es la comunicación es que resultados se comunica y como se comunican, los resultados deben ser claros y veraces, lo que no se puede hacer es pretender dar resultados distorsionados a la realidad y también se debe tener en cuenta a la hora de difundir los resultados, hay personas que han proporcionado información confidencial y que pueden ser perjudicados al ser publicados estos resultados.

III. RESULTADOS

Se detallada de forma clara y ordenada los resultados obtenidos en esta investigación, con el fin de responder y cumplir con cada uno de los objetivos planteados, tanto con el objetivo principal y los específicos descriptos a continuación.

3.1 Caracterización del suelo extraído

La muestra de suelo extraída se encuentra aproximadamente en el Distrito de Morrope a 5km de la Ciudad de Chiclayo – La Libertad. El método empleado para la extracción fue mediante una calicata realizada a 1.20 de profundidad.

El suelo de muestra extraído se trata de un material arcilloso de mediana plasticidad de color marrón, Humedad del 12.2 %, con características visuales de contracción y expansión debido al alto contenido de montmorillorita y coloides.

El análisis granulométrico se realizó mediante procedimientos mecánicos, realizando un tamizado de las partículas de suelo mayores a 75 μm (Malla N° 200) y para la pasante a través de esta malla se realizó el ensayo granulométrico por hidrómetro.

3.1.1 Granulometría por tamizado (MTC E 107)

Tabla 8. Ensayo de Granulometría por tamizado

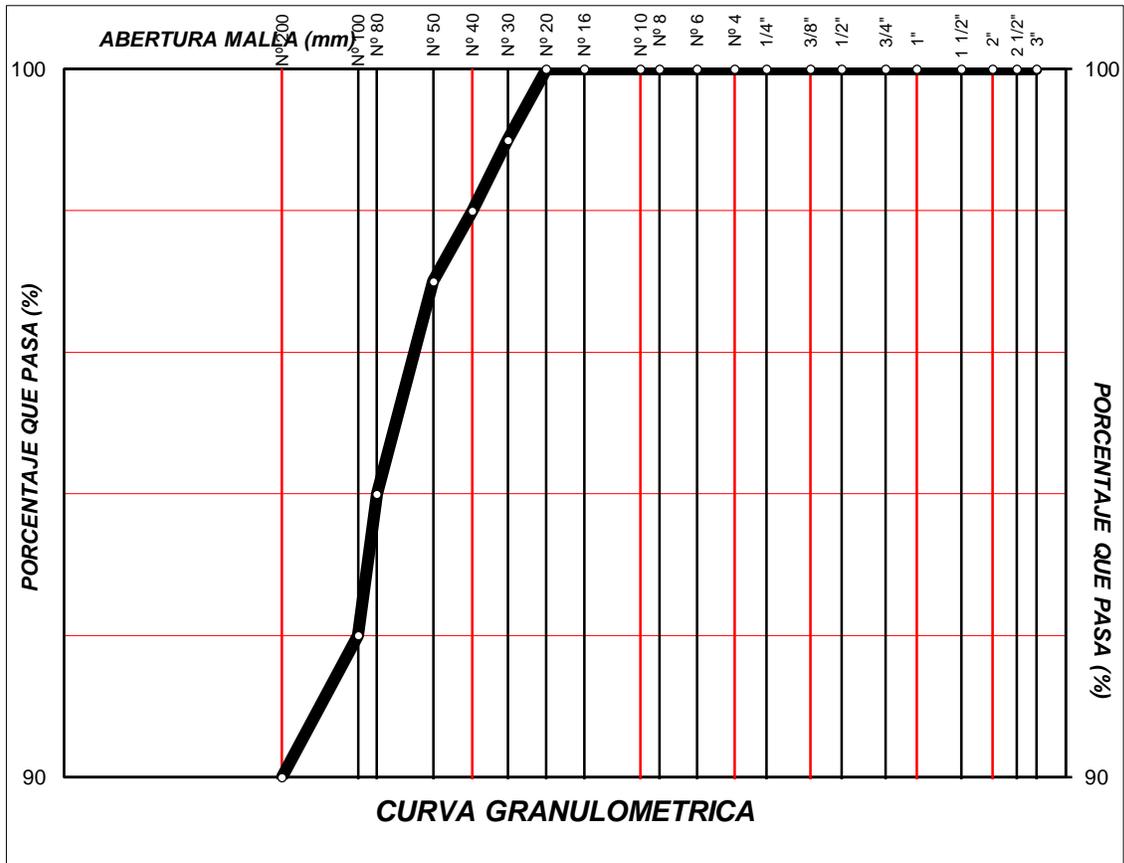
| N° TAMIZ | RETENIDO (G) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ABERTURA (MM) | % PASA |
|----------|--------------|------------|----------------------|------------|---------------|--------|
| N° 4 | - | - | - | - | 4.760 | - |
| N° 6 | - | - | - | - | 3.360 | - |
| N° 8 | - | - | - | - | 2.380 | - |
| N° 10 | - | - | - | - | 2.000 | - |
| N° 16 | - | - | - | - | 1.190 | - |
| N° 20 | - | - | - | 100 | 0.840 | 100 |
| N° 30 | 1.2 | 1 | 1 | 99 | 0.590 | 99 |
| N° 40 | 1.2 | 1 | 2 | 98 | 0.426 | 98 |
| N° 50 | 1.2 | 1 | 3 | 97 | 0.297 | 97 |
| N° 80 | 3.6 | 3 | 6 | 94 | 0.177 | 94 |
| N° 100 | 2.4 | 2 | 8 | 92 | 0.149 | 92 |
| N° 200 | 2.4 | 2 | 10 | 90 | 0.074 | 90 |
| FONDO | 108 | 90 | 100 | | | |
| 120 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

Como se puede apreciar en la tabla N° 8 se ha trabajado con una calicata extraída del área de estudio, luego de ello fueron analizadas, mostrando la siguiente distribución de las partículas encontradas en la muestra de suelo: En la calicata encontramos un 0.00% de Grava; 0% de Arena; 100% de Finos, según la clasificación de AASHTO es de tipo A-6.

Ilustración 14. Curva Granulométrica



Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

3.1.2 Límites de Consistencia (Atterberg) (NORMA ASTM D 423)

Tabla 9. Ensayo de Límite Líquido

| N° DE CAIDAS | ENSAYO 1 | | | ENSAYO 2 | | | ENSAYO 3 | | |
|-------------------------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | 25 - 35 | 20 - 30 | 15 - 25 | 25 - 35 | 20 - 30 | 15 - 25 | 25 - 35 | 20 - 30 | 15 - 25 |
| | 33 | 24 | 16 | 34 | 23 | 18 | 33 | 25 | 16 |
| W Lata + S. Humedo (G) | 74.45 | 85.13 | 83.46 | 89.5 | 77.35 | 76.5 | 76.53 | 85.23 | 77.14 |
| W Lata + S. Seco (G) | 69.35 | 74.59 | 69.47 | 84.65 | 68.70 | 69.52 | 72.41 | 81.24 | 67.59 |
| W Lata (G) | 59.23 | 63.23 | 58.26 | 58.56 | 61.58 | 60.12 | 59.54 | 65.42 | 57.54 |
| W Agua (G) | 10.12 | 11.36 | 11.21 | 9.56 | 11.56 | 11.54 | 10.54 | 11.68 | 10.29 |
| W Suelo Seco (G) | 29.56 | 31.52 | 31.89 | 32.45 | 31.26 | 31.56 | 30.56 | 29.57 | 32.54 |
| | 30.85 | | | 32.10 | | | 31.13 | | |
| | 31 % | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

Tabla 10. Ensayo de Límite Plástico

| DATOS | ENSAYO 1 | | ENSAYO 2 | | ENSAYO 3 | |
|------------------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| W LATA + S. HUMEDO(G) | 76.84 | 75.89 | 80.12 | 81.45 | 75.42 | 76.54 |
| W LATA + S. SECO (G) | 74.56 | 75.66 | 77.45 | 76.84 | 72.56 | 74.15 |
| W LATA (G) | 62.54 | 63.12 | 70.45 | 71.21 | 66.54 | 67.59 |
| W AGUA (G) | 1.94 | 1.89 | 1.75 | 1.84 | 1.56 | 1.85 |
| W SECO (G) | 8.59 | 7.65 | 7.65 | 8.35 | 7.13 | 8.56 |
| W % | 19.56 | 21.12 | 21.38 | 20.14 | 20.35 | 20.15 |
| LP % | 19.98 | | 21.47 | | 20.45 | |
| PROMEDIO LP (%) | 20 % | | | | | |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

Como se puede apreciar en las tablas N°9 y 10 se ha trabajado los límites de atterberg de la muestra de suelo extraído, la cual expreso los siguientes resultados:

La muestra ensayada presenta un LL = 31 %, por la cual se puede considerar un suelo de plasticidad media ya que $LL > 30$ como se presenta **Tabla N° 11**. La muestra ensayada presenta un LP = 20 %, como se presenta **Tabla N°12**.

3.1.3 Limite de Contracción (MTC E 112)

Tabla 11. Ensayo de Limite de contracción

| DATOS | E 01 | E 02 | E 03 |
|------------------------|-------|-------|-------|
| W LATA + S. HUMEDO (G) | 90.5 | 83.50 | 83.43 |
| W LATA + S. SECO (G) | 64.87 | 61.58 | 61.34 |
| W LATA (G) | 20.47 | 19.86 | 20.15 |
| W AGUA(G) | 23.98 | 21.48 | 21.35 |
| W S. SECO (G) | 43.52 | 40.18 | 39.86 |
| H (%) | 45.65 | 46.32 | 45.89 |
| V HG EN TARA = V | 42.57 | 41.87 | 40.29 |
| VHG DERRAMADO = V0 | 23.54 | 22.41 | 21.89 |
| V - V0 | 16.98 | 14.57 | 14.25 |
| (V - V0) X100/W0 | 35.56 | 33.57 | 34.89 |
| LC (%) | 13.65 | 13.46 | 13.54 |
| PROMEDIO LC (%) | 13.52 | | |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UCV.

INTERPRETACION:

Como se puede apreciar en la tabla N°11 se ha trabajado el límite de contracción de la muestra de suelo extraído, la cual expreso los siguientes resultados:

La muestra ensayada presenta un LC = 15%, por la cual se puede considerar un suelo con actividad significativa de expansión ya que $LC > 9$ como se presenta **Tabla N°13**.

3.1.4 Análisis Granulométrico por Sedimentación (MTC E 109)

Tabla 12. Análisis Granulométrico por Sedimentación

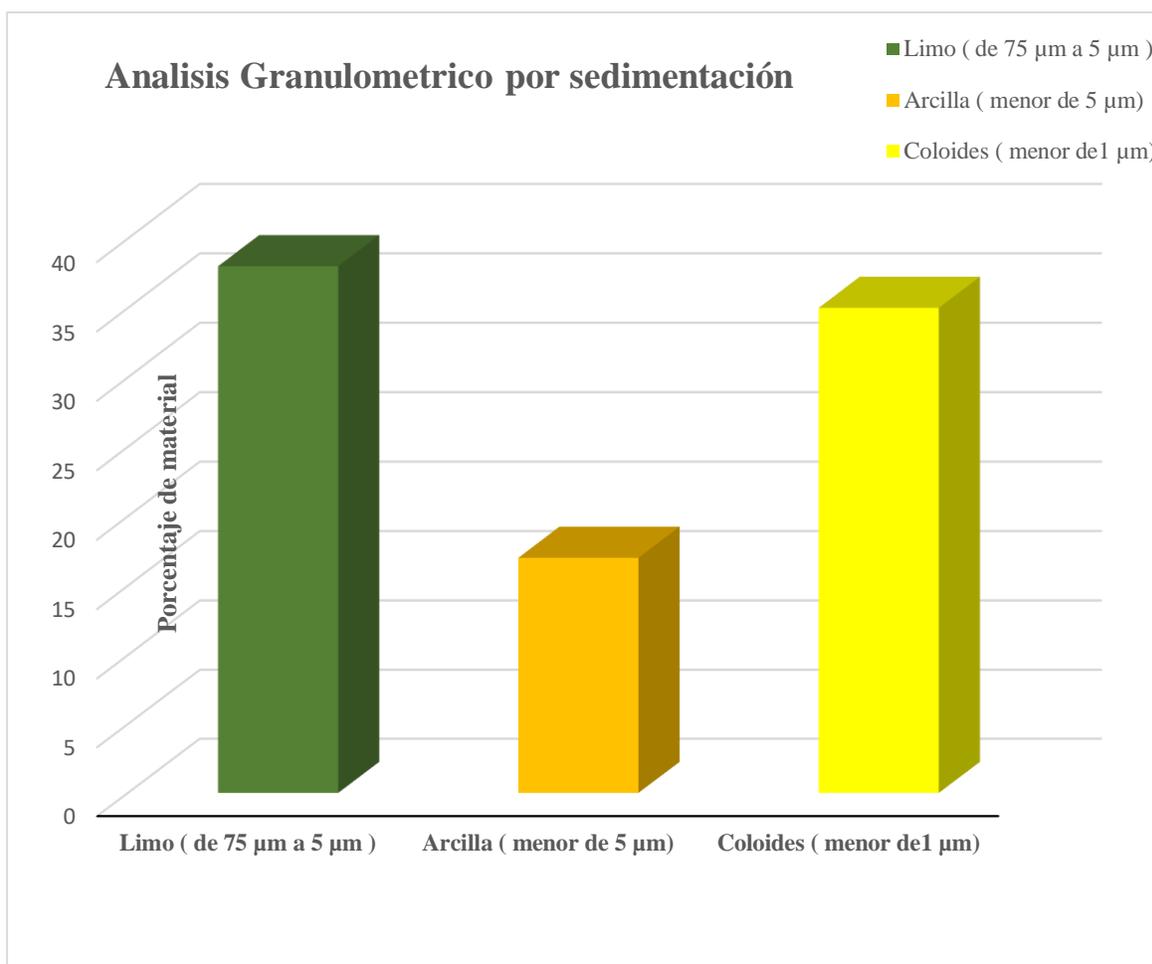
| IDENTIFICACIÓN | ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN | |
|-------------------------|--|----------------|
| | PARTICULAS MENORES | PORCENTAJE (%) |
| Calicata; Prof.: 1.10 m | Tamaño limo (de 75 μm a 5 μm) | 38,0 |
| | Tamaño arcilla (menor de 5 μm) | 17,0 |
| | Tamaños coloides (menor de 1 μm) | 35,0 |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

Como se puede apreciar en la tabla N°12, se ha trabajado con una calicata extraída del área de estudio, luego de ello fueron analizadas, mostrando la siguiente distribución de las partículas encontradas en la muestra de suelo: En la calicata encontramos un 0.00% de Grava; 0% de Arena; 100% de Finos de los cuales mediante sedimentación se obtuvo los siguientes porcentajes: 38% de Limos, 17% de Arcilla y 35% de coloides.

Ilustración 15. Análisis Granulométrico por Sedimentación



Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

3.1.5 Contenido de Humedad (MTC E 108)

Tabla 13. Contenido de Humedad del suelo

| DATOS | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | ENSAYO 3 |
|-------------------------|----------|----------|----------|
| W LATA + S. HUMEDO(G) | 66.51 | 75.5 | 68.5 |
| W LATA + S. SECO (G) | 86.70 | 93.9 | 90.3 |
| W LATA (G) | 83.95 | 91.5 | 87.5 |
| W AGUA (G) | 2.75 | 2.4 | 2.8 |
| W SECO (G) | 20.25 | 19.56 | 20.29 |
| W % | 12.1 | 12.33 | 12.21 |
| PROMEDIO DE HUEMEDAD(%) | 12.2% | | |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

De la tabla N°13 se obtiene el contenido de humedad H (%) que es igual a 12.2%. El material es de naturaleza cohesiva, el 90.4% del material pasa la malla N°200 (material fino), por lo que se obtiene un valor se optima cantidad de agua para conseguir la eficiente distribución durante la consolidación, para generar adherencia y baja permeabilidad.

3.1.6 Ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo (MTC E 113)

Tabla 14. Peso Específico del Suelo

| IDENTIFICACION | RESULTADO |
|-------------------------|-----------|
| Calicata: Prof.: 1.10 m | 2.693 |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

De los datos de la tabla N°14: Se obtiene el valor del peso específico seco del suelo que es igual a 2.693 kg/cm³, hay que recalcar que el peso específico está relacionado al contenido de humedad y en suelos donde este valor es mayor a 1.76 kg/cm³ son suelos que presentan generalmente alto índice de expansión en su estructura.

3.1.7 Ensayo para determinar el peso unitario mínimo en suelos (NTP 339.138)

Tabla 15. Peso Unitario Mínimo

| IDENTIFICACION | ENSAYO | RESULTADO |
|-------------------------|----------------------|-----------|
| Calicata: Prof.: 1.10 m | Peso unitario mínimo | 1.175 |

Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En la tabla N°15 se puede observar que el peso unitario mínimo o densidad seca del material es igual a 1.175 kg/cm². Un valor muy bajo debido al contenido alto de material fino que pasa la malla número N° 200 (90.4%) de los cuales el 35% está compuesto por colides que son partículas más finas que la arcilla.

Es importante el control del contenido de humedad a la hora de la realización de la compactación, para ellos al momento de agregar las fibras de caucho reciclado, pues se necesita mantener o mucho mejor aumentar la densidad seca pues si este reduce se generaría inestabilidad al suelo ya que se aumentaría la conductibilidad y el riesgo a filtraciones.

3.1.7 Resumen Clasificación Geotécnica del suelo

Tabla 16. Resumen Clasificación Geotécnica del suelo

| Parámetro | Valor |
|-----------------------------------|--------|
| Peso Específico (Ps) | 2.693 |
| Densidad Seca | 1.175 |
| Contenido de Humedad (W) | 12.20% |
| Límite Líquido (LL) | 31% |
| Límite Plástico (LP) | 20% |
| Índice de Plasticidad (IP) | 11% |
| Material que pasa la Malla N° 200 | 90.40% |
| Contenido de Finos (F=C+M) | 90% |
| Contenido de Coloides | 35% |
| Contenido de Arcillas (C) | 17% |
| Contenido de Limos (M) | 38% |

Fuente: Elaboración propia

3.1.8 Clasificación de suelos AASHTO

Tabla 17. Sistema de clasificación de suelos AASHTO

| Clasificación | Material Granular (donde 35% o menos pasa por el tamiz N° 200) | | | | | | Material limoso arcilloso (donde más del 35% pasa el tamiz N° 200) | | | | |
|---|--|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|--------|--------|--|--------|-------------------|--------|-----------------------|
| | A-1 | | A-3 | A-2-4 | | | | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 A-7-5 A-7-6 |
| Grupo: | A-1-a | A-1-b | | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 | | | | |
| % que pasa: N° 10 (2mm) N° 40 (0,425mm) N° 200 (0,075mm) | 50 máx 30 máx 15 máx | - 50 máx 25 máx | - 51 mín 10 máx | - - 35 máx | - - | - - | - - | - - | - - | - - | - - |
| Características del material pasante del tamiz N° 40 | | | | | | | | | | | |
| Límite líquido | - | - | - | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín 10 máx | 40 máx | 41 mín (2) |
| Índice de plasticidad | 6 máx | | NP (1) | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín | 10 máx | | 11 mín | 11 mín |
| Materiales principales | Fragmentos de roca, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena arcillosa o limosa | | | Suelos limosos | | Suelos arcillosos | | |
| Características | Bueno a Excelente | | | | | | Pobre a malo | | | | |

Fuente: Elaboración propia

3.1.8.1 Cálculo del Índice de Grupo

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0,005 * (LL - 40)] + 0,01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

Siendo:

F: % pasante del tamiz N°200

LL: Límite Líquido

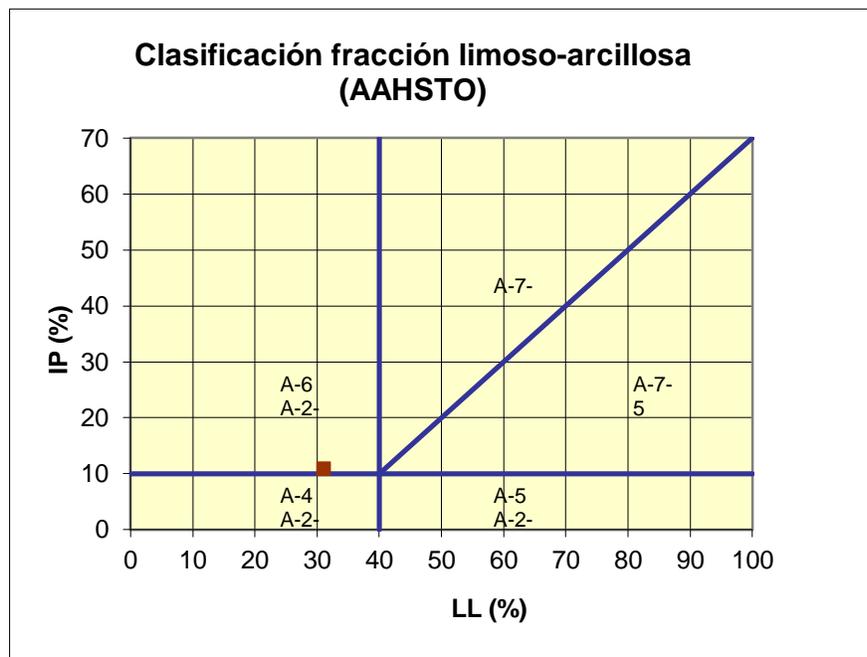
IP: Índice de plasticidad

Calculando:

$$IG = (90 - 35) * [0.2 + 0.005 * (31 - 40)] + 0.01 * (90 - 15) * (11 - 10)$$

$$IG = 9$$

Ilustración 16. Abaco clasificación AASHTO



Fuente: Elaboración propia

INTERPRETACION:

Con los datos geotécnicos del material obtenidos los cuales figuran resumidos en la tabla N°16, de los cuales se obtuvo LL (%) = 31%, IP (%) = 11 y datos de granulométricos del material,

pasante de la malla N° 200 del 90.4 %, se puede obtener a través del gráfico N°3 la clasificación AASHTO la cual concluye que estamos en presencia de un suelo netamente arcilloso (A-6)

También calculamos el índice de grupo (IG) del material la cual es igual a 9, del que se puede concluir que el material no es apto para una subrasante.

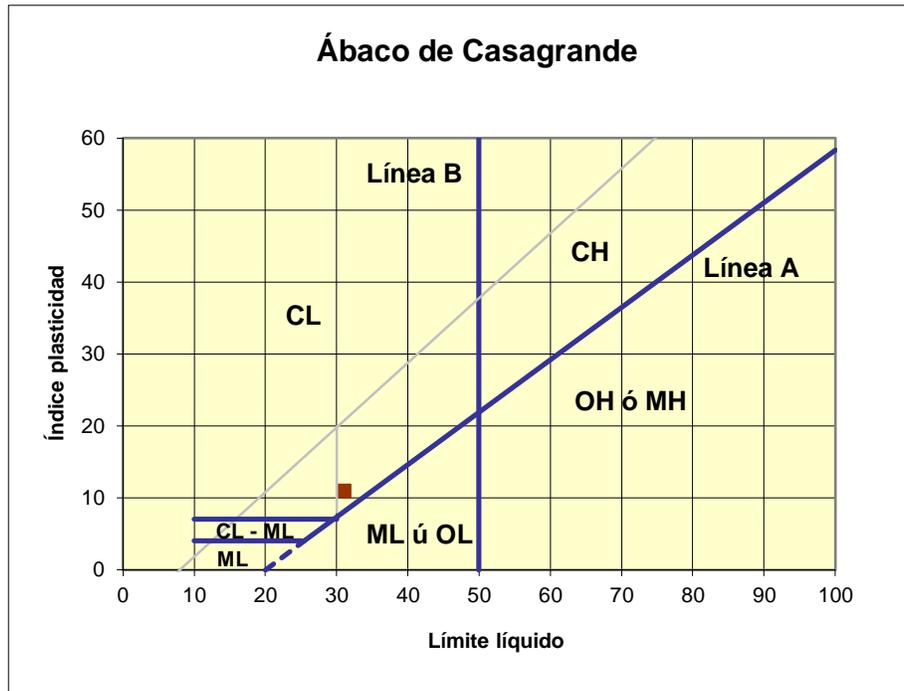
3.1.9 Clasificación de Suelos SUCS

Tabla 18. Sistema de clasificación de suelos unificado SUCS

| Divisiones Principales | | Simbolo del grupo | Nombres Típicos | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------|--|---|
| SUELOS GRAVOSOS | GRAVAS | Gravas Limpias | GW | Gravas bien graduadas, con poco o sin finos |
| | | | GP | Gravas mal graduadas, con poco o sin finos |
| | | Gravas con finos | GM | Gravas Limosas |
| | | | GC | Gravas arcillosas |
| | ARENAS | Arenas Limpias | SW | Arenas bien graduadas, con poco o sin finos |
| | | | SP | Arenas mal graduadas, con poco o sin finos |
| | | Arenas con finos | SM | Arenas Limosas |
| | | | SC | Arenas Arcillosas |
| SUELOS FINOS | LIMOS Y ARCILLAS LL < 50 | ML | Limo Inorganico de baja plasticidad | |
| | | CL | Arcilla Inorganica de baja plasticidad | |
| | | OL | Limo organico o Arcilla organica de baja plasticidad | |
| | LIMOS Y ARCILLAS LL > 50 | MH | Limo Inorganico de alta plasticidad | |
| | | CH | Arcilla Inorganica de alta plasticidad | |
| | | OH | Limo organico o Arcilla organica de alta plasticidad | |
| Suelos muy organicos | | PT | Turba o otros suelos altamente organicos | |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 17. Abaco de Casagrande SUCS



Fuente: Elaboración propia

INTERPRETACION:

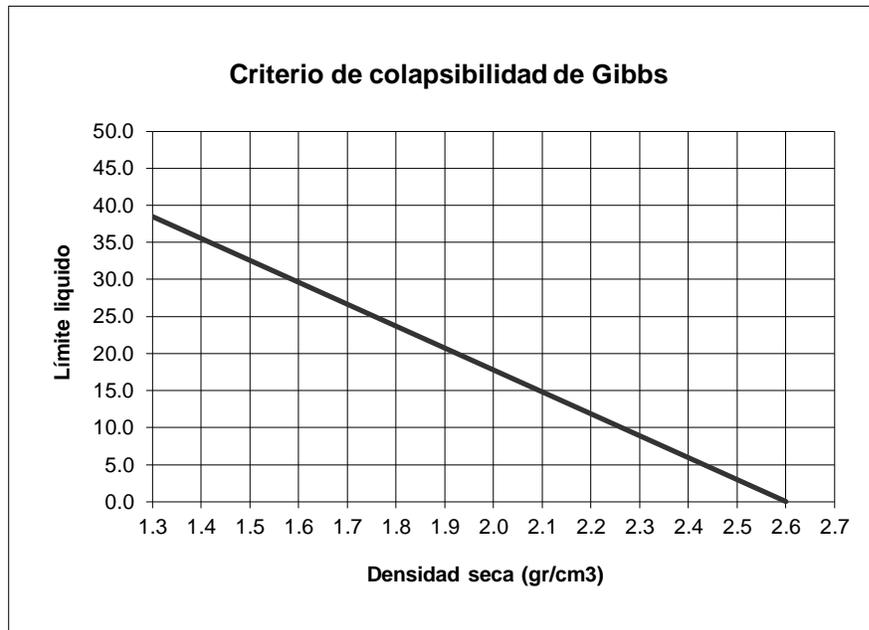
Con los datos definidos de la caracterización geotécnica y con ayuda del Abaco de Casagrande (**Ilustración N°17**) podemos determinar la clasificación SUCS del material en cuestión, el cual está dentro de la división de suelos finos, perteneciente al grupo de Limos y arcillas, caracterizándose como un (CL) un suelo arcilloso de mediana plasticidad. Mediana plasticidad debido al (IP) el cual se encuentra en un valor medio.

Con la caracterización podemos decir que es válido el uso del material extraído, ya que cumple con los estándares necesarios para poder dar continuación a la investigación.

Los ensayos de caracterización de material se efectuaron completamente, acorde a las normas de Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú, respetando los respectivos procedimientos.

3.1.9 Criterio de Colapsibilidad de Gibbs

Ilustración 18. Criterio de Colapsibilidad de Gibbs



Fuente: Elaboración propia

$$CC: 2.6/(1+0.026*LL)$$

$$CC: 2.6 / (1+0.026*31)$$

CC: 1.44 → Suelo Colapsable

INTERPRETACION:

Según el criterio de Gibbs, si la densidad seca es inferior a $2.6/(1+0.026*LL)$ tenemos un suelo colapsable.

El valor de la densidad seca es de $1.175 < 1.44$ la cual es un valor menor que CC por lo tanto la muestra es un suelo colapsable.

En el Ilustración N°18 podemos observar que la intersección de los valores de Limite Liquido (LL) y Densidad seca están debajo de la línea de colapsabilidad, con esto se determina que estamos en presencia de un suelo colapsable.

3.2 Índices del suelo extraído

3.2.1 Índice de Consistencia (Consistencia Relativa)

Ilustración 19. Formula Índice de Consistencia

$$I_c = \frac{LL - H}{I_p}$$

$$I_c = 31 - 12.2 / 11$$

$$I_c = 1.71$$

Cerca de 0 → $q_u = 0.25 - 1.00 \text{ kg/cm}^2$

Cerca de 1 → $q_u = 1.00 - 5.00 \text{ kg/cm}^2$

INTERPRETACION:

De los datos desarrollados de la fórmula de (I_c) Ilustración N°19, obtenemos un valor de I_c de 1.71, este valor es mayor a $1 < 1.71$, donde podemos deducir que la capacidad portante de suelo se encuentra entre $1 - 5 \text{ kg/cm}^2$, pero tener en claro que este es un valor referencial, la capacidad portante del suelo se determinara mediante la obtención de los datos de ángulo de fricción, cohesión y resistencia al corte.

3.2.2 Índice de Liquidez

Ilustración 20. Formula Índice de Liquidez

$$I_L = \frac{H - L_P}{I_P}$$

$$IL = H - LP / IP$$

$$IL = 12.2 - 21 / 11$$

$$IL = - 0.8$$

$IL \approx 0 \rightarrow$ Suelo preconsolidado

$IL \approx 1 \rightarrow$ Suelo normalmente consolidado

Si $IL \geq 0.2$ aun siendo suelo altamente plástico tendrá poca o nula expansión

INTERPRETACION:

De los datos desarrollados de la fórmula de (IL) Ilustración N°15, se obtuvo un valor menor a 0, donde se puede deducir que es suelos se encuentra en estado pre consolidado, es decir esta propenso a sufrir deformaciones debido a riesgo de filtración de poros.

3.2.3 Índice de Compresión

$$Cc = 0.009 (LL - 10)$$

$$Cc = 0.009 (31 - 10)$$

$$Cc = 0.189$$

$Cc \approx 0.0$ a $0.19 \rightarrow$ Compresibilidad Baja

$Cc \approx 0.2$ a $0.39 \rightarrow$ Compresibilidad Media

$Cc > 0.4 \rightarrow$ Compresibilidad Alta

INTERPRETACION:

El índice de compresibilidad del suelo es igual a 0.189, y se encuentra en el rango de baja compresibilidad, ya que no cuenta con el índice de humedad necesario para la correcta consolidación de las partículas de suelo.

3.2.4 Contracción Lineal

Ilustración 21. Formula Contracción Lineal

$$CL = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100 \quad \text{o} \quad \left(CL = \frac{IP}{2.13} \right)$$

CL= IP/2.13

CL= 11/2.13

CL= 4.70

CL > 9 → Se espera una actividad significativa de contracción – expansión

INTERPRETACION:

De los datos desarrollados de la fórmula de (CL) Ilustración N°16, se obtuvo un valor de contracción lineal igual a 4.70, un valor menor del rango 9, donde se deduce que es suelo esta propenso a sufrir expansión, pero no de forma significativa. Pero cabe resaltar que el fenómeno de la expansión depende de muchos más factores tales como, clima, porcentaje de partículas finas que la conforman el suelo, densidad seca, contenido de humedad, peso específico seco.

3.2.5 Potencial Expansivo del suelo

Identificación Mineralógica

Tabla 19. Grado de Expansión del suelo

| Grado de expansión | Finos (%) | Limite Liquido | Índice Lambe (Kpa) | Presión de hinchamiento (Kpa) | Hinchamiento Libre(%) |
|---------------------------|------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Baja | < 30 | < 35 | < 80 | < 25 | < 1 |
| Baja a Media | 30 – 60 | 35 – 50 | 80 – 150 | 25 – 125 | 1 – 4 |
| Media a Alta | 60 – 95 | 50 – 65 | 150 – 230 | 125 – 300 | 4 – 10 |
| Muy Alta | > 95 | > 65 | > 230 | > 300 | > 300 |

Fuente: Elaboración propia

INTERPRETACION:

De los datos obtenidos de la caracterización del suelo resumidos en la Tabla N° 16, podemos establecer el grado de expansión del suelo, de cual se deduce que estamos en presencia de un suelo de mediana y alta expansión, ya que la muestra presenta una pasante de finos del 90.4% y un límite líquido de 31%.

3.3 Caracterización Fibras de Caucho reciclado

3.3.1 Obtención de las fibras de Caucho reciclado

Las fibras de caucho reciclado de 0.5 mm se obtuvieron del caucho de las llantas de neumáticos en desuso.

Para la obtención de las fibras de caucho reciclado se procedió a triturar el material por proceso mecánico, para posteriormente ser tamizado para la obtención de un tamaño estándar que será utilizado para la elaboración de la investigación.

Las fibras fueron proporcionadas por la empresa EUROPLAST, quien hizo el préstamo de usos molinos para la trituración de los neumáticos en desuso, el tamizado posteriormente se hizo en laboratorio para la obtención de la curva granulométrica y tamaño a usar en las dosificaciones de las briquetas.

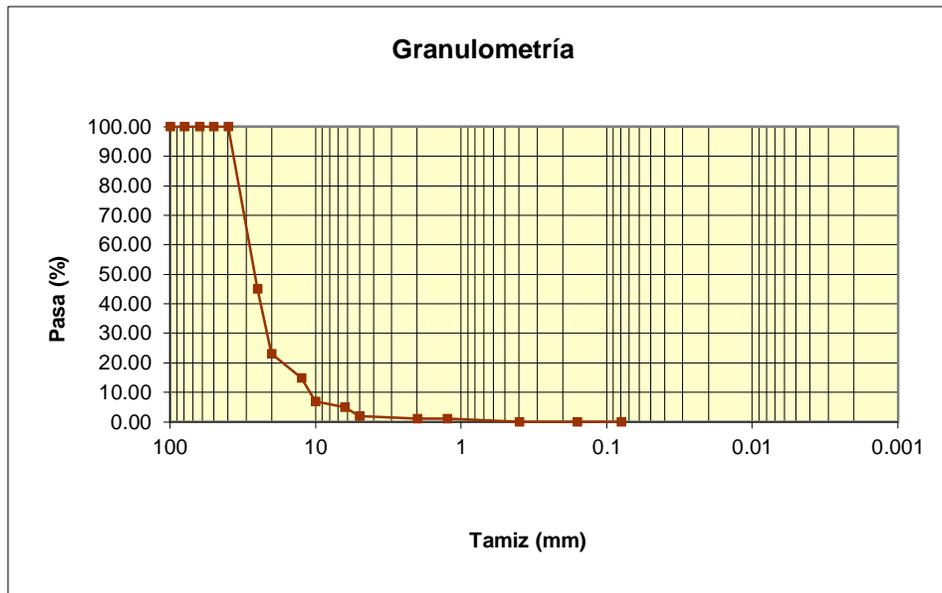
3.3.2 Granulometría por tamizado fibras de caucho reciclado (MTC E 107)

Tabla 20. Ensayo de Granulometría por tamizado fibras de caucho reciclado

| N° TAMIZ | RETENIDO (G) | % RETENIDO | % RETENIDO ACUMULADO | % QUE PASA | ABERTURA (MM) | % PASA |
|----------|--------------|------------|----------------------|------------|---------------|--------|
| 3" | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 76.200 | 100.00 |
| 2" | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 50.800 | 100.00 |
| 1 ½" | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 38.100 | 100.00 |
| 1" | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 25.400 | 100.00 |
| ¾ " | - | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 19.050 | 100.00 |
| ½ " | 110.00 | 55.00 | 55.00 | 35.00 | 12.700 | 45.00 |
| 3/8" | 44.00 | 22.00 | 77.00 | 23.00 | 9.525 | 23.00 |
| ¼" | 16.00 | 8.00 | 85.00 | 15.00 | 6.350 | 15.00 |
| N° 4 | 16.00 | 8.00 | 93.00 | 7.00 | 4.760 | 7.00 |
| N° 6 | 4.00 | 2.00 | 95.00 | 5.00 | 3.360 | 5.00 |
| N° 8 | 6.00 | 3.00 | 98.00 | 5.00 | 2.380 | 2.00 |
| N° 10 | 2.00 | 1.00 | 99.00 | 6.00 | 2.000 | 1.00 |
| N° 16 | - | 0.00 | 99.00 | 3.00 | 1.190 | 1.00 |
| N° 20 | 2.00 | 1.00 | 100.00 | 1.00 | 0.840 | 0.00 |
| N° 30 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.590 | 0.00 |
| N° 40 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.426 | 0.00 |
| N° 50 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.297 | 0.00 |
| N° 80 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.177 | 0.00 |
| N° 100 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.149 | 0.00 |
| N° 200 | - | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.074 | 0.00 |
| FONDO | - | - | - | - | - | - |
| 200 | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22. Curva Granulométrica por tamizado fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de las fibras de caucho reciclado

Tabla 21. Ensayo de peso específico de las fibras de caucho reciclado

| IDENTIFICACION | ENSAYO | RESULTADO |
|--|-----------------|------------------|
| Fibras de caucho reciclado de neumáticos en desuso | Peso específico | 1.23 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Ensayo para determinar el porcentaje de absorción de las fibras de caucho reciclado

Tabla 22. Ensayo de humedad de las fibras de caucho reciclado

| IDENTIFICACION | ENSAYO | RESULTADO |
|--|---------|-----------|
| Fibras de caucho reciclado de neumáticos en desuso | Humedad | 0.346% |

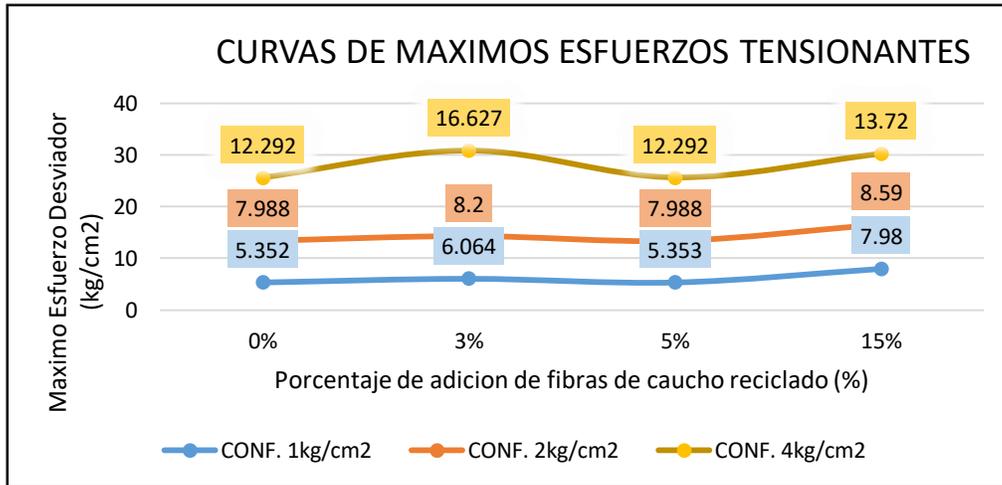
Fuente: Elaboración propia

3.4 Compresión triaxial estática no consolidada - no drenada (UU)

3.4.1 Comportamiento suelo arcilloso - fibras de caucho reciclado

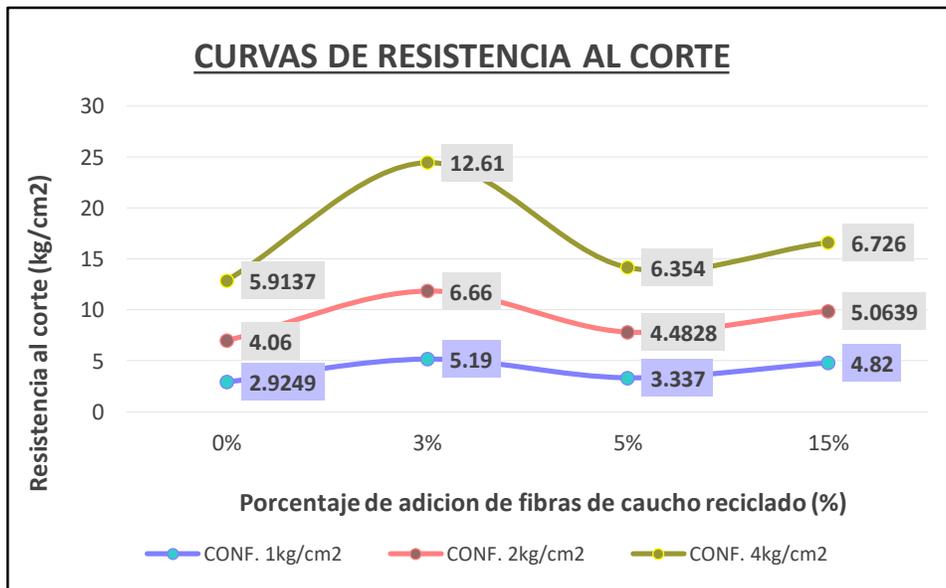
En el Anexo 3 se adjuntan los resultados de los ensayos y gráficos de esfuerzo – deformación obtenidas de las briquetas de suelo arcilloso con y sin fibras de caucho reciclado, con confinamientos de 4kg/cm², 2 kg/cm² y 1kg/cm², también se adjuntan los datos de máximo esfuerzo desviador, fuerza de compresión, cohesión y ángulo de fricción de cada briketa ensayada con y sin fibras de caucho.

Ilustración 23. Curvas de máximas tensiones aplicadas al suelo arcilloso bajo los porcentajes de fibras de caucho reciclado al 3%,5% y 15% en diferentes confinamientos



Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

Ilustración 24. Curvas de resistencia al corte del suelo arcilloso bajo los porcentajes de fibras de caucho reciclado al 3%,5% y 15% en diferentes confinamientos

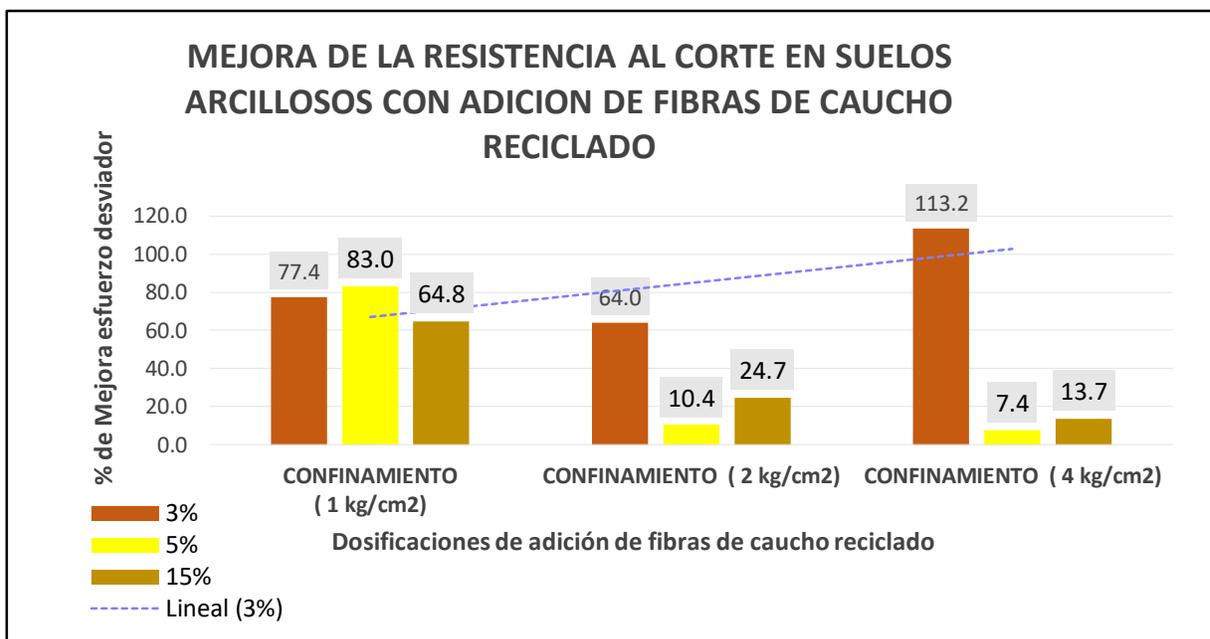


Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En el Ilustración N°23 se observa la curva del máximo esfuerzo desviador de falla del suelo en función a las fibras de caucho reciclado adicionado a confinamientos de 4 kg/cm², 2 kg/cm² y 1 kg/cm². Se observa el máximo esfuerzo desviador de falla del suelo arcilloso aumenta exponencialmente hasta alcanzar el pico más alto al 3% de adición de fibras de caucho reciclado, a partir del 5 % los esfuerzos de falla comienzan a bajar, pero constante a los valores del suelo arcilloso natural.

Ilustración 25. Mejora del esfuerzo desviador en suelos arcillosos expansivos con adición de fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

Con lo interpretado anteriormente se puede decir como resultado que las fibras de caucho reciclado, al estar distribuidas aleatoriamente de forma homogénea, abarcan diferentes planos de falla, aumentando la resistencia al corte.

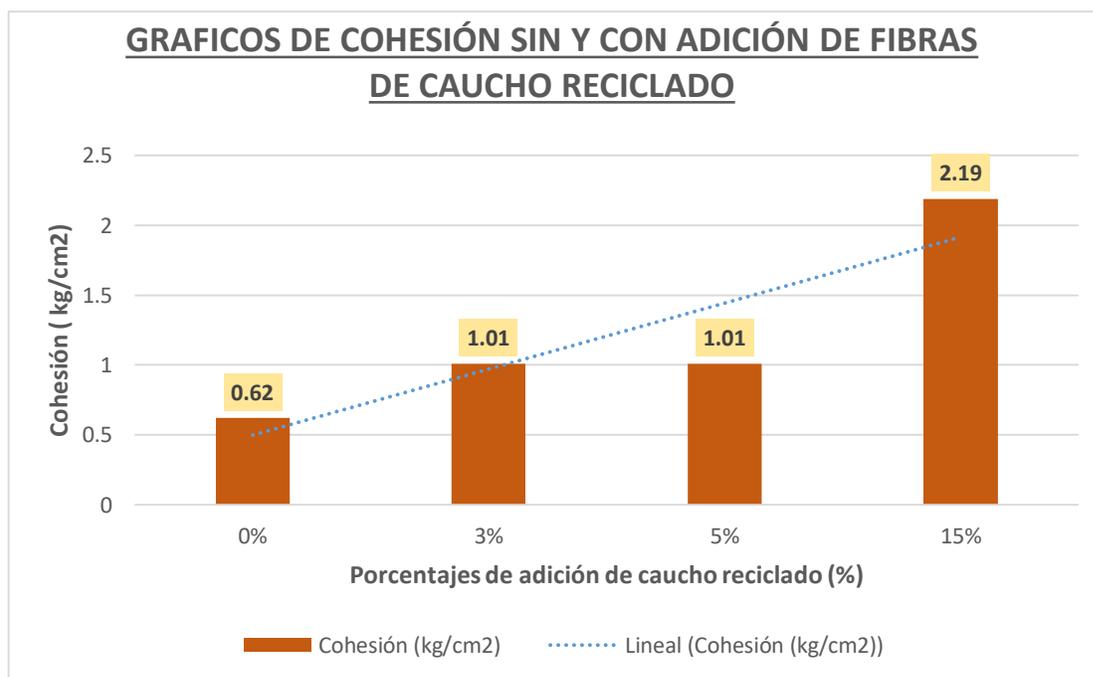
INTERPRETACION:

En el Ilustración N°25 se observa que con todas las adiciones de fibras de caucho reciclado se logra mejorar la resistencia al corte del suelo arcilloso expansivo, alcanzado mejoras hasta del 113.2 %, siendo el 3% de adición el que mayor desempeño global ha presentado. Los valores más bajos presentados se dan en las briquetas de adición del 15% esto se debe principalmente a la pérdida de fricción por el alto contenido de fibras en el área conformada que dificultan la adherencia y compactación de las partículas.

3.4.2 Parámetros de Resistencia (Criterio Morh – Coulomb)

En el Anexo 3 se adjuntan los gráficos del círculo de Morh obtenidos de los ensayos de corte 2triaxial no consolidado no drenado (UU), con sus respectivos parámetros de cohesión (C) y ángulo de fricción interna (ϕ) del suelo arcilloso con y sin fibras de caucho reciclado.

Ilustración 26. Gráfico de parámetros de cohesión sin y con adición de fibras de caucho reciclado



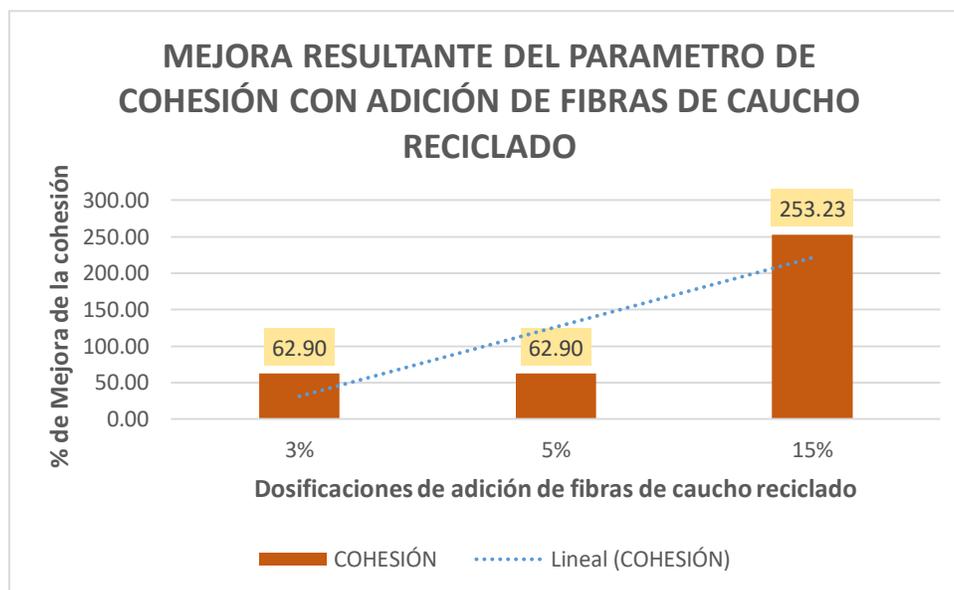
Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En el Ilustración N°26 se aprecia el comportamiento de la cohesión en función a la adición en porcentaje de fibras de caucho reciclado.

La cohesión presenta un incremento gradual hasta con un 15% de adición de fibras de caucho reciclado, alcanzando un valor máximo de 2.19 kg/cm² la cual es el pico mayor de la investigación, registrándose el valor más bajo en el suelo natural, resultando con una cohesión mínima del 0.62 kg/cm².

Ilustración 27. Porcentaje de mejora de la cohesión con adición de fibras de caucho reciclado

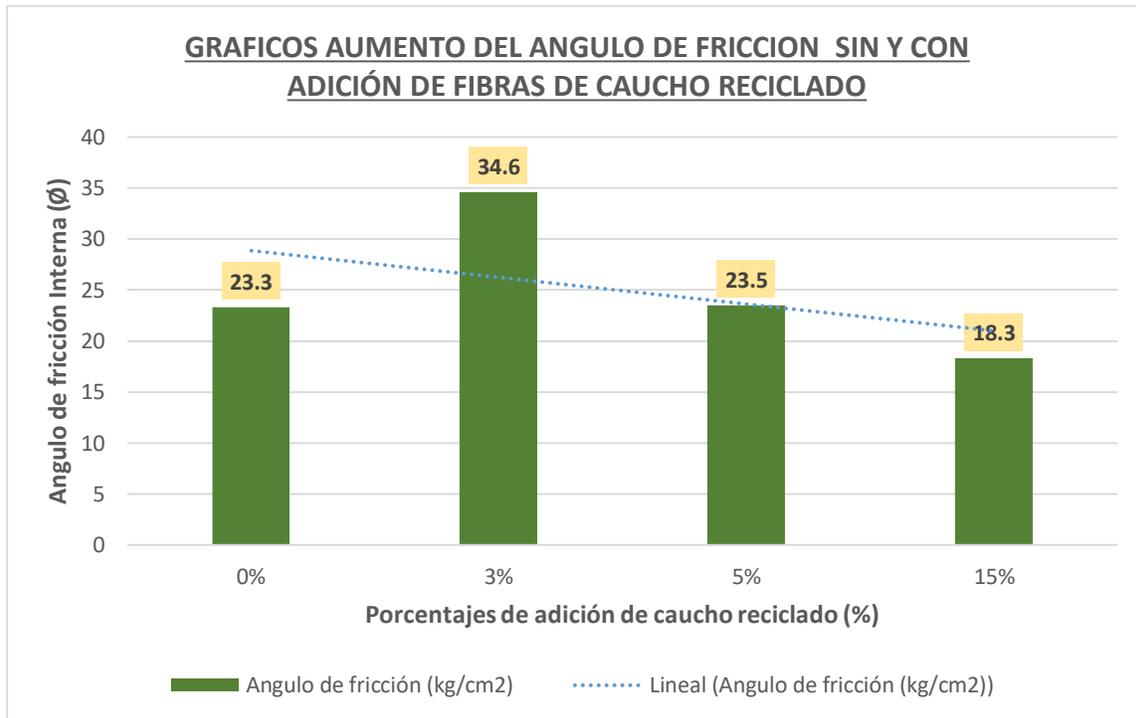


Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En cuanto al porcentaje de mejora de la cohesión en el Grafico N°11, se puede observar que con 15% de adición de fibras de caucho reciclado la cohesión alcanza una mejora máxima de casi el 253.23 % en comparación con el suelo arcilloso en estado natural, mientras que con porcentajes de 3% y 5 solo se alcanza una mejora del 62.90 %.

Ilustración 28. Gráfico de parámetros de ángulo de fricción interna sin y con adición de fibras de caucho reciclado



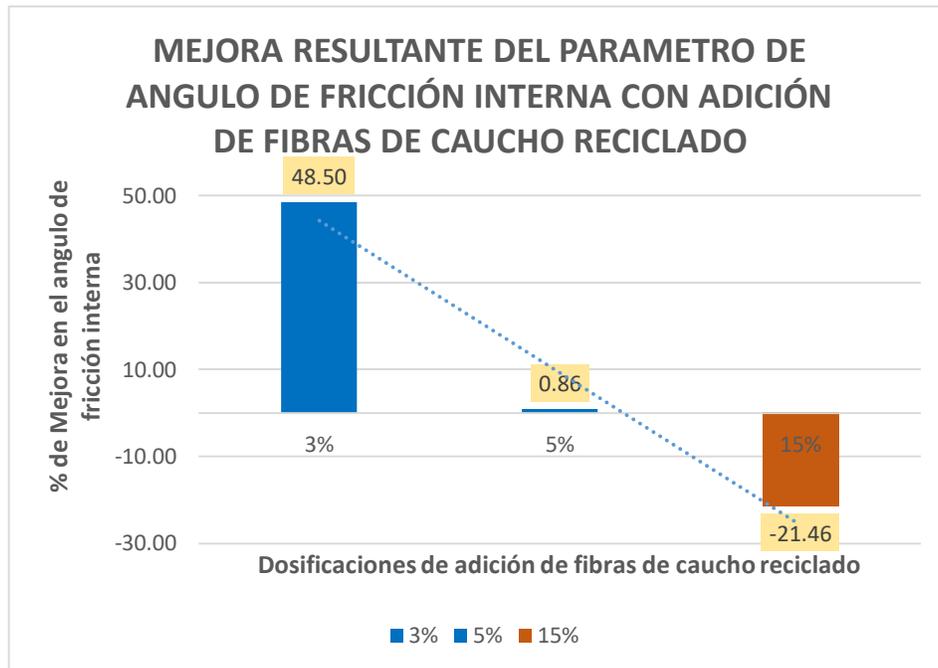
Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En el Ilustración N°28 se aprecia el comportamiento del ángulo de fricción en función a la adición en porcentaje de fibras de caucho reciclado.

El ángulo de fricción presenta un incremento gradual hasta con un 5% de adición de fibras de caucho reciclado, alcanzando un valor máximo de 34.6 (Ø), a partir de este pico el ángulo de fricción sufre un brusco descenso, registrando su valor mínimo 18.3(Ø) con el 15% de adición de fibras de caucho reciclado.

Ilustración 29. Porcentaje de mejora del ángulo de fricción interna con adición de fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia, con los resultados obtenidos en el laboratorio de coordinación de estudios especiales del MTC.

INTERPRETACION:

En cuanto a las mejoras obtenidas del Ilustración N°29, el ángulo de fricción alcanza una mejora máxima del 48.50% en comparación de suelo natural con un 3% de adición de fibras de caucho, cabe decir también que se obtuvo con el 15% de adición de fibras de caucho el registro negativo más bajo, disminuyendo el ángulo de fricción un 21.46% en comparación con el suelo arcilloso natural.

IV. DISCUSION

La investigación tuvo como objetivo general obtener un mejoramiento en el comportamiento de los suelos arcillosos a través de la adicción de fibras de caucho reciclado y su influencia a la resistencia al corte no drenado, coincidiendo en ciertos aspectos con los antecedentes.

4.1 Análisis de Caracterización de la muestra de Suelo

Según los resultados de esta investigación se determinó que el suelo predominante en la zona es un A-6 (suelo arcilloso) según AASHTO Y CL (suelo arcilloso de mediana plasticidad) según SUSCS, con una humedad optima del 12.2%, 90.4% pasante malla N°200, Densidad máxima seca del 1.175 g/cm³ y peso específico del 2.693 kg/cm², en comparación con la investigación de Carbonel (2018) el cual obtuvo los siguientes resultados de caracterización del suelo, suelo predominante en la zona A-7-6 (Suelo Arcilloso) según AASHTO Y CH (suelo arcilloso de alta plasticidad) según SUSCS, con humedad optima del 21.8%, 90.83% pasante de la malla N°200, Densidad máxima seca igual a 1.641 g/cm³ y peso específico del 2.72. En comparación con Carbonel(2018) los datos tienen cierta similitud, pero ciertas variaciones debido a la muestra extraída, Carbonel (2018) posee un 9.17% de contenido de arena en comparación con lo analizado en esta investigación, también presenta cambios en la densidad seca la cual es mayor y menos propensa a sufrir filtraciones y colapso de su estructura por expansión, lo más importante es destacar en comparación con es el contenido de coloides dentro del suelo, partículas que es la principal responsable del surgimiento del fenómeno expansivo dentro de los suelos arcillosos debido a su baja consolidación.

Cusquisibán (2014), obtuvo los siguientes resultados de caracterización de muestra de suelo, suelo predominante en la zona un A-7-5 (Suelo Arcilloso) según AASHTO Y OH (Arcillas orgánicas de mediana plasticidad) según SUSCS, con humedad optima del 14.20%, 72.68% pasante de la malla N°200, Densidad máxima seca igual a 1.779g/cm³, en discusión la muestra de suelo de Cusquisibán(2014), presenta un cantidad menor de partículas finas ya que solo el 72.68% pasa la malla N°200, por otra parte su muestra tiene un contenido de humedad y densidad máxima seca superior a nuestra muestra de suelo arcilloso.

En ambos antecedentes la humedad y la densidad seca han mostrado valores superiores en comparación con la nuestra, de esto se puede decir que en ambas muestras de arcillas presentan

una mayor consolidación de partículas generando buena adherencia y baja permeabilidad, ya que logran una distribución eficiente durante la compactación.

Con las fibras de caucho reciclado se busca mantener o mucho mejor aumentar la densidad seca ya que si este parámetro se reduce aumentaría la retracción del suelo debido al riesgo de filtraciones que el material puede sufrir.

Objetivo Específico 1:

Determinar el esfuerzo de falla aplicado en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU).

Tabla 23. Tabla resumen de los incrementos en los esfuerzos desviadores de falla con adición de fibras de PET

| | Confinamiento 1 kg/cm ² | Confinamiento 2 kg/cm ² | Confinamiento 4 kg/cm ² |
|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 0% | 2.499 | 2.702 | 3.187 |
| 0.30% | 3.529 | 3.915 | 4.675 |
| MEJORA(%) | 41.20% | 44.98% | 46.71% |
| 0% | 2.499 | 2.702 | 3.187 |
| 0.60% | 3.562 | 4.01 | 4.701 |
| MEJORA(%) | 42.54% | 48.33% | 47.48% |
| 0% | 2.499 | 2.702 | 3.187 |
| 0.90% | 3.22 | 3.652 | 4.680 |
| MEJORA(%) | 28.88% | 35.13% | 46.85% |
| 0% | 2.499 | 2.702 | 3.187 |
| 1.20% | 3.233 | 3.722 | 4.763 |
| MEJORA(%) | 29.37% | 37.71% | 49.45% |
| 0% | 2.499 | 2.702 | 3.187 |
| 1.50% | 3.195 | 3.704 | 4.695 |
| MEJORA(%) | 27.84% | 37.05% | 47.32% |

Fuente: Elaboración Propia

Carbonel (2018), obtuvo incrementos favorables de los esfuerzos desviadores, alcanzando un porcentaje de mejora hasta del 49.45% con la adición de fibras de PET al 1.2%, con las demás dosificaciones también se logró buenos incrementos con respecto al patrón de suelo natural.

Tabla 24. Tabla resumen de los incrementos en los esfuerzos desviadores de falla con adición de fibras de caucho reciclado

| | Confinamiento 1 kg/cm2 | Confinamiento 2 kg/cm2 | Confinamiento 4 kg/cm2 |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 0% | 5.352 | 7.988 | 12.292 |
| 3.00% | 6.064 | 8.2 | 16.627 |
| | 0.712 | 0.212 | 4.335 |
| MEJORA(%) | 13.3% | 2.7% | 35.3% |
| 0% | 5.352 | 7.988 | 12.292 |
| 5.00% | 5.353 | 7.988 | 12.292 |
| | 0.001 | 0 | 0 |
| MEJORA(%) | 0.0% | 0.0% | 0.0% |
| 0% | 5.352 | 7.988 | 12.292 |
| 15.00% | 7.98 | 8.59 | 13.72 |
| | 2.628 | 0.602 | 1.428 |
| MEJORA(%) | 49.1% | 7.5% | 11.6% |

Fuente: Elaboración Propia

Con la adición de fibras de caucho reciclado también se logró incrementos considerables en los tres confinamientos realizados, logrando alcanzar un aumento del 49.1% con la adición del 15% de fibras, caso contrario con lo logrado con la adición del 5%, que no logro ningún incremento considerable manteniendo un valor igual al patrón natural de suelo ensayado.

Objetivo Especifico 2 y 3:

Determinar el ángulo de fricción interna y la cohesión del suelo arcilloso en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU).

Tabla 25. Tabla resumen de resultados de mejoras en la cohesión y ángulo de fricción con adición de fibras de caucho reciclado y PET

| | COHESIÓN | ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA |
|-----------|----------|----------------------------------|
| 0% | 0.62 | 23.3 |
| 3.00% | 1.01 | 34.6 |
| | 0.39 | 11.3 |
| MEJORA(%) | 62.9 | 48.5 |
| 0% | 0.62 | 23.3 |
| 5.00% | 1.05 | 22.903 |
| | 0.43 | -0.397 |
| MEJORA(%) | 69.4 | -1.7 |
| 0% | 0.62 | 23.3 |
| 15.00% | 2.19 | 18.3 |
| | 1.57 | -5 |
| MEJORA(%) | 253.2 | -21.5 |

Fuente: Elaboración Propia

| | COHESIÓN | ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA |
|-----------|----------|----------------------------------|
| 0% | 0.86 | 15.587 |
| 0.30% | 1.04 | 22.656 |
| MEJORA(%) | 21.53% | 45.35% |
| 0% | 0.86 | 15.587 |
| 0.60% | 1.05 | 22.903 |
| MEJORA(%) | 22.28% | 46.93% |
| 0% | 0.86 | 15.587 |
| 0.90% | 0.85 | 25.975 |
| MEJORA(%) | -0.74% | 66.64% |
| 0% | 0.86 | 15.587 |
| 1.20% | 0.83 | 26.924 |
| MEJORA(%) | -3.06% | 72.73% |
| 0% | 0.86 | 15.587 |
| 1.50% | 0.829 | 22.77 |
| MEJORA(%) | -3.83% | 71.75% |

Fuente: Carbonel (2018)

Carbonel (2018) concluye que su muestra inicialmente hasta el porcentaje del 0.6% experimenta un aumento debido a la longitud- diámetro de sus fibras de PET, la cual genera adherencia y homogenización de la mezcla, pero sin embargo a mayores proporciones la interacción de suelo – fibra se debilitan generando una disminución. Esto se debe a que las fibras obstaculizan la adherencia y compactación del suelo generando disgregación de la misma.

En nuestro caso al mayor aumento de fibras de caucho reciclado el valor de la cohesión aumenta gracias a la correcta homogenización de la muestra logrando una buena interacción suelo – fibras alcanzando una mejora hasta más del 200% con adicción de fibras al 15%.

Otro motivo puede ser el tamaño de fibras, espesor y la fuerza de compactación utilizada a la hora de la consolidación de la briqueta de suelo – fibra, estos factores también son influyentes cuando se habla de adherencia.

Carbonel (2018) concluye que existe un aumento progresivo del ángulo de fricción interna conforme a la adición de fibras de PET reciclado, obtenido un aumento hasta del 72.73% con adicción de fibras de PET reciclado al 1.2%, ya que al estar bien distribuidas abarcan más planos de falla del suelo, maximizando la resistencia al deslizamiento del suelo frente a esfuerzos normales aplicados sobre este.

En nuestro caso las muestras de suelo – fibras de caucho reciclado llego a un aumento del 48.5% de mejora con adicción de fibras al 3% siendo este el pico más alto y posteriormente disminuyendo su valor a mayor aumento de fibras, este descenso se debe a la superación de la capacidad de adherencia suelo – fibras, la cual empieza a formar puntos de aglomeración, aumentando los vacíos en la muestra generando la disminución del ángulo de fricción interna.

Ya que se llega a un punto en que la adicción de fibras afecta directamente a la ductilidad de la muestra.

Objetivo General:

Obtener un mejoramiento en los parámetros mecánicos de los suelos arcillosos a través de la adición de fibras de caucho reciclado y su influencia a la resistencia al corte no drenado.

Tabla 26. Tabla resumen de mejoras obtenidas de la resistencia al corte

| | CONFINAMIENTO (1 kg/cm2) | CONFINAMIENTO (2 kg/cm2) | CONFINAMIENTO (4 kg/cm2) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0% | 2.9249 | 4.06 | 5.9137 |
| 3% | 5.19 | 6.66 | 12.61 |
| | 2.2651 | 2.6 | 6.6963 |
| MEJORA(%) | 77.4% | 64.0% | 113.2% |
| 0% | 2.9249 | 4.06 | 5.9137 |
| 5% | 5.353 | 4.4828 | 6.354 |
| | 2.4281 | 0.4228 | 0.4403 |
| MEJORA(%) | 83.0% | 10.4% | 7.4% |
| 0% | 2.9249 | 4.06 | 5.9137 |
| 15% | 4.82 | 5.0639 | 6.726 |
| | 1.8951 | 1.0039 | 0.8123 |
| MEJORA(%) | 64.8% | 24.7% | 13.7% |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Tabla resumen de mejoras obtenidas de la resistencia al corte

| | CONFINAMIENTO (1 kg/cm2) | CONFINAMIENTO (2 kg/cm2) | CONFINAMIENTO (4 kg/cm2) |
|-----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0% | 2.49 | 2.70 | 3.18 |
| 0.3% | 3.52 | 3.91 | 4.67 |
| MEJORA(%) | 41.20% | 44.98% | 46.71% |
| 0% | 2.49 | 2.70 | 3.18 |
| 0.6% | 3.55 | 4.01 | 4.40 |
| MEJORA(%) | 42.54% | 48.33% | 47.48% |
| 0% | 2.49 | 2.70 | 3.18 |
| 0.9% | 3.21 | 3.65 | 4.67 |
| MEJORA(%) | 28.88% | 35.13% | 46.85% |
| 0% | 2.49 | 2.70 | 3.18 |
| 1.2% | 3.23 | 3.72 | 4.76 |
| MEJORA(%) | 29.37% | 37.71% | 49.45% |
| 0% | 2.49 | 2.70 | 3.18 |
| 1.5% | 3.19 | 3.70 | 4.69 |
| MEJORA(%) | 27.84% | 37.05% | 47.32% |

Fuente: Carbonel (2018)

Carbonel (2018) obtuvo valores que estuvieron por encima del patrón de suelo natural establecido encontrando su pico más alto con adición de fibras de PET al 0.9% y de ahí disminuyendo, pero a ritmo constante por encima del natural, con esto concluye que las fibras de PET aumentan progresivamente la resistencia del suelo natural, ya que las fibras entrelazan el suelo contribuyendo a evitar el desplazamiento de este. En consecuencia, las fibras de PET

mejoran la resistencia a la tensión del suelo impidiendo efectivamente la deformación y desarrollando grietas debido a la tensión.

En nuestro caso, la resistencia del suelo obtuvo también valores por encima del patrón natural, alcanzando el pico más alto con adición de fibras de caucho reciclado al 3% y de ahí disminuyendo, pero constantemente por encima de la resistencia del suelo natural.

En consecuencia, las fibras de caucho reciclado contribuyen también en el aumento progresivo de la resistencia al corte impidiendo la deformación actuando como barrera ante los esfuerzos tensionantes.

V. CONCLUSIONES

Conclusión 1:

En la investigación se logró caracterizar el suelo en estado natural extraído de la localidad de Morrope, La Libertad la cual presenta características expansivas y de retracción, el cual fue clasificado según AASHTO como un A-6 y CL según clasificación SUCS, obteniendo que el material que predomina es la arcilla, con un pasante de la malla N° 200 del 90.4%, del cual el 38% son Limos, el 17% arcillas y el 35% coloides, se obtuvo también una humedad óptima del 12.2% y una densidad seca del 1.175 g/cm³, concluyendo que las partículas del suelos, bajo una óptima cantidad de agua puede lograr una eficiente distribución durante el proceso de consolidación , generando así mayor adherencia y a su vez una baja permeabilidad.

Conclusión 2:

La cohesión del suelo arcilloso expansivo presenta un aumento progresivo hasta llegar al pico máximo con la adición del 15% de fibras de caucho reciclado, alcanzado una mejora del 253.23% con respecto al patrón de suelo arcilloso expansivo en estado natural.

Conclusión 3:

El ángulo de fricción interna del suelo arcilloso expansivo presenta un aumento ascendente llegando a su pico más alto con la adición de 3% de fibras de caucho reciclado, alcanzando una mejora del 48.5% con respecto al suelo arcilloso expansivo en estado natural. A partir de esta adicción, el ángulo de fricción disminuye a valores menores del patrón del suelo natural llegando a un pico bajo con el 15% de adicción teniendo una pérdida significativa del 21.46% con respecto al suelo natural.

Conclusión 4:

El esfuerzo desviador de falla del suelo arcilloso expansivo presenta un aumento progresivo hasta llegar al pico máximo con la adición del 15% de fibras de caucho reciclado, alcanzado una mejora del 49.1% al confinamiento del 4kg/cm² con respecto al patrón de suelo arcilloso expansivo en estado natural.

Conclusión 5:

La resistencia al corte del suelo presenta un aumento proporcional a la adición de fibras de caucho reciclado. Los valores de mejora van desde el 7.4% hasta el 113.2%, siendo el porcentaje de adición del 3% el que mejor desempeño ha tenido durante los tres confinamientos del ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU)

Conclusión 6:

A partir del análisis de la investigación, las fibras de caucho reciclado tienen cierto potencial para mejorar los parámetros de los suelos expansivos, y es presentado como alternativa ecológica para el reusó a partir del reciclaje, para su utilización en formas de fibras como iniciativa para la disminución del impacto ambiental causado por la quema de neumáticos en desuso.

VI. RECOMENDACIONES

Para futuras investigación se recomienda analizar otros parámetros de los suelos arcillosos expansivos como el hinchamiento libre, absorción optima bajo diferentes humedades, porosidad y permeabilidad.

Se recomienda tener presente la fuerza de consolidación de las briquetas de suelo – fibras, pues es determinante para la correcta compactación del material el cual influye demasiado en la cohesión y tensión que pueda sufrir a la hora de ser ensayadas en el equipo triaxial.

Se recomienda estudiar el reforzamiento del suelo mediante una variación de texturas, forma, grosor y longitud de las fibras de caucho, ya que esta puede repercutir en una variación en el porcentaje de adición en el suelo.

Se recomienda con el uso de derivados del caucho, para poder seguir incentivando al reciclado de este material, y así poder implementar políticas de gestión de residuos y poder llevar a cabo más adelante futuras estabilizaciones con este material.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- ANGELONE, Silvia; GARIBAY, María; CASAUX, Marina. Permeabilidad de suelos. Tesis para Maestría. Universidad Nacional de Rosario-Argentina, 2006. 39pp.
- 2- BADILLO, Juárez. Mecánica de suelos. Universidad Nacional Autónoma de México-Limusa,2005.644 pp.

ISBN: 9681800699

- 3- BERNAL, Cesar. Metodología de la investigación. 3a. ed. Pearson. Madrid - España,2010, 85 pp.
- 4- BONIFAZ, Jonathan. Estudios y diseños para la construcción de la plataforma de exploración petrolera Tarapoa South West – a provincia de sucumbíos. Universidad Central de Ecuador – Ecuador, 2015. 490 pp.
- 5- BORJA, Manuel. Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo, 2012, 38 pp.
- 6- BRAJA, Das. Elastic settlement of shallow foundation due to rise of water table in granular soil –a strain influence factor approach. (Magister en Ingeniería). Sociedad Mexicana de ingeniería geotécnica, A.C – Mexico,2016.29pp.
- 7- BRAJA, Das. Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Séptima Edición – Mexico,2012.819 pp.
- 8- BRAJA, Das. Fundamentos de la ingeniería geotécnica. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, 4ta. ed. – Mexico,2015.658 pp.
- 9- CARBONEL, Gil. Influencia de la adición de fibras PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de los suelos arcillosos aplicado a estabilidad de taludes. Universidad Nacional de Trujillo – Perú, 2018. 202 pp.
- 10- CONDEVILLA, Mauro. Arcillas Expansivas del Gran Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires [en línea]. Agosto 2015 [fecha de consulta: 25 de mayo de 2019]

Disponible en:

<http://materias.fi.uba.ar/6408/Codevilla%20%20Expansividad%20de%20arcillas%20Bs%20As.pdf>

- 11- DELGADO, Antonio. Influencia de la trayectoria de las tensiones en el comportamiento de las arcillas expansivas y de los suelos colapsables en el laboratorio y en el terreno. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla – España, 2004.560 pp.
- 12- GUADALUPE, Diego. Determinación de la resistencia al corte in situ de los suelos en zonas de peligro sísmico. Universidad de las Fuerzas Armadas – Sangolquí, 2015.161 pp.
- 13- LOPEZ, Teresa. Resistencia al esfuerzo cortante en arcillas expansivas de Jurica, Querétaro. Tesis para Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro – Mexico, 2005.116 pp.
- 14- Manual de carreteras del Paraguay Normas para materiales y ensayo de materiales. Tomo 6, Vol.1, 2015.533 pp.
- 15- MONTIEL, Adolfo. Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción. Universidad Austral de Chile- Chile, 2008.102 pp.
- 16- MORENO, Joseph. Medición de presión de poro y cambio volumétrico en ensayos triaxiales consolidados no drenados y consolidados drenados, por medio del aparato de bishop. Universidad de San Carlos de Guatemala – Guatemala, 2018.117pp.
- 17- ORTEGA, Enrique. Comportamiento de materiales granulares gruesos. Efectos de Succión. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Catalunya- Chile,2008.464 pp.
- 18- RODRIGUEZ, Ever. Mejoramiento de los suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimentos. Universidad Nacional de Cajamarca – Perú, 2014. 136 pp.
- 19- SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. 6a. ed. México- Ciudad de Mexico,2014- 634 pp.

ISBN: 9781456223960

- 20- SANCHEZ, Lucero. Determinación del factor de correlación entre la prueba de campo DLP y el ensayo de corte directo drenado para suelos granulares en la carretera Moyopampa 2018. Universidad Cesar Vallejo – Perú, 2018. 70 pp.
- 21- TORRES, Martha. Evaluación de grupos funcionales (ciclo del C, N, P) y actividad de la fosfatasa ácida en dos suelos agrícolas del departamento de Boyacá. Universidad Nacional de Colombia [en línea]. Julio 2006 vol. n°24. [fecha de consulta: 25 de mayo de 2019]
Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316239015>

ISSN: 01209965

22- VILLALAZ, Crespo. Mecánica de suelos y cimentaciones. 5ta. Ed., Mexico-Monterrey, 2004. 650 pp.

ISBN: 9681864891

23- ASTM D4220 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

24- ASTM D421 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

25- ASTM D2217 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

26- ASTM D2216 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

27- ASTM D2850 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

28- ASTM D854 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

29- ASTM G51 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

30- ASTM D4546 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

31- ASTM D427 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

32- ASTM D4318 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

33- ASTM D4318 Organización Mundial del Comercio (OMC), Estados Unidos, 16 de enero de 2019.

34- NTP 300.007:1979 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.

35- NTP 300.060:1989 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.

- 36- NTP 300.062:1987 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 37- NTP 300.020:1982 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 38- NTP 300.021:1982 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 39- NTP 300.023:1979 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 40- NTP 300.024:1979 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 41- NTP 300.029:1980 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 42- NTP 300.032:1980 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 43- NTP 300.033:1980 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 44- NTP 300.031:1980 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 45- NTP 300.030:1982 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.
- 46- NTP 300.038:1981 Instituto Nacional de Calidad (INACAL), Lima, Perú, 13 de julio de 2018.

ANEXOS

ANEXO N° 1
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO:

“INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Diseño de Infraestructura Vial

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los suelos arcillosos expansivos en si presenta una baja capacidad a la resistencia al corte y esto es una problemática que agobia al sector constructivo. Al ser suelos inestables en sus propiedades, es necesario buscar formas de estabilización ya sea física, química o mecánica.

La problemática ha llevado a realizar investigaciones para resolver el problema, una de estas soluciones es su mejoramiento mediante el reemplazo total del suelo o gran parte de él, lo cual genera una gran inversión económica.

Es ahí donde entra a tallar el uso fibras de caucho, que busca resolver la problemática de los suelos arcillosos expansivos, mediante su uso como mejora a la resistencia al corte de estos suelos, influyendo en el ángulo de fricción el suelo, en su cohesión y consolidación con el fin de incrementar su capacidad de resistencia al corte y volverlos suelos actos para cimentar.

De esta manera su busca contribuir como una alternativa económica de mejora del suelo arcilloso mediante la reutilización del caucho mediante fibras mitigando así el impacto ambiental que genera el parque automotor de Lima al desechar estas llantas en desuso.

Tabla 28. Matriz de consistencia

| Título: “Influencia de las fibras de caucho reciclado en la resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos | | | | | |
|--|--|--|---|-----------------------------|---|
| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | | METODO |
| ¿Cómo influye la adición de fibras de caucho sobre la resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos expansivos? | Obtener un mejoramiento en los parámetros mecánicos de los suelos arcillosos a través de la adición de fibras de caucho reciclado y su influencia a la resistencia al corte no drenado. | La resistencia al corte no drenado de los suelos arcillosos presenta un aumento con la adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5% y 15% del peso seco. | VARIABLE DEPENDIENTE: Resistencia al corte no drenado del suelo arcilloso | | Tipo: Aplicada Diseño: Experimental Enfoque: Cuantitativo Nivel: Exploratorio Población: Suelos Arcillosos Muestra: 12 briquetas |
| PROBLEMAS ESPECIFICOS | OBJETIVOS ESPECIFICOS | HIPOTESIS ESPECIFICAS | Dimensiones | Indicadores | |
| | | | Ensayo Triaxial no consolidado no drenado(UU) | Esfuerzo desviador de falla | |
| | | | | Angulo de fricción | |
| ¿Cómo la adicción de fibras de caucho reciclado influye en el esfuerzo de falla de los suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y al 15%? | Determinar el esfuerzo de falla aplicado en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU). | La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente en la capacidad del suelo de resistir mayores esfuerzos antes de la falla. | | Cohesión | |
| ¿Cómo la adicción de fibras de caucho reciclado influye en el ángulo de fricción interna de suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y 15%? | Determinar el ángulo de fricción interna del suelo arcilloso en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU). | La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente aumentando el ángulo de fricción de los suelos arcillosos expansivos | VARIABLE INDEPENDIENTE: Fibras de caucho reciclado | | |
| ¿Cómo la adicción de fibras de caucho reciclado influye en la cohesión de suelos arcillosos expansivos en porcentajes de 3%, 5% y 15%? | Determinar la cohesión del suelo arcilloso en estado natural y de las diferentes muestras con adición de fibras de caucho al 3%, 5% y 15%, realizando ensayos de corte triaxial estática (UU). | La adición de fibras de caucho reciclado al 3%, 5%, 15% del peso seco, influirá positivamente aumentando la cohesión de los suelos arcillosos expansivos. | Propiedades Mecánicas de las fibras de caucho reciclado | Peso Especifico | |
| | | | | Granulometría | |
| | | | | Humedad | |

Fuente : Elaboración Propia

ANEXO N° 2

PROTOCOLOS

| | | | |
|---|--|-----------------|----------------------------|
|  | FACULTAD DE INGENIERIA / ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL | | |
| | LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS | | |
| | GUIA DE OBSERVACION DE MUESTREO DEL SUELO EXTRAIDO | | |
| TESIS | INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS | | |
| INVESTIGADORES | Escalante Herrera, Víctor Alfredo | N° de ensayos | (-) |
| | Quintero Tinco, Max | N° de replicas | (-) |
| CODIGO | | Tipo de Muestra | Suelo Arcilloso Inalterado |

| | |
|--------------------------------|---------|
| DATOS DE LAS MUESTRAS | |
| CLAVE DE LA MUESTRA | |
| FECHA : | HORA: |
| CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS | |
| COLOR: | |
| OLOR: | |
| TEXTURA: | |
| COMPACTACION/CONSISTENCIA: | |
| HUMEDAD: | |
| | |
| COMENTARIO | CROQUIS |
| | |



FACULTAD DE INGENIERIA - ESCUELA ACADEMICA
 PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELO POR TAMIZADO

| | | | |
|--------------|---|------------------|-----|
| Tesis: | INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS APLICADO A CIMENTACIONES | | |
| Tesisistas : | Escalante Herrera, Victor Alfredo | N° de ensayos | (-) |
| | Quintero Tinco, Max | N° de muestras | (-) |
| Codigo | | Tipo de muestras | (-) |

| Tamices | | | Peso Malla(g) | Retenido | | Pasante de muestra(Total) | |
|---------|-------|-------|---------------|-------------|----------|----------------------------|------------|
| ASTM | (mm) | UNE | | Parcial (g) | Total(g) | Total (g) | Porcentaje |
| DESIG. | | | | | | | |
| 3" | 76.2 | | | | | | |
| 2" | 50.8 | 50 | | | | | |
| 1" | 25.4 | 25 | | | | | |
| 3/4" | 19.1 | 20 | | | | | |
| 1/2" | 12.7 | 12.5 | | | | | |
| 3/8" | 9.52 | 10 | | | | | |
| 1/4" | 6.35 | 6.3 | | | | | |
| N° 4 | 4.75 | 5 | | | | | |
| N°10 | 2 | 2 | | | | | |
| N°30 | 0.59 | 0.63 | | | | | |
| N°70 | 0.21 | 0.2 | | | | | |
| N° 200 | 0.074 | 0.08 | | | | | |
| | | FONDO | | | | | |



FACULTAD DE INGENIERIA - ESCUELA ACADEMICA
 PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

| | | | |
|--|---|------------------|-----------------|
| ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO | | | |
| Tesis: | INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS APLICADO A CIMENTACIONES | | |
| Tesisistas : | Escalante Herrera, Victor Alfredo | N° de ensayos | (-) |
| | Quintero Tinco, Max | N° de muestras | (-) |
| Codigo | | Tipo de muestras | Suelo Arcilloso |

| HUMEDAD NATURAL | | | |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| LATA | ENSAYO 1 | ENSAYO 2 | ENSAYO 3 |
| PESO DE LA LATA(g) | | | |
| PESO DEL SUELO HUMEDO + LATA (g) | | | |
| PESO DEL SUELO SECO + LATA(g) | | | |
| PESO DEL AGUA(g) | | | |
| PESO DEL SUELO SECO(g) | | | |
| % DE HUMEDAD | | | |
| PROMEDIO % DE HUMEDAD | | | |



FACULTAD DE INGENIERIA - ESCUELA ACADEMICA
 PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

| | | | |
|--------------|---|------------------|-----------------|
| Tesis: | INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS APLICADO A CIMENTACIONES | | |
| Tesisistas : | Escalante Herrera, Victor Alfredo | N° de ensayos | (-) |
| | Quintero Tinco, Max | N° de muestras | (-) |
| Codigo | | Tipo de muestras | Suelo Arcilloso |

| LIMITE LIQUIDO | | | | LIMITE PLASTICO |
|----------------------|---------|---------|---------|-----------------|
| N° DE CAIDAS DE LATA | 25 - 35 | 20 - 30 | 15 - 25 | |
| Wlata -S. Humedo (g) | | | | |
| Wlata -S. Seco (g) | | | | |
| Wtara (g) | | | | |
| Wseco (g) | | | | |
| W(%) | | | | |

| | |
|-----|--|
| LL: | |
| LP: | |
| IP: | |

ANEXO N° 3
ENSAYOS DE
LABORATORIO



000001

LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA MUESTRA : Calicata
 DOMICILIO LEGAL : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" CANTIDAD : 10 kg
 REFERENCIA : REC N° 225-2 019-FE-02 PRESENTACIÓN : Bolsa plástica
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.11.14. FECHA ENSAYO : 2 019.11.15 al 18.

| MALLAS | | DENOMINACIÓN | Calicata; Prof.: 1.10 m | | | | | |
|----------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------|----------|-----|--|--|--|
| SERIE AMERICANA | ABERTURA (mm) | NÓRMAS ENSAYO | RET (%) | PASA (%) | | | | |
| 3" | 76.200 | MTC E-109 (2 016) | | | | | | |
| 2 1/2" | 63.500 | | | | | | | |
| 2" | 50.800 | | | | | | | |
| 1 1/2" | 38.100 | | | | | | | |
| 1" | 25.400 | | | | | | | |
| 3/4" | 19.050 | | | | | | | |
| 1/2" | 12.700 | | | | | | | |
| 3/8" | 9.525 | | | | | | | |
| 1/4" | 6.350 | | | | | | | |
| N° 4 | 4.760 | | | | | | | |
| N° 6 | 3.360 | | | | | | | |
| N° 8 | 2.380 | | | | | | | |
| N° 10 | 2.000 | | | | | | | |
| N° 16 | 1.190 | | | | | | | |
| N° 20 | 0.840 | | | | 100 | | | |
| N° 30 | 0.590 | | | 1 | 99 | | | |
| N° 40 | 0.426 | | | 1 | 98 | | | |
| N° 50 | 0.297 | | | 1 | 97 | | | |
| N° 80 | 0.177 | | | 3 | 94 | | | |
| N° 100 | 0.149 | | | 2 | 92 | | | |
| N° 200 | 0.074 | | 2 | 90 | | | | |
| - N° 200 | - | NTP 339.132 (2 014) | 90 | - | | | | |
| LÍMITE LÍQUIDO (Malla N° 40) | | MTC E-110 (2 016) | | 31 | | | | |
| LÍMITE PLÁSTICO (Malla N° 40) | | MTC E-111 (2 016) | | 20 | | | | |
| ÍNDICE PLÁSTICO (%) | | MTC E-110 (2 016) | | 11 | | | | |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) | | NTP 339.134 (2 014) | | CL | | | | |
| CLASIFICACIÓN DE SUELOS (AASHTO) | | NTP 339.135 (2 014) | | A-6 (9) | | | | |

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Lima, 19 de Noviembre de 2 019



USA (16)
 oesoj/pobedic
 O.S. N° 279



Av. Tropic Amanu N° 150 - Rimac

Tel: (051) 481.3202

email: mac_dee@mtc.gob.pe

LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|---|------------------------|----------------------|
| SOLICITANTE | : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA | MUESTRA | : Calicata |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima | IDENTIFICACIÓN | : El que se indica |
| PROYECTO | : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" | CANTIDAD | : 10 kg |
| REFERENCIA | : REC N° 225-2 019-FE-02 | PRESENTACIÓN | : Bolsa plástica |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2 019.11.14. | FECHA DE ENSAYO | : 2 019.11.18 al 19. |

MTC E-108 (2 016) SUELOS. CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (*)

| IDENTIFICACIÓN | RESULTADO (%) |
|-------------------------|---------------|
| Calicata; Prof.: 1.10 m | 12,2 |

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D-2216 (2010) "Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 19 de Noviembre de 2 019



USA (2/6)
oesc/brdic
O.S. N° 279



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|---|------------------------|----------------------|
| SOLICITANTE | : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA | MUESTRA | : Calicata |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima | IDENTIFICACIÓN | : El que se indica |
| PROYECTO | : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" | CANTIDAD | : 10 kg |
| REFERENCIA | : REC N° 225-2 019-FE-02 | PRESENTACIÓN | : Bolsa plástica |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2 019.11.14. | FECHA DE ENSAYO | : 2 019.11.18 al 19. |

MTC E-109 (2 016) ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (POR TAMIZADO Y SEDIMENTACIÓN)

| ANÁLISIS POR SEDIMENTACIÓN | | |
|----------------------------|----------------------------------|----------------|
| IDENTIFICACIÓN | PARTICULAS MENORES | PORCENTAJE (%) |
| Calicata; Prof.: 1.10 m | Tamaño limo (de 75 µm a 5 µm) | 38,0 |
| | Tamaño arcilla (menor de 5 µm) | 17,0 |
| | Tamaño coloides (menor de 1µm) | 35,0 |

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D-422 (2007). "SOILS. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 19 de Noviembre de 2 019



USA (3/6)
oesc/bedlc/jpc
O.S. N° 279



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|---|------------------------|----------------------|
| SOLICITANTE | : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA | MUESTRA | : Calicata |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima | IDENTIFICACIÓN | : El que se indica |
| PROYECTO | : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" | CANTIDAD | : 10 kg |
| REFERENCIA | : REC N° 225-2 019-FE-02 | PRESENTACIÓN | : Bolsa plástica |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2 019.11.14. | FECHA DE ENSAYO | : 2 019.11.14 al 15. |

MTC E-113 (2 016) SUELOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO ESPECÍFICO RELATIVO DE LAS PARTÍCULAS SÓLIDAS DE UN SUELO (*)

| IDENTIFICACIÓN | RESULTADO |
|-------------------------|-----------|
| Calicata; Prof.: 1.10 m | 2,693 |

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D - 854 - (2014). "Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 2019-DECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 19 de Noviembre de 2 019



USA (4/6)
oesc/pmn/bedic
O.S. N° 279



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

000005

LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|---|------------------------|----------------------|
| SOLICITANTE | : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA | MUESTRA | : Calicata |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima | IDENTIFICACIÓN | : El que se indica |
| PROYECTO | : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" | CANTIDAD | : 10 kg |
| REFERENCIA | : REC N° 225-2 019-FE-02 | PRESENTACIÓN | : Bolsa plástica |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2 019.11.14. | FECHA DE ENSAYO | : 2 019.11.15 al 18. |

NTP 339.132 (2 014) SUELOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 200 (75 µm). MÉTODO A (*)

| IDENTIFICACIÓN | RESULTADO (%) |
|-------------------------|---------------|
| Calicata; Prof.: 1.10 m | 90,4 |

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D-1140 (2017) "Standard test method for amount of material in soils finer than the N° 200(75 um) sieve".
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 19 de Noviembre de 2 019



O.S. N° 279



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Telf.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe



000000

LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 8 7 - 2 019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|---|------------------------|--------------------|
| SOLICITANTE | : VÍCTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA | MUESTRA | : Calicata |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita - Lima | IDENTIFICACIÓN | : El que se indica |
| PROYECTO | : "Influencia de las fibras de Caucho Reciclado en la Resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos" | CANTIDAD | : 10 kg |
| REFERENCIA | : REC N° 225-2 019-FE-02 | PRESENTACIÓN | : Bolsa plástica |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2 019.11.14. | FECHA DE ENSAYO | : 2 019.11.14. |

NTP 339.138 (2 014) SUELOS. METODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE DENSIDAD Y PESO UNITARIO MÍNIMOS DE SUELOS Y CÁLCULO DE DENSIDAD RELATIVA (*)

| IDENTIFICACIÓN | ENSAYO | RESULTADO (Kg/m ³) |
|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Calicata; Prof.: 1.10 m | Peso unitario mínimo | 1 175 |

Observaciones:

- (*) Referencia ASTM D-4254 (2016): Standard Test Method for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante. Procedencia: Morrope.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.11.14.
- Fecha de muestreo 2019.10.25.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten signature]

BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 19 de Noviembre de 2 019





PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General de
Programas y Proyectos
de Transportes

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

Lima, 29 NOV. 2019

OFICIO N° 281 - 2 019-MTC /19.01.EE

Señor:
VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA
Calle Los Portales N° 299 - Santa Anita
Lima 43.-

Asunto : Informe de Ensayos de Laboratorio
Referencia : a) REC N° 232-2019-FE-02
b) O.S. N° 286-2019-MTC/19.01.EE
c) Boleta Electrónica B004-0001178

Me dirijo a ustedes en atención a los documentos de la referencia, a fin de remitir el Informe de Ensayo N°294-2019-MTC/19.01.EE (12 folios), con los resultados de los ensayos de laboratorio, específicamente solicitado y realizado a cuatro (04) muestras de arena fina, tomada, remitida e identificada por vuestra representada.

Atentamente,




ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
ESTUDIOS ESPECIALES



PERÚ

Ministerio de Transportes y Comunicaciones

000001

LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO MUESTRA : Suelo alterado
 DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima IDENTIFICACIÓN : Calicata
 PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al : Suelo natural
 : Corte no Drenado en Suelos Expansivos. PROFUNDIDAD : 1.10 m
 PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque CANTIDAD : 24.40 kg aprox.
 REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 PRESENTACIÓN : Saco de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019 FECHA DE ENSAYO : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Tipo de Muestra | Limo arcillosa | Gravedad Esp. (gr/cm³) | | | 2.693 | Temperatura Ambiente (°C) | 24.7 | | |
|--|--|------------------------|--------|--------|---------------------------|--------------------------------------|-------|-------|--------|
| DETALLES DEL ENSAYO | | | | | | | | | |
| Referencia del Espécimen | | A | B | C | Etapa | | A | B | C |
| Diametro Inicial | mm | 70 | 70 | 70 | Descripción | | | | |
| Altura Inicial | mm | 140 | 140 | 140 | | | | | |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m³ | 13.65 | 13.52 | 13.74 | Profundidad de la Muestra | m | 1.10 | | |
| | g/cm³ | 1.392 | 1.379 | 1.401 | Orientación de la Muestra | | | | |
| 11.5 | % | 11.5 | 11.5 | 11.5 | Preparación | Remoldeado en el laboratorio del MTC | | | |
| Relación de Vacíos | | 0.94 | 0.95 | 0.89 | Grado de saturación | % | 33.09 | 34.13 | 34.18 |
| CONDICIONES DE CORTE | | | | | | | | | |
| Proporción de Tensión Triaxial | % / min | 1.000 | 1.000 | 1.000 | Presión de Celda | kg/cm² | 1.000 | 2.000 | 4.000 |
| CONDICIONES DE FALLA | | | | | | | | | |
| Criterio de Falla | Esfuerzo Máxima Desviador (Máximum Desviador Stress) | | | | | | | | |
| Fuerza de Comprensión | kg/cm² | 3.868 | 4.833 | 6.425 | Tensión Principal Mayor | kg/cm² | 5.352 | 7.988 | 12.292 |
| Deformación Axial | % | 5.54 | 6.55 | 8.05 | Tensión Principal Menor | kg/cm² | 1.000 | 2.000 | 4.000 |
| Corrección de Esfuerzo Deviator Aplicado | kg/cm² | 0.0047 | 0.0058 | 0.0071 | Contenido Humedad Final * | % | 11.5 | 11.5 | 11.5 |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m³ | 15.22 | 15.15 | 15.33 | | | | | |

* Calculado a partir de los Pesos Iniciales y Seco de la Muestra.

- NOTA:
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (4/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
 Lima, 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

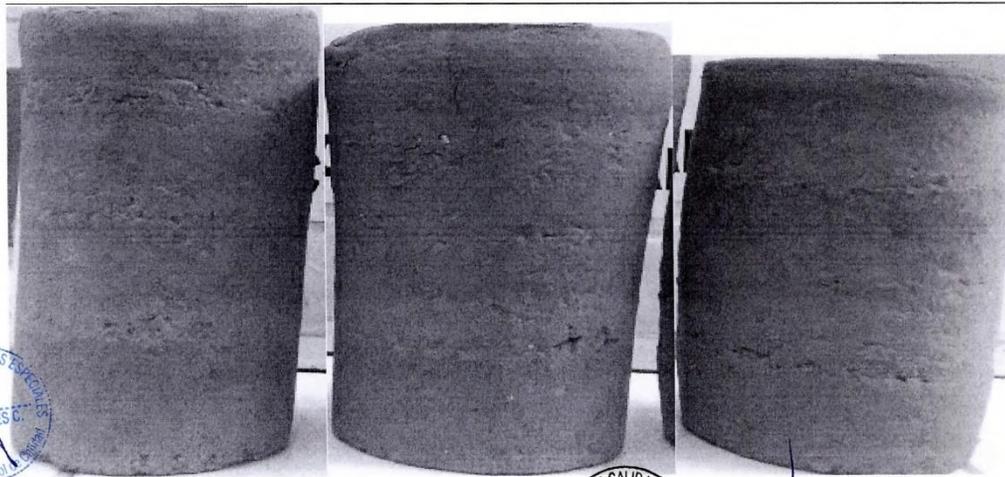
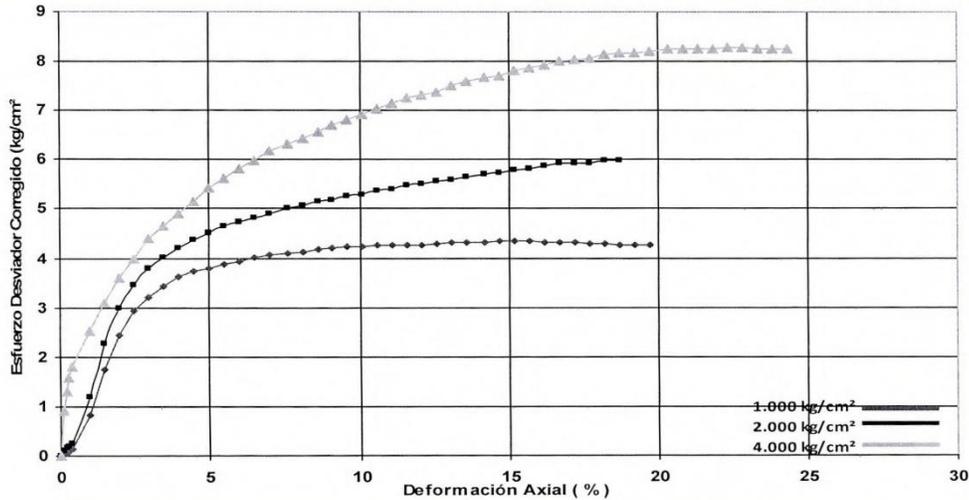
Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|---------------------------|--|------------------------|-----------------------|
| SOLICITANTE | : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO | MUESTRA | : Suelo alterado |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima | IDENTIFICACIÓN | : Calicata |
| PROYECTO | : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos. | PROFUNDIDAD | : 1.10 m |
| PROCEDENCIA | : Morrope - Lambayeque | CANTIDAD | : 24.40 kg aprox. |
| REFERENCIA | : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 | PRESENTACIÓN | : Saco de polietileno |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 21-nov-2019 | FECHA DE ENSAYO | : 22-nov al 28-nov-19 |

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)



UEE (2/12)
 cafc/vrc
 O.S. N°286



ING. CESARA FERREYROS CORQUEJA
 Lima, 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe

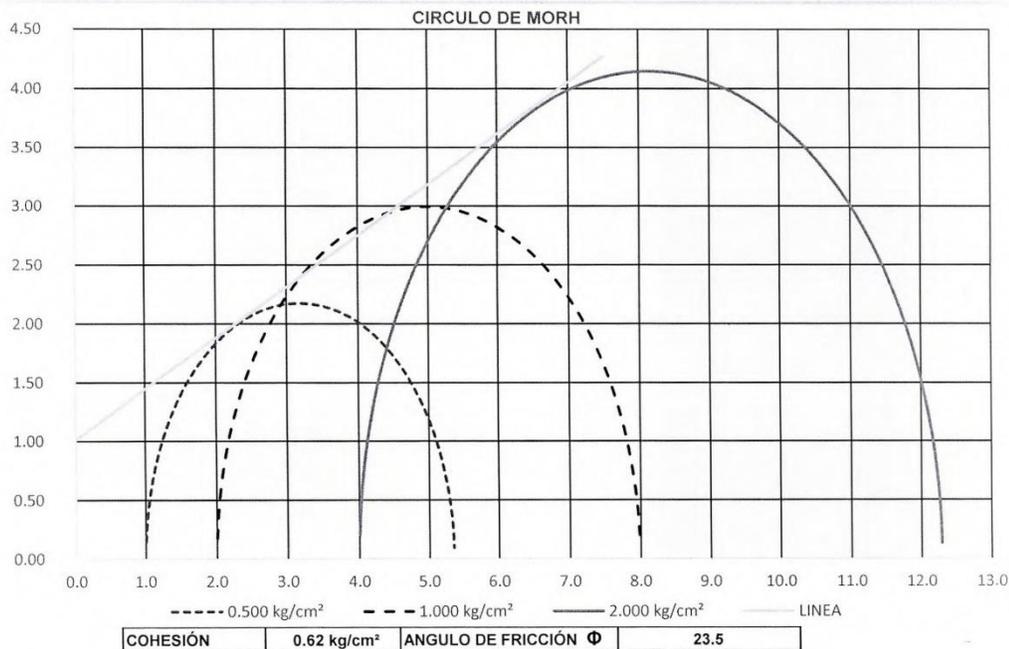


LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **PROFUNDIDAD** : 1.10 m
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque **CANTIDAD** : 24.40 kg aprox.
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Referencia | Esfuerzo Principal Menor | Esfuerzo Principal Mayor | Fuerza de Compresión | Tensión Acumulada | Falla |
|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Estapa 1 | 1.000 | 5.352 | 3.868 | 5.54 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 2 | 2.000 | 7.988 | 4.833 | 6.55 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 3 | 4.000 | 12.292 | 6.425 | 8.05 % | Max. Esfuerzo Desviador |



- NOTA:**
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)

UEE (3/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORQUEIRA
Lima, 29 de noviembre del 2019



000004



PERÚ Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

000004

LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al
 : Corte no Drenado en Suelos Expansivos.
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019

MUESTRA : Suelo alterado
IDENTIFICACIÓN : Calicata
 : 3 % Fibra de caucho
PROFUNDIDAD : 1.10 m
CANTIDAD : 24.40 kg aprox.
PRESENTACIÓN : Saco de polietileno
FECHA DE ENSAYO : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Tipo de Muestra | Limo arcillosa | Gravedad Esp. (gr/cm ³) | | | 2.693 | Temperatura Ambiente (°C) | | | 24.7 |
|--|--|-------------------------------------|-------|-------|---------------------------|--------------------------------------|-------|-------|--------|
| DETALLES DEL ENSAYO | | | | | | | | | |
| Referencia del Espécimen | | A | B | C | Etapa | | A | B | C |
| Diametro Inicial | mm | 70 | 70 | 70 | Descripción | | | | |
| Altura Inicial | mm | 140 | 140 | 140 | | | | | |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 14.74 | 14.82 | 14.93 | Profundida de la Muestra | m | 1.10 | | |
| | g/cm ³ | 1.503 | 1.511 | 1.522 | Orientación de la Muestra | | | | |
| Contenido Humedad Inicial | % | 12.5 | 12.5 | 12.5 | Preparación | Remoldeado en el laboratorio del MTC | | | |
| Relación de Vacíos | | 0.79 | 0.78 | 0.77 | Grado de saturación | % | 43.15 | 43.71 | 43.71 |
| CONDICIONES DE CORTE | | | | | | | | | |
| Proporción de Tensión Triaxial | % / min | 1.000 | 1.000 | 1.000 | Presión de Celda | kg/cm ² | 1.000 | 2.000 | 4.000 |
| CONDICIONES DE FALLA | | | | | | | | | |
| Criterio de Falla | Esfuerzo Máxima Desviador (Máximum Desviador Stress) | | | | | | | | |
| Fuerza de Compresión | kg/cm ² | 4.9 | 4.91 | 9.13 | Tensión Principal Mayor | kg/cm ² | 6.064 | 8.2 | 16.827 |
| Deformación Axial | % | 5.53 | 6.54 | 8.04 | Tensión Principal Menor | kg/cm ² | 1.000 | 2.000 | 4.000 |
| Corrección de Esfuerzo Deviator Aplicado | kg/cm ² | 0.029 | 0.058 | 0.078 | Contenido Humedad Final * | % | 12.5 | 12.5 | 12.5 |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 16.61 | 16.7 | 16.65 | | | | | |

* Calculado a partir de los Pesos Iniciales y Seco de la Muestra.

- NOTA:
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (1/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima, 29 de noviembre del 2019



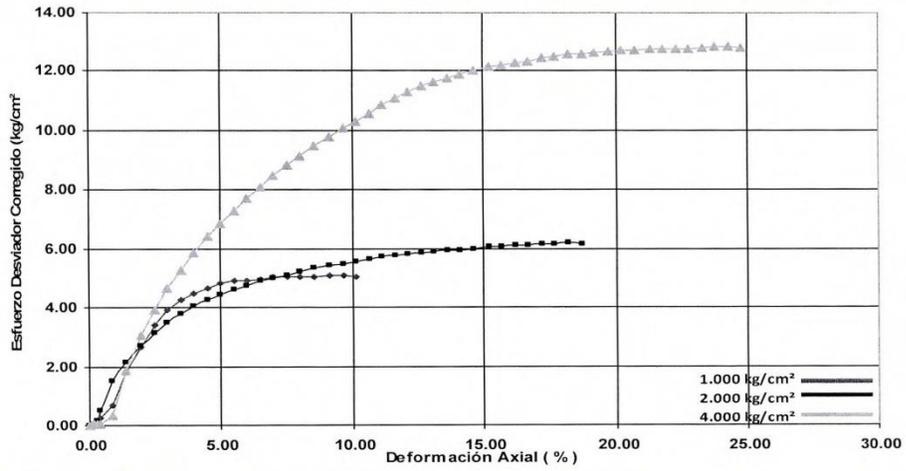
Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|--------------------------------|
| SOLICITANTE | : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO | MUESTRA | : Suelo alterado |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima | IDENTIFICACIÓN | : Calicata |
| PROYECTO | : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos. | PROFUNDIDAD | : 3 % Fibra de caucho : 1.10 m |
| PROCEDENCIA | : Morrope - Lambayeque | CANTIDAD | : 24.40 kg aprox. |
| REFERENCIA | : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 | PRESENTACIÓN | : Saco de polietileno |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 21-nov-2019 | FECHA DE ENSAYO | : 22-nov al 28-nov-19 |

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)



UEE (5/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESARA FERREYROS CORQUELA
Lima, 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rímac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe



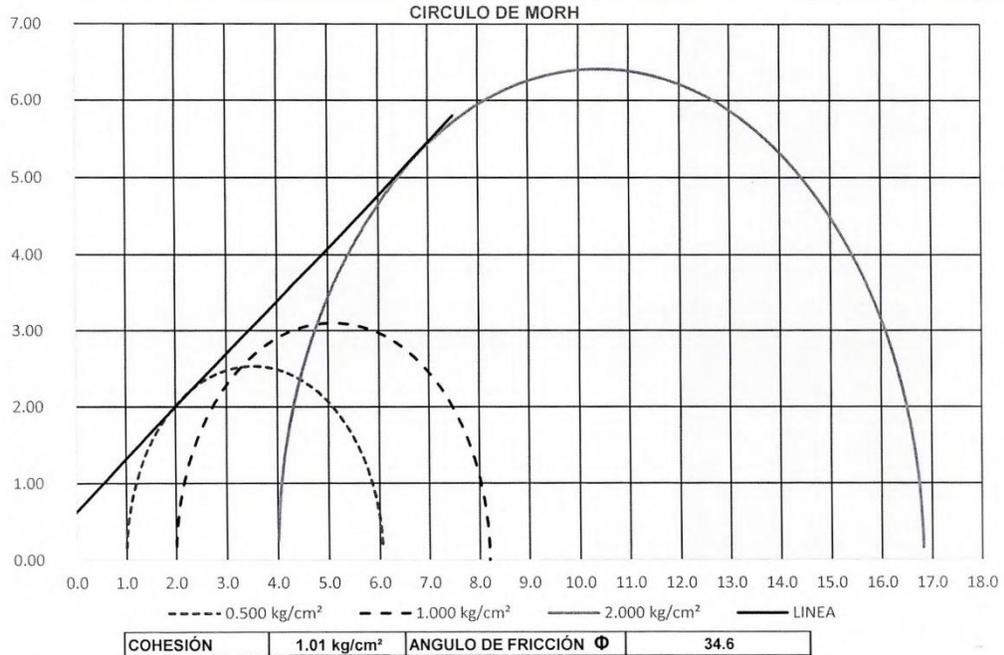
000006

LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al **PROFUNDIDAD** : 3 % Fibra de caucho
: Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **CANTIDAD** : 1.10 m
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHT
T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Referencia | ESTUERZO Principal Menor | ESTUERZO Principal Mayor | Fuerza de Compresión | Tensión Acumulada | Falla |
|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Estapa 1 | 1.000 | 6.064 | 23.5 | 5.53 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 2 | 2.000 | 8.2 | 4.91 | 6.54 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 3 | 4.000 | 16.827 | 9.13 | 8.04 % | Max. Esfuerzo Desviador |



- NOTA:
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los matariales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)

UEE (3/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima, 29 de noviembre del 2019





LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al **PROFUNDIDAD** : 5% Fibra de Caucho
: Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **CANTIDAD** : 1.10 m
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Tipo de Muestra | Limo arcillosa | Gravedad Esp. (gr/cm ³) | 2.693 | Temperatura Ambiente (°C) | 24.7 |
|---|--|-------------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|
| DETALLES DEL ENSAYO | | | | | |
| Referencia del Espécimen | | A | B | C | Etapa |
| Diametro Inicial | mm | 70 | 70 | 70 | Descripción |
| Altura Inicial | mm | 140 | 140 | 140 | |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 14.83 | 14.89 | 14.66 | Profundidad de la Muestra |
| | g/cm ³ | 1.512 | 1.518 | 1.495 | Orientación de la Muestra |
| Contenido Humedad Inicial | % | 11.5 | 12.1 | 11.5 | Preparación |
| Relación de Vacíos | | 0.94 | 0.95 | 0.89 | Grado de saturación |
| CONDICIONES DE CORTE | | | | | |
| Proporción de Tensión Triaxial | % / min | 1.000 | 1.000 | 1.000 | Presión de Celda |
| CONDICIONES DE FALLA | | | | | |
| Criterio de Falla | Esfuerzo Máxima Desviador (Máximum Desviador Stress) | | | | |
| Fuerza de Compresión | kg/cm ² | 4.34 | 5.98 | 8.21 | Tensión Principal Mayor |
| Deformación Axial | % | 19.790 | 18.740 | 19.740 | Tensión Principal Menor |
| Corrección de Esfuerzo Desviador Aplicado | kg/cm ² | 0.0047 | 0.0058 | 0.0071 | Contenido Humedad Final * |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 15.22 | 15.15 | 15.63 | |

* Calculado a partir de los Pesos Iniciales y Seco de la Muestra.

- NOTA:
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (7/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima, 29 de noviembre del 2019

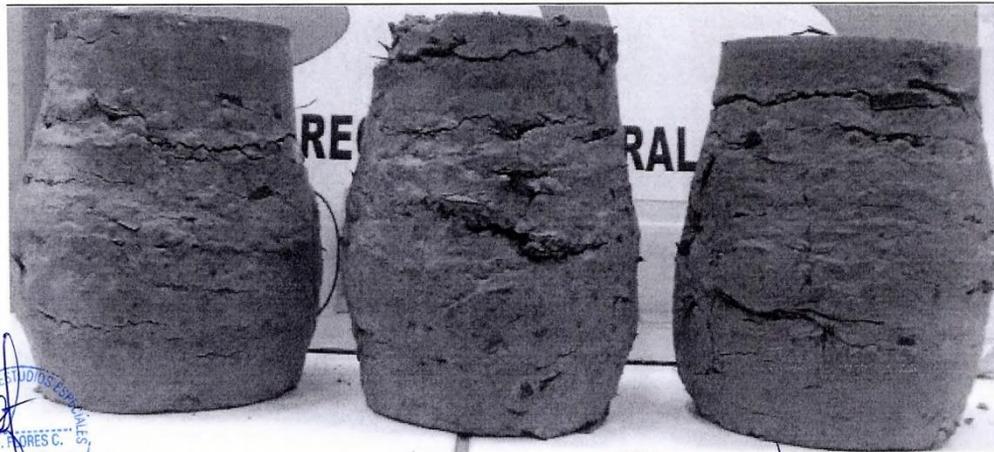
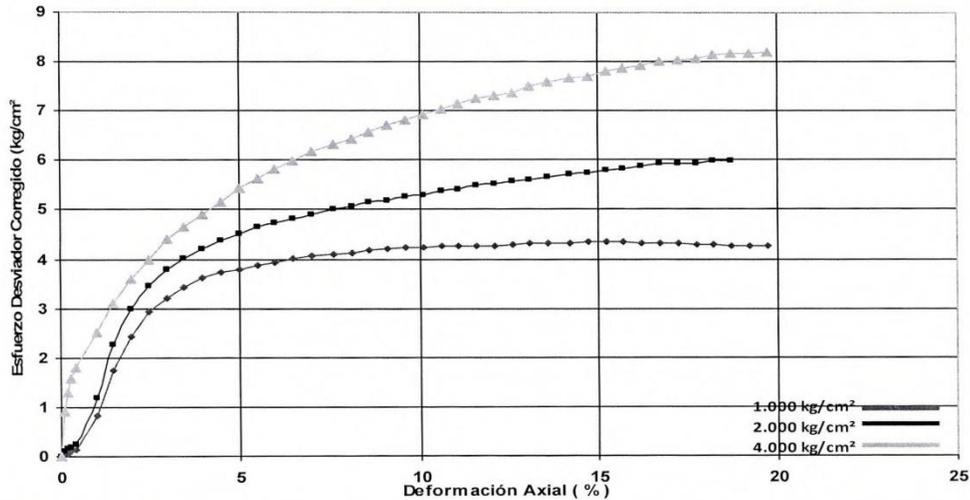




LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
 INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|-----------------------|
| SOLICITANTE | : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO | MUESTRA | : Suelo alterado |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima | IDENTIFICACIÓN | : Calicata |
| PROYECTO | : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos. | PROFUNDIDAD | : 1.10 m |
| PROCEDENCIA | : Morrope - Lambayeque | CANTIDAD | : 24.40 kg aprox. |
| REFERENCIA | : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 | PRESENTACIÓN | : Saco de polietileno |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 21-nov-2019 | FECHA DE ENSAYO | : 22-nov al 28-nov-19 |

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENA DO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)



UEE (8/12)
 cafc/vrc
 O.S. N°286



ING. CESARA FERREYROS CORQUELA
 Lima, 29 de noviembre del 2019





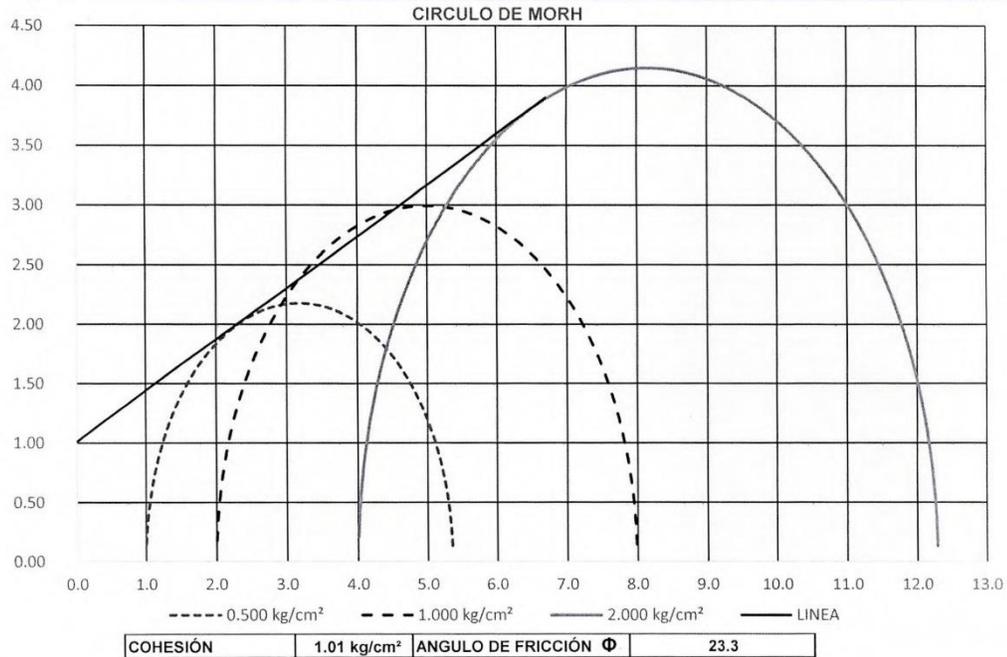
000009

LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al **PROFUNDIDAD** : 5% Fibra de Caucho
: Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **CANTIDAD** : 1.10 m
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **FECHA DE RECEPCIÓN** : 21-nov-2019 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Referencia | Esfuerzo Principal Menor | Esfuerzo Principal Mayor | Fuerza de Compresión | Tensión Acumulada | Falla |
|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Estapa 1 | 1.000 | 5.353 | 4.343 | 19.79 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 2 | 2.000 | 7.988 | 5.976 | 18.74 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 3 | 4.000 | 12.292 | 8.208 | 19.74 % | Max. Esfuerzo Desviador |



NOTA: - Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
- Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
- Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
Este documento no autoriza el empleo de los matariales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (9/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima, 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO



Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac Telf.: (051) 481-3707 email: mac_dee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al **PROFUNDIDAD** : 15 % fibra de caucho
PROCEDENCIA : Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **CANTIDAD** : 1.10 m
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Tipo de Muestra | Limo arcillosa | Gravedad Esp. (gr/cm ³) | 2.693 | Temperatura Ambiente (°C) | 24.7 | | | |
|---|--|-------------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------|-------|
| DETALLES DEL ENSAYO | | | | | | | | |
| Referencia del Espécimen | | A | B | C | Etapa | A | B | C |
| Diametro Inicial | mm | 70 | 70 | 70 | Descripción | | | |
| Altura Inicial | mm | 140 | 140 | 140 | | | | |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 14.93 | 14.9 | 14.9 | Profundida de la Muestra | m | 1.10 | |
| | g/cm ³ | 1.522 | 1.519 | 1.519 | Orientación de la Muestra | | | |
| Contenido Humedad Inicial | % | 12.5 | 12.5 | 12.5 | Preparación | Remoldeado en el laboratorio del MTC | | |
| Relación de Vacios | | 0.77 | 0.77 | 0.77 | Grado de saturación | % | 43.75 | 43.54 |
| CONDICIONES DE CORTE | | | | | | | | |
| Proporción de Tensión Triaxial | % / min | 1.000 | 1.000 | 1.000 | Presión de Celda | kg/cm ² | 1.000 | 2.000 |
| CONDICIONES DE FALLA | | | | | | | | |
| Criterio de Falla | Esfuerzo Máxima Desviador (Máximum Desviador Stress) | | | | | | | |
| Fuerza de Compresión | kg/cm ² | 6.97 | 6.96 | 9.67 | Tensión Principal Mayor | kg/cm ² | 7.98 | 8.69 |
| Deformación Axial | % | 20.76 | 25.67 | 25.85 | Tensión Principal Menor | kg/cm ² | 1.000 | 2.000 |
| Corrección de Esfuerzo Desviador Aplicado | kg/cm ² | 0.0057 | 0.0082 | 0.0078 | Contenido Humedad Final * | % | 12.5 | 12.5 |
| Peso Unitario Seco Inicial | kN/m ³ | 16.8 | 16.76 | 16.76 | | | | |

* Calculado a partir de los Pesos Iniciales y Seco de la Muestra.

- NOTA: - Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (10/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Telf.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

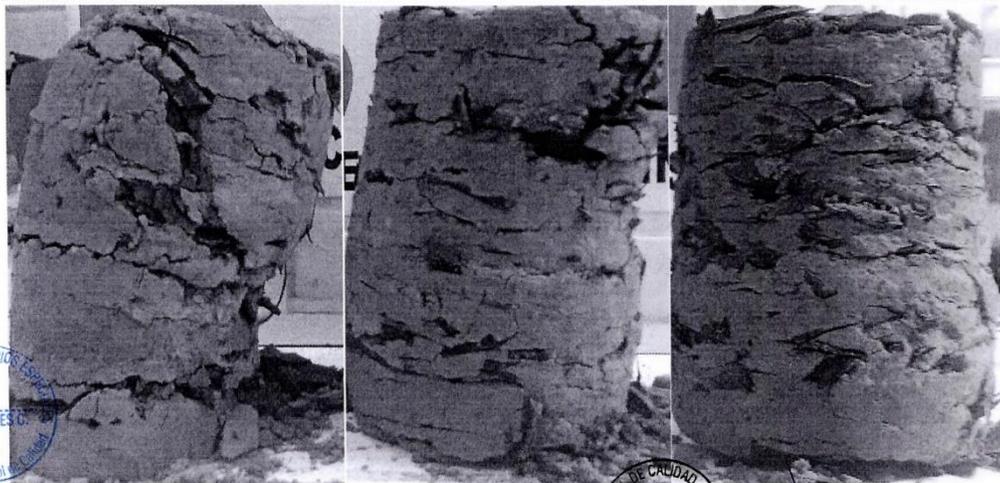
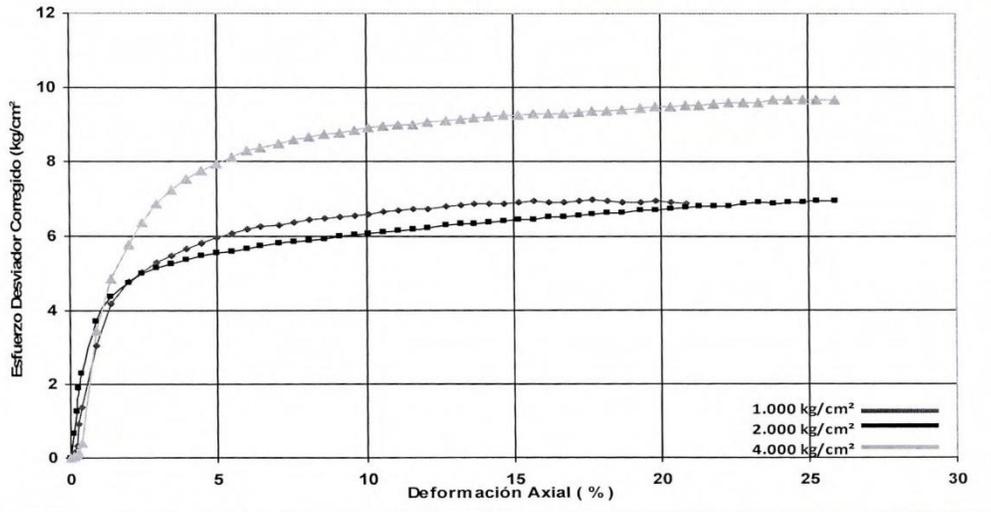


LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
 INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

000011

| | | | |
|--------------------|--|-----------------|-----------------------|
| SOLICITANTE | : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO | MUESTRA | : Suelo alterado |
| DOMICILIO LEGAL | : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima | IDENTIFICACIÓN | : Calicata |
| PROYECTO | : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al Corte no Drenado en Suelos Expansivos. | PROFUNDIDAD | : 1.10 m |
| PROCEDENCIA | : Morrope - Lambayeque | CANTIDAD | : 24.40 kg aprox. |
| REFERENCIA | : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 | PRESENTACIÓN | : Saco de polietileno |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 21-nov-2019 | FECHA DE ENSAYO | : 22-nov al 28-nov-19 |

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)



UEE (11/12)
 cafc/vrc
 O.S. N°286



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

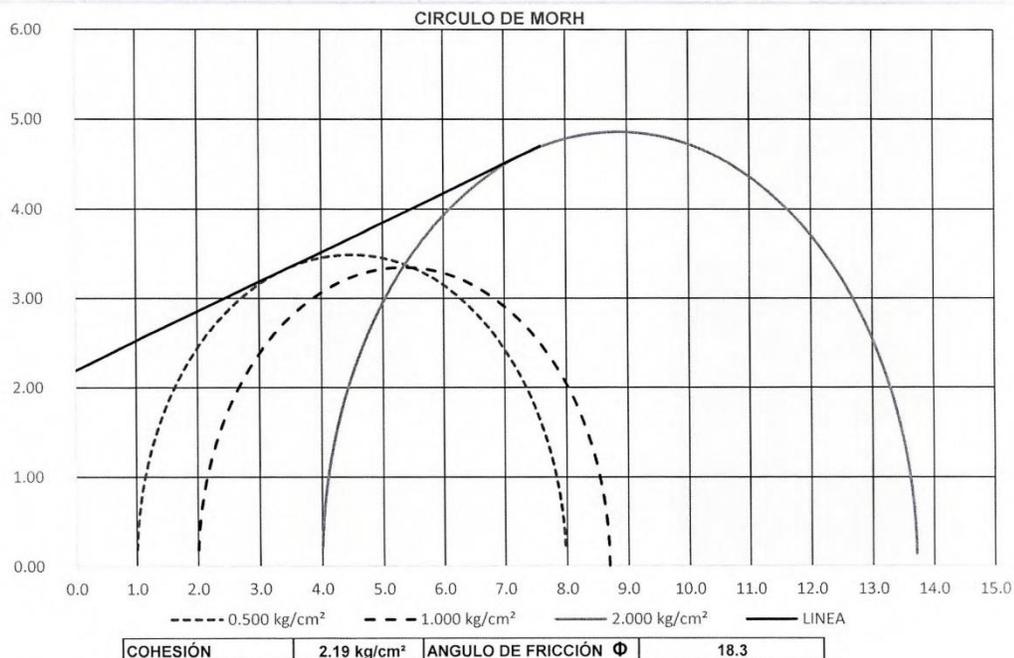


LABORATORIO DE LA CORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 294- 2019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : VICTOR ALFREDO ESCALANTE HERRERA-MAX QUINTERO TINCO **MUESTRA** : Suelo alterado
DOMICILIO LEGAL : Calle los Portales N° 299 - Santa Anita -Lima **IDENTIFICACIÓN** : Calicata
PROYECTO : Influencia de las Fibras de Caucho Reciclado en la resistencia al **PROFUNDIDAD** : 15 % fibra de caucho
: Corte no Drenado en Suelos Expansivos. **PROFUNDIDAD** : 1.10 m
PROCEDENCIA : Morrope - Lambayeque **CANTIDAD** : 24.40 kg aprox.
REFERENCIA : REC N° 232 - 2019 - FE - 02 **PRESENTACIÓN** : Saco de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 21-nov-2019 **FECHA DE ENSAYO** : 22-nov al 28-nov-19

UNCONSOLIDATE-UNDRAIEND TRIAXIAL COMPRESSION TEST ON COHESIVE SOILS (QUICK UNDRAINED) ASTM D 2850 - 93 AASHTO T - 296 - 94 (PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO DRENADO NO CONSOLIDADA EN SUELOS COHESIVOS)

| Referencia | Esfuerzo Principal Menor | Esfuerzo Principal Mayor | Fuerza de Compresión | Tensión Acumulada | Falla |
|------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|
| Estapa 1 | 1.000 | 7.979 | 6.97 | 20.76 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 2 | 2.000 | 8.69 | 6.96 | 25.67 % | Max. Esfuerzo Desviador |
| Estapa 3 | 4.000 | 13.717 | 9.67 | 25.85 % | Max. Esfuerzo Desviador |



- NOTA:
- Muestra alterada, muestreada e identificada por el solicitante.
 - Muestra ensayada como es recepcionada en el laboratorio de la Estudios Especiales.
 - Fecha de orden de servicio : 21-nov-2019
 - Los resultado de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de calidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolucion N° 0002 - 98/INDECOPI-CRT del 07.01.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario. 07.01.98)



UEE (12/12)
cafc/vrc
O.S. N°286



ING. CESAR A. FERREYROS CORCUERA
Lima, 29 de noviembre del 2019



LABORATORIO



CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Rimac

Tel.: (051) 481-3707

email: mac_dee@mtc.gob.pe

ANEXO N° 04
“NORMATIVA MTC”

NORMA MTC E 107 / ASTM D 6913
“ANALISIS GRANULOMETRICO
DE SUELO POR TAMIZADO”



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

Viceministerio
de Transportes

Dirección General
de Caminos y
Ferrocarriles



MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES



Edición Mayo de 2016





MTC E 107

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

1.0 OBJETO

1.1 Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (Nº 200).

2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (Nº 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

4.1.2 Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de 110 ± 5 °C.

4.2 MATERIALES

4.2.2 Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3" | 75,000 |
| 2" | 50,800 |
| 1 1/2" | 38,100 |
| 1" | 25,400 |
| 3/4" | 19,000 |
| 3/8" | 9,500 |
| Nº 4 | 4,760 |
| Nº 10 | 2,000 |
| Nº 20 | 0,840 |
| Nº 40 | 0,425 |
| Nº 60 | 0,260 |
| Nº 140 | 0,106 |
| Nº 200 | 0,075 |

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:

| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3" | 75,000 |
| 1 1/2" | 38,100 |
| 3/4" | 19,000 |
| 3/8" | 9,500 |
| Nº 4 | 4,760 |
| Nº 8 | 2,360 |
| Nº 16 | 1,100 |
| Nº 30 | 0,590 |
| Nº 50 | 0,297 |
| Nº 100 | 0,149 |
| Nº 200 | 0,075 |



4.2.3 Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.

4.2.4 Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

5.0 MUESTRA

5.1 Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.

5.2 Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayaran por separado.

5.3 El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:

5.3.1 Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla 1:

Tabla 1

| Diámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg) | Peso mínimo aproximado de la porción (g) |
|--|--|
| 9,5 (3/8") | 500 |
| 19,6 (3/4") | 1000 |
| 25,7 (1") | 2000 |
| 37,5 (1 1/2") | 3000 |
| 50,0 (2") | 4000 |
| 75,0 (3") | 5000 |

5.3.2 El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,760 mm (Nº 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.

5.4 En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral **4.1.1**.

5.4.1 Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (Nº 4).

6.1.1 Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:



| TAMICES | ABERTURA (mm) |
|---------|---------------|
| 3" | 75,000 |
| 2" | 50,800 |
| 1 1/2" | 38,100 |
| 1" | 25,400 |
| 3/4" | 19,000 |
| 3/8" | 9,500 |
| Nº 4 | 4,760 |

O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

- 6.1.2 En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apesadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunirlos con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

- 6.1.3 Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

6.2 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

- 6.2.1 El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.
- 6.2.2 Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- 6.2.3 Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- 6.2.4 Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.
- 6.2.5 Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- 6.2.6 La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).
- 6.2.7 Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200).
- 6.2.8 Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- 6.2.9 Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- 6.2.10 Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- 6.2.11 Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (Nº 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.



6.2.12 Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

6.2.13 Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones [6.1.2](#) y [6.1.3](#).

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

7.1.1 Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº4):

7.1.1.1 Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (Nº 4).

7.1.1.2 Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8”), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (Nº4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8”) y que queda retenida en el de 4,760 mm (Nº4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.

7.1.1.3 Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.

7.1.2 Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (Nº 4):

7.1.2.1 Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (Nº 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.2 Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

7.1.2.3 Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

7.1.2.4 Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire
W₁ = Peso de suelo secado en el horno

7.2 INFORME

7.2.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación.



Las pequeñas diferencias resultantes en el empare de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimentación, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

- 7.2.2 Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.
- a) Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.
 - b) Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
 - c) Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
 - d) La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
 - e) Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz.
 - f) Errores en las pesadas y en los cálculos.

**NORMA MTC E 108 “ENSAYO DE
HUMEDAD NATURAL DEL
SUELO”**

MTC E 108

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.
- 2.2 Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerado como el peso del agua.

Nota 1. (*) El secado en horno siguiendo en método (a 110 °C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelos contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de 60 °C o en un desecador a temperatura ambiente.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 2216: Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.

4.0 EQUIPOS y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Horno de secado.- Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 °C.
- 4.1.2 Balanzas.- De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones:
De 0,01 g para muestras de menos de 200 g
De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Recipientes.- Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.
- Nota 2.** Los recipientes y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar pérdida de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la pesada final. Se usa un recipiente para cada determinación.
- 4.2.2 Desecador (opcional).- Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución (Ver [Sección 6.3.5](#) del presente ensayo).

Nota 3. El sulfato de calcio anhidro se vende bajo el nombre comercial Drier hite.

- 4.2.3 Utensilios para manipulación de recipientes.- Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- 4.2.4 Otros utensilios.- Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.
- 5.2 La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 ESPECIMEN DEL ENSAYO

- 6.1.1 Para los contenidos de humedad que se determinan en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.
- 6.1.2 La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

| Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%) | Tamaño de malla estándar | Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados | |
|---|--------------------------|---|--------|
| | | a ± 0,1% | a ± 1% |
| 2 mm o menos | 2,00 mm (Nº 10) | 20 g | 20 g * |
| 4,75 mm | 4,760 mm (Nº 4) | 100 g | 20 g * |
| 9,5 mm | 9,525 mm (3/8") | 500 g | 50 g |
| 19,0 mm | 19,050 mm (3/4") | 2,5 kg | 250 g |
| 37,5 mm | 38,1 mm (1 1/2") | 10 kg | 1 kg |
| 75,0 mm | 76,200 mm (3") | 50 kg | 5 kg |

Nota.- * Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

- 6.1.3 El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 6.1.2 requiere discreción aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.
- 6.1.4 Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.
- 6.1.5 Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.
- ### 6.2 SELECCION DEL ESPECIMEN DE ENSAYO
- 6.2.1 Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

- 6.2.2 Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):
- Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.
 - Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho ó alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
 - Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
- 6.2.3 En muestras intactas tales como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.
- Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm., o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.
 - Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 6.2.3.c. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

Nota 4. El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestre la sección completa. Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

6.3 PROCEDIMIENTO

- 6.3.1 Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- 6.3.2 Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la [sección 6.2](#) de este ensayo.
- 6.3.3 Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 4.1.2 de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Nota 5. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota 6. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

- 6.3.4 Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

Nota 7. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente. En los casos en los que hay duda sobre lo adecuado de un método de secado, deberá continuarse con el secado hasta que el cambio de peso después de dos períodos sucesivos (mayores de 1 hora) de secado sea insignificante (menos del 0,1 %). Los especímenes de arena pueden ser secados a peso constante en un período de 4 horas, cuando se use un horno de tiro forzado.

Nota 8. Desde que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, deberán retirarse los especímenes secos antes de colocar especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes secados previamente permanecieran en el horno por un período de tiempo adicional de 16 horas.

- 6.3.5 Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 6.3.3 de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Nota 9. Colocar las muestras en un desecador es más aceptable en lugar de usar las tapas herméticas ya que reduce considerablemente la absorción de la humedad de la atmósfera durante el enfriamiento especialmente en los contenedores sin tapa.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1. CALCULOS

- 7.1.1 Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

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

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%)
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos
- M_w = es el peso del agua, en gramos
- M_s = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

7.3 INFORME

- 7.3.1 El informe deberá incluir lo siguiente:

- a) La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.
- b) El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1 % ó al 0,1 %, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada. Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.
- c) Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en 6.1.2 de este ensayo.
- d) Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (estratificado, etc.).
- e) Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a 110 ± 5 °C.
- f) Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Repetibilidad: El coeficiente de variación de un operador simple se encontró en 2,7 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente por el mismo operador con el mismo equipo, no deberían ser considerados con sospecha si difieren en menos del 7,8 % de su media.
- 8.2 Reproducibilidad: El coeficiente de variación multilaboratorio se encontró en 5,0 %. Por consiguiente, los resultados de dos ensayos conducidos por diferentes operadores usando equipos diferentes no deberán ser considerados con sospecha a menos que difieran en más del 14,0 % de su media.

**NORMA MTC E 109 “ANALISIS
GRANULOMETRICO POR MEDIO
DEL HIDROMETRO”**

MTC E 109

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MEDIO DEL HIDRÓMETRO

1.0 OBJETO

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El hidrómetro se usa para determinar el porcentaje de partículas de suelos dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis con hidrómetro se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz de 2,00 mm (Nº 10).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo tiene por finalidad, determinar en laboratorio o en campo, el porcentaje de partículas más finas de un determinado suelo, que pase el tamiz de 74 μm (Nº 200).

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

4.0 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Tres (3) balanzas, de sensibilidades 0,01 g; 0,1 g y 1 g.
- 4.1.2 Tamices, de 2,0 mm (Nº 10) y de 74 μm (Nº 200).
- 4.1.3 Tamizador mecánico.
- 4.1.4 Aparato agitador, mecánico o neumático, con su vaso (figuras 1 y 2).
- 4.1.5 Hidrómetro. Graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión o los gramos por litro de suspensión. En el primer caso, la escala tiene valores de peso específico que van de 0,995 a 1,038 y estará calibrado para leer 1,00 en agua destilada a 20 °C. Este Hidrómetro se identifica como 151 H. En el otro caso la escala tiene valores de gramos de suelo por litro (g/L) que van de -5 a +60. Se identifica como 152 H y está calibrado para el supuesto que el agua destilada tiene gravedad específica de 1,00 a 20 °C y que el suelo en suspensión tiene un peso específico de 2,65. Las dimensiones de estos hidrómetros son las mismas; sólo varían las escalas (véase Figura 4).
- 4.1.6 Cilindro de vidrio, para sedimentación de unos 457 mm (18") de alto y 63,5 mm (2,5") de diámetro y marcado para un volumen de 1000 mL a 20 °C.
- 4.1.7 Termómetro de inmersión, con apreciación de 0,5 °C.
- 4.1.8 Cronómetro o reloj.
- 4.1.9 Estufa, capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta 110 \pm 5 °C.

4.2 MATERIALES

- 4.2.1 Plancha de calentamiento.

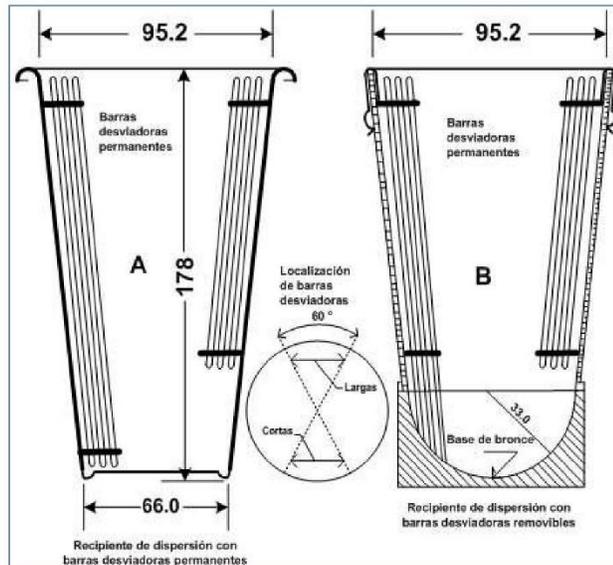


Figura 1: Detalle vaso del Aparato agitador

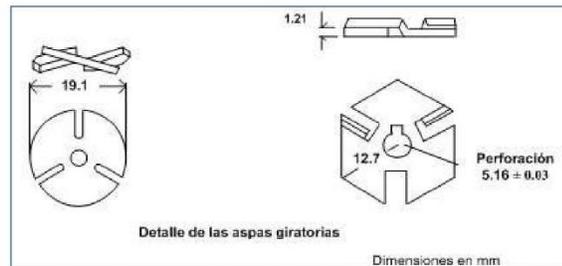


Figura 2: Detalle del Aparato agitador

4.2.2 Utensilios de uso general. Envases apropiados para el manejo y secado de las muestras y un par de guantes de asbesto o caucho.

4.3 REACTIVOS

4.3.1 Agente dispersante. Una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 g de hexametáfosfato de sodio por litro de solución.

Las soluciones de esta sal deberán ser preparadas frecuentemente (al menos una vez al mes) o ajustar su pH de 8 a 9 por medio de carbonato de sodio. Las botellas que contienen soluciones deberán tener la fecha de preparación marcada.

4.3.2 Agua. Toda agua utilizada deberá ser destilada o desmineralizada. El agua para el ensayo con hidrómetro deberá llevarse hasta la temperatura que prevalecerá durante el ensayo; así, si el cilindro de sedimentación se va a colocar en baño de agua, la temperatura del agua destilada o desmineralizada que va a utilizarse se llevará a la temperatura de dicho baño. Si el cilindro de sedimentación se coloca a la temperatura ambiente del laboratorio, el agua deberá tener dicha

temperatura. La temperatura normal de ensayo es la de 20 °C. Sin embargo, variaciones de temperatura pequeñas, no implicarán el uso de las correcciones previstas.

CALIBRACION DEL HIDROMETRO

El hidrómetro debe ser calibrado para determinar su profundidad efectiva en términos de lecturas de hidrómetro (véase Figura 4). Si se dispone de un hidrómetro tipo 151-H o 152-H, la profundidad efectiva puede ser obtenida de la Tabla 1. Si el hidrómetro disponible es de otro tipo, procédase a su calibración de acuerdo con los pasos siguientes:

- 4.3.3 Determinése el volumen del bulbo del hidrómetro (VB). Este puede ser determinado utilizando uno de los métodos siguientes:

Midiendo el volumen de agua desplazada. Llénese con agua destilada o desmineralizada un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad hasta aproximadamente 900 mL, obsérvese y anótese la lectura del nivel del agua, El agua debe estar aproximadamente a 20 °C. Introdúzcase el hidrómetro y anótese la nueva lectura. La diferencia entre estas dos lecturas es igual al volumen del bulbo más la parte del vástago que está sumergida. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es tan pequeño que puede ser despreciado para efectos prácticos.

Determinación del volumen a partir del peso del hidrómetro. Pésese el hidrómetro con una aproximación de 0,01 g. Debido a que el peso específico del hidrómetro es aproximadamente igual a la unidad, el peso del hidrómetro en gramos es equivalente a su volumen en centímetros cúbicos. Este volumen incluye el volumen del bulbo y del vástago. El error debido a la inclusión del volumen del vástago es despreciable.

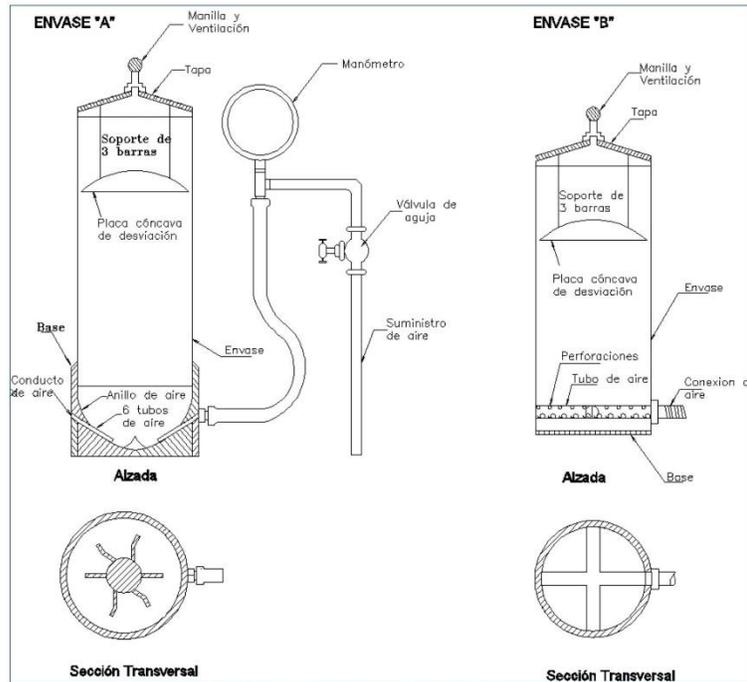


Figura 3: Detalle del Aparato Agitador de Inyección de Aire

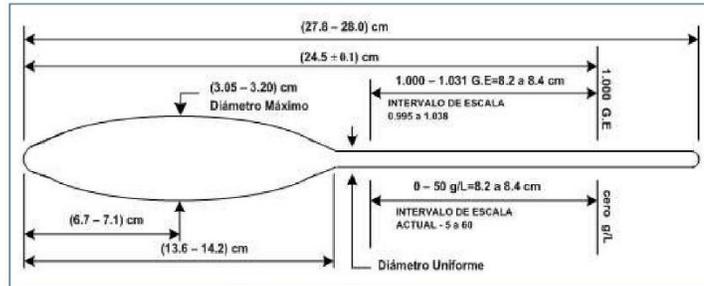


Figura 4: Hidrómetro

La escala de gravedad específica debe calibrarse para leer 1,000 a 20°C y debe extenderse para una capacidad de lectura desde 0,995 hasta 1,038, la escala gramos por litro debe extenderse desde - 5 g/L, con respecto al cero (1,000 de gravedad específica) hasta 60 g/L. El bulbo debe ser simétrico por encima y por debajo del diámetro medio y debe soplarse dentro de un molde para garantizar uniformidad del producto.

- El diámetro del vástago puede variar para ajustar la longitud de la escala que se pacifique pero debe ser de diámetro uniforme de extremo a extremo.

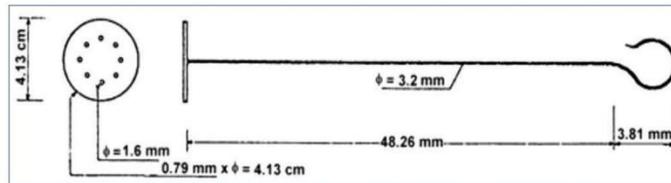


Figura 5: Agitador manual para el análisis por hidrómetro

Tabla 1
Valores de la Profundidad efectiva basados en hidrómetro y cilindro de sedimentación de dimensiones especificadas

| Hidrómetro 151 H | | | Hidrómetro 152 H | | |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (Cm) | Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (cm) | Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (cm) |
| 1,000 | 16,3 | 0 | 16,3 | - | - |
| 1,001 | 16,0 | 1 | 16,1 | 31 | 11,2 |
| 1,002 | 15,8 | 2 | 16,0 | 32 | 11,1 |
| 1,003 | 15,5 | 3 | 15,8 | 33 | 10,9 |
| 1,004 | 15,2 | 4 | 15,6 | 34 | 10,7 |
| 1,005 | 15,0 | 5 | 15,5 | 35 | 10,6 |
| 1,006 | 14,7 | 6 | 15,3 | 36 | 10,4 |
| 1,007 | 14,4 | 7 | 15,2 | 37 | 10,2 |
| 1,008 | 14,2 | 8 | 15,0 | 38 | 10,1 |
| 1,009 | 13,9 | 9 | 14,8 | 39 | 9,9 |
| 1,010 | 13,7 | 10 | 14,7 | 40 | 9,7 |
| 1,011 | 13,4 | 11 | 14,5 | 41 | 9,6 |
| 1,012 | 13,1 | 12 | 14,3 | 42 | 9,4 |
| 1,013 | 12,9 | 13 | 14,2 | 43 | 9,2 |
| 1,014 | 12,6 | 14 | 14,0 | 44 | 9,1 |

| Hidrómetro 151 H | | | Hidrómetro 152 H | | |
|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (Cm) | Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (cm) | Lectura del hidrómetro * R' + Cm | Profundidad efectiva L (cm) |
| 1,015 | 12,3 | 15 | 13,8 | 45 | 8,9 |
| 1,016 | 12,1 | 16 | 13,7 | 46 | 8,8 |
| 1,017 | 11,8 | 17 | 13,5 | 47 | 8,6 |
| 1,018 | 11,5 | 18 | 13,3 | 48 | 8,4 |
| 1,019 | 11,3 | 19 | 13,2 | 49 | 8,3 |
| 1,020 | 11,0 | 20 | 13,0 | 50 | 8,1 |
| 1,021 | 10,8 | 21 | 12,9 | 51 | 7,9 |
| 1,022 | 10,5 | 22 | 12,7 | 52 | 7,8 |
| 1,023 | 10,2 | 23 | 12,5 | 53 | 7,6 |
| 1,024 | 10,0 | 24 | 12,4 | 54 | 7,4 |
| 1,025 | 9,7 | 25 | 12,2 | 55 | 7,3 |
| 1,026 | 9,4 | 26 | 12,0 | 56 | 7,1 |
| 1,027 | 9,2 | 27 | 11,9 | 57 | 7 |
| 1,028 | 8,9 | 28 | 11,7 | 58 | 6,8 |
| 1,029 | 8,6 | 29 | 11,5 | 59 | 6,6 |
| 1,030 | 8,4 | 30 | 11,4 | 60 | 6,5 |
| 1,031 | | 8,1 | | *Lectura del hidrómetro corregida por Menisco | |
| 1,032 | 7,8 | | | | |
| 1,033 | 7,6 | | | | |
| 1,034 | 7,3 | | | | |
| 1,035 | 7,0 | | | | |
| 1,036 | 6,8 | | | | |
| 1,037 | 6,5 | | | | |
| 1,038 | 6,2 | | | | |

- 4.3.4 Determinése el área A del cilindro graduado midiendo la distancia que existe entre dos marcas de graduación. El área A es igual al volumen incluido entre las dos graduaciones dividido entre la distancia medida.
- 4.3.5 Mídase y anótese la distancia desde la marca de calibración inferior en el vástago del hidrómetro hasta cada una de las marcas de calibración principales (R).
- 4.3.6 Mídase y anótese la distancia desde el cuello del bulbo hasta la marca de calibración inferior. La distancia H correspondiente a cada lectura R, es igual a la suma de las dos distancias medidas en los pasos 4.3.4 y 4.3.5 de este ensayo.
- 4.3.7 Mídase la distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo. La distancia h/2 localiza el centro del volumen de un bulbo simétrico. Si el bulbo utilizado no es simétrico, el centro del volumen se puede determinar con suficiente aproximación proyectando la forma del bulbo sobre una hoja de papel y localizando el centro de gravedad del área proyectada.
- 4.3.8 Determinénse las profundidades efectivas L, correspondientes a cada una de las marcas de calibración principales R empleando la fórmula:

$$L = H_R + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_B}{A} \right)$$

Donde:

- L = Profundidades efectivas.
 H_R = Distancias correspondientes a las lecturas R.
 h = Distancia desde el cuello hasta la punta inferior del bulbo.
 V_B = Volumen del bulbo.
 A = Área del cilindro graduado.

4.3.9 Constrúyase una curva que exprese la relación entre R y L, como se muestra en la Figura 6. Esta relación es esencialmente una línea recta para los hidrómetros simétricos.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACION DE LA MUESTRA

5.1.1 El tamaño aproximado de la muestra que se debe usar para el análisis por el hidrómetro varía con el tipo de suelo que va a ser ensayado. La cantidad requerida para suelos arenosos es de 75 a 100 g y para limos y arcillas de 50 a 60 g (peso seco). El peso exacto de la muestra en suspensión puede ser determinado antes o después del ensayo. Sin embargo el secado al horno de algunas arcillas antes del ensayo puede causar cambios permanentes en los tamaños de granos aparentes; las muestras de estos suelos deben ser conservadas con su contenido de humedad natural, y ensayadas sin ser secadas al horno.

5.1.2 El peso se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W_s = \frac{\text{Peso del Suelo Humedo}}{1 + \frac{\text{Humedad (w)}}{100}}$$

Donde la humedad (w) se determinará usando una porción de muestra que no vaya a ser ensayada. (Norma MTC E 128).

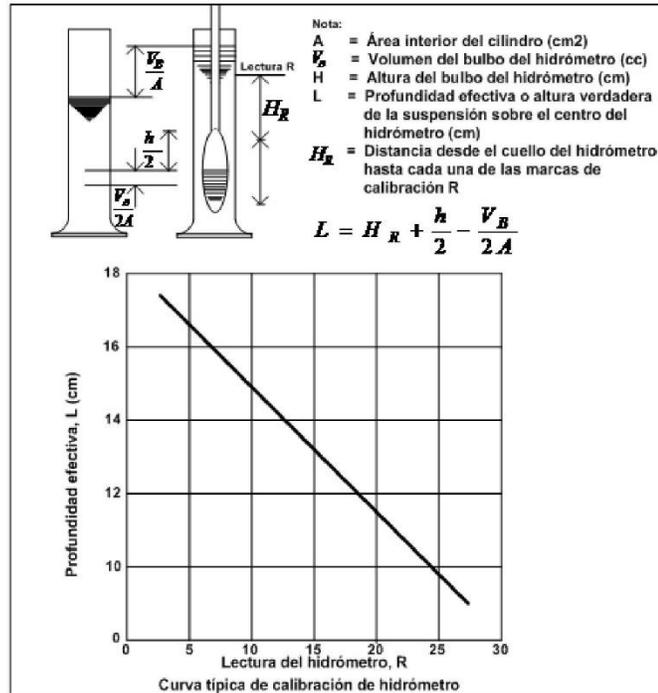


Figura 6: Determinación de la profundidad efectiva de la suspensión sobre el centro del bulbo del hidrómetro

6.0 PROCEDIMIENTO

El procedimiento consistirá de los siguientes pasos:

- 6.1 Anótese en el formato toda la información existente para identificar la muestra, como por ejemplo: obra, número de la muestra y otros datos pertinentes.
- 6.2 Determinése la corrección por defloculante y punto cero, Cd, y la corrección por menisco, Cm, a menos que ya sean conocidas (ver aparte **6.12** y **6.14** de este ensayo).

Anótese toda esta información en el formato.

- 6.3 Determinése el peso específico de los sólidos, Gs (E 113).
- 6.4 Si el peso secado al horno se va a obtener al principio del ensayo, séquese la muestra al horno, déjese enfriar y pésele con una aproximación de 0,1 g, anótese en el formato el valor obtenido. Colóquese la muestra en una cápsula de 250 mL previamente identificada con un número, agréguese agua destilada o desmineralizada hasta que la muestra quede totalmente sumergida. Colóquese el agente dispersante en este momento: 125 mL de solución de hexametáfosfato de sodio (40 g/L).

Déjese la muestra en remojo por una noche hasta que los terrones de suelo se hayan desintegrado. Suelos altamente orgánicos requieren un tratamiento especial, y puede ser necesario oxidar la materia orgánica antes del ensayo. La oxidación puede ser llevada a cabo mezclando la muestra con una solución, al 30%, de peróxido de hidrógeno; esta solución oxidará toda la materia orgánica. Si el suelo contiene poca cantidad de materia orgánica, el tratamiento con peróxido de hidrógeno no es necesario.

- 6.5 Transfírase la muestra con agua, de la cápsula a un vaso de dispersión (figuras 1 y 2), lavando cualquier residuo que quede en la cápsula con agua destilada o desmineralizada. Agréguese agua al vaso de dispersión si es necesario, hasta que la superficie de ésta quede de 50 a 80 mm por debajo de la boca del vaso; si el vaso contiene demasiada agua, ésta se derramará durante el mezclado. Colóquese el vaso de dispersión en el aparato agitador durante un minuto.

- Para lograr la dispersión se puede emplear también aire a presión en lugar del método mecánico del agitador. En este caso, se coloca un manómetro entre el vaso y la válvula de control, la cual se abre inicialmente para obtener una presión de 0,07 kg/cm² (1 psi). Se transfiere la lechada de suelo-agua de la cazuela al vaso de dispersión, lavando con agua destilada el remanente de la cazuela, y rellenando si es necesario, con más agua destilada hasta el volumen de 250 mL. Se tapa el vaso y se abre la válvula de control hasta obtener una presión de 1,4 kg/cm² (20 psi). La dispersión se hará de acuerdo con la siguiente tabla:

| Índice de plasticidad del suelo | Período de dispersión min. |
|---------------------------------|----------------------------|
| Menor del 5% | 5 |
| Del 6% a 20% | 10 |
| Mayor del 20% | 15 |

Los suelos que contienen altos porcentajes de mica se dispersarán durante un (1) minuto.

- 6.6 Se transfiere la suspensión a un cilindro de sedimentación de 1000 mL. La suspensión debe ser llevada a la temperatura que se espera prevalecerá en el laboratorio durante el ensayo.
- 6.7 Un minuto antes de comenzar el ensayo, tómese el cilindro de sedimentación y tapándolo con la mano o con un tapón adecuado, agítese la suspensión vigorosamente durante varios segundos, con el objeto de remover los sedimentos del fondo y lograr una suspensión uniforme. Continúese agitando hasta completar un minuto volteando el cilindro hacia arriba y hacia abajo alternativamente. Algunas veces es necesario aflojar los sedimentos del fondo del cilindro, mediante un agitador de vidrio antes de proceder a agitar la lechada. Se deben ejecutar sesenta (60) giros durante ese minuto.

Alternativamente, la suspensión puede ser agitada antes de proceder al ensayo mediante un agitador manual, semejante al que se muestra en el esquema de la Figura 3. Moviendo dicho

agitador hacia arriba y hacia abajo, a través de la suspensión, se consigue una distribución uniforme de las partículas de suelo. Este proceso evita también la acumulación de sedimentos en la base y en las paredes del cilindro graduado.

- 6.8 Al terminar el minuto de agitación, colóquese el cilindro sobre una mesa.
Póngase en marcha el cronómetro. Si hay espuma presente, remuévala tocándola ligeramente con un pedazo de papel absorbente. Introdúzcase lentamente el hidrómetro en la suspensión. Se debe tener mucho cuidado cuando se introduce y cuando se extrae, para evitar perturbar la suspensión.
- 6.9 Obsérvense y anótese las dos primeras lecturas de hidrómetro, al minuto, y a los dos minutos después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco. Inmediatamente después de realizar la lectura de los 2 minutos, extráigase cuidadosamente el hidrómetro de la suspensión y colóquese en un cilindro graduado con agua limpia. Si el hidrómetro se deja mucho tiempo en la suspensión, parte del material que se está asentando se puede adherir al bulbo, causando errores en las lecturas. Luego, introdúzcase nuevamente el hidrómetro y realícense lecturas a los 5; 15; 30; 60; 120; 250 y 1 440 minutos. Todas estas lecturas deben realizarse en el tope del menisco formado alrededor del vástago. Inmediatamente después de cada una de estas lecturas, extráigase el hidrómetro cuidadosamente de la suspensión y colóquese en el cilindro graduado con agua limpia.
- 6.10 Después de realizar la lectura de hidrómetro de los 2 minutos y después de cada lectura siguiente, colóquese un termómetro en la suspensión, mídase la temperatura y anótese en la planilla con una aproximación de 0,5 °C. Los cambios de temperatura de la suspensión durante el ensayo afectan los resultados. Las variaciones en la temperatura deben ser minimizadas colocando el cilindro lejos de fuentes de calor tales como hornos, rayos de sol o ventanas abiertas. Una forma conveniente de controlar los efectos de la temperatura, es colocar el cilindro graduado que contiene la suspensión en un baño de agua.
- 6.11 Si el peso de la muestra se va a determinar al final del ensayo, lávese cuidadosamente toda la suspensión transfiriéndola a una cápsula de evaporación. Séquese el material al horno, déjese enfriar y determínese el peso de la muestra. El peso seco de la muestra de suelo empleada se obtendrá restándole a este valor el peso seco del agente defloculante empleado.

CORRECCION DE LAS LECTURAS DEL HIDROMETRO

- 6.12 Antes de proceder con los cálculos, las lecturas de hidrómetro deberán ser corregidas por menisco, por temperatura, por defloculante y punto cero.
- 6.13 Corrección por menisco (Cm). Los hidrómetros se calibran para leer correctamente a la altura de la superficie del líquido. La suspensión de suelo no es transparente y no es posible leer directamente a la superficie del líquido; por lo tanto, la lectura del hidrómetro se debe realizar en la parte superior del menisco. La corrección por menisco es constante para un hidrómetro dado, y se determina introduciendo el hidrómetro en agua destilada o desmineralizada y observando la altura a la cual el menisco se levanta por encima de la superficie del agua. Valores corrientes de Cm son:
Hidrómetro tipo 151 H: $C_m = 0,6 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
Hidrómetro tipo 152 H: $C_m = 1,0 \text{ g/litro}$.
- 6.14 Corrección por temperatura (Ct). A cada una de las lecturas de hidrómetro se debe aplicar también un factor de corrección por temperatura, el cual debe sumarse algebraicamente a cada lectura. Este factor puede ser positivo o negativo, dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar cada lectura. Obténgase el valor del factor de corrección por temperatura para cada lectura de hidrómetro empleando la Tabla 2 y anótese estos valores en su planilla.
- 6.15 Corrección por agente de dispersión y por desplazamiento del punto cero (Cd).
- Los granos de suelos muy finos en suspensión tienden normalmente a flocular y se adhieren de tal forma que suelen precipitarse juntos. Por lo tanto, es necesario añadir a las muestras un agente de disgregación para evitar la floculación durante el ensayo. Los agentes defloculantes siguientes han sido utilizados satisfactoriamente para la mayoría de los suelos:

Tabla 2
Valores de Ct para la corrección por temperatura de las lecturas del hidrómetro

| Temp. C | Ct | |
|---------|--|---------------------------|
| | Hidrómetro graduado en | |
| | Densidad (gr/cm ³) × 10 ³ | Concentración (gr/litro)* |
| 10 | -1,3 | -2,0 |
| 11 | -1,2 | -1,9 |
| 12 | -1,1 | -1,8 |
| 13 | -1,0 | -1,6 |
| 14 | -0,9 | -1,4 |
| 15 | -0,8 | -1,2 |
| 16 | -0,6 | -1,0 |
| 17 | -0,5 | -0,8 |
| 18 | -0,3 | -0,5 |
| 19 | -0,2 | -0,3 |
| 20 | 0,0 | 0,0 |
| 21 | 0,2 | 0,3 |
| 22 | 0,4 | 0,6 |
| 23 | 0,6 | 0,9 |
| 24 | 0,8 | 1,3 |
| 25 | 1,0 | 1,7 |
| 26 | 1,3 | 2,0 |
| 27 | 1,5 | 2,4 |
| 28 | 1,8 | 2,9 |
| 29 | 2,0 | 3,3 |
| 30 | 2,3 | 3,7 |

Peso específico del sólido en suspensión: $G = 2,55$

Para hidrómetro tipo 1 52-H busque Ct en la columna de la derecha (gr/litro).

Para hidrómetro tipo 1 51-H busque Ct en la columna de la izquierda

$$\{(g / cm) \times 10^3\}$$

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$Ct = [\gamma W_{20} - \gamma W_t - \alpha (T - 20)] \times 10^3 \text{ g/cm}^3$$

$$Ct = [\gamma W_{20} - \gamma W_t - \alpha (T - 20)] \times \frac{2,65}{1,65} 10^3 \text{ g/cm}^3$$

Donde:

- T = Temperatura de la suspensión en °C
- γW_{20} = Peso unitario del agua a 20 °C
- γW_t = Peso unitario del agua a T °C
- α = Coeficiente de dilatación volumétrica del hidrómetro ($\alpha = 2,5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$)

| Agente defloculante | Fórmula |
|--------------------------|---|
| Hexametáfosfato de sodio | NaPO ₃ ó (NaPO ₃) ₆ |

- La adición de un agente defloculante produce aumento en la densidad del líquido y obliga a realizar una corrección a la lectura del hidrómetro observado. Así mismo, como la escala de cada hidrómetro ha sido graduada para registrar una lectura cero o lectura inicial a una temperatura base, que generalmente es 20 °C, existirá un desplazamiento del punto cero, y las lecturas de hidrómetro observadas también deberán corregirse por este factor.
- La corrección por defloculante se determina generalmente en conjunto con la corrección por punto cero; por ello se les denomina "corrección por defloculante y punto cero".

- El procedimiento para determinar la corrección por defloculante y punto cero consistirá en los pasos siguientes:

Se selecciona un cilindro graduado de 1000 mL de capacidad y se llena con agua destilada o desmineralizada con una cantidad de defloculante igual a la que se empleará en el ensayo. Si en el ensayo no se va a utilizar defloculante, llénese el cilindro sólo con agua destilada o desmineralizada. En este caso la corrección será solamente por punto cero. Realícese, en la parte superior del menisco, la lectura del hidrómetro e introdúzcase a continuación un termómetro para medir la temperatura de la solución. Calcúlese la corrección por defloculante y punto cero (Cd) mediante la fórmula:

$$Cd = \tau' + Cm \pm Ct$$

Donde:

- τ' = Lectura del hidrómetro, en agua con defloculante únicamente
- Cm = Corrección por menisco
- Ct = Corrección por temperatura, sumada algebraicamente.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

- 7.1.1 Lectura de hidrómetro corregida. Calcúlese las lecturas de hidrómetro corregidas por menisco (R) sumándole a cada lectura de hidrómetro no corregida (R'), la corrección por menisco Cm, o sea:

$$R = R' + Cm$$

Anótense en la planilla los valores de R obtenidos.

- 7.1.2 Cálculo del diámetro de las partículas (D). Determinése el diámetro de las partículas correspondientes a cada lectura de hidrómetro empleando el nomograma de la Figura 7. En este nomograma, la escala (R) correspondiente a las profundidades efectivas (L) (véase Tabla 1), se elaborará empleando la curva de calibración correspondiente al hidrómetro que se va a emplear en el ensayo (Figura 6). La secuencia de los pasos a seguir para calcular el diámetro de las partículas (ID) mediante el nomograma de la Figura 7, se indica esquemáticamente en la parte inferior derecha de dicha figura.

El diámetro de las partículas de suelo en suspensión en el momento de realizar cada lectura de hidrómetro se puede calcular también con la fórmula siguiente:

$$D \text{ (mm)} = K \sqrt{(L / t)}$$

Donde:

- L = Profundidad efectiva en cm
- t = Tiempo transcurrido en min.

$$K = \sqrt{\frac{30 \times \mu / g}{\tau_s - \tau_w}}$$

Donde:

- g = Aceleración gravitacional = 980,7 cm/s²
- μ = Coeficiente de viscosidad del agua en Poises
- τ_s = Peso unitario de los sólidos del suelo en gr/cm³
- τ_w = Peso unitario del agua destilada, a la temperatura T, en g/cm³.

Los valores de K están tabulados en la Tabla 3, en función del peso específico y la temperatura.

- 7.1.3 Cálculo del porcentaje más fino. Para calcular el porcentaje de partículas de diámetro más fino que el correspondiente a una lectura de hidrómetro dada, utilice la fórmulas siguientes:

Para hidrómetros 151 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{G_s}{G_s - 1} \times \frac{100}{W_o} \times (R - C_d \pm C_t)$$

Para hidrómetros 152 H

$$\text{Porcentaje más fino} = \frac{100 \times a}{W_o} \times (R - C_d \pm C_t)$$

Donde:

- G_s = Peso específico de los sólidos (modo operativo MTC E 205)
- W_o = Peso de la muestra de suelo secado al horno que se empleó para el análisis del hidrómetro.
- (R - C_d + C_t) = Lectura de hidrómetro corregida por menisco menos corrección por defloculante y punto cero, más (sumada algebraicamente) corrección por temperatura.
- a = Factor de corrección por peso específico (véase Tabla 4).

Anótense todos los valores obtenidos en su planilla. El factor C_t puede ser positivo o negativo dependiendo de la temperatura de la suspensión en el momento de realizar la lectura. Úsese la fórmula (R - C_d + C_t) dependiendo si C_t es positivo o negativo.

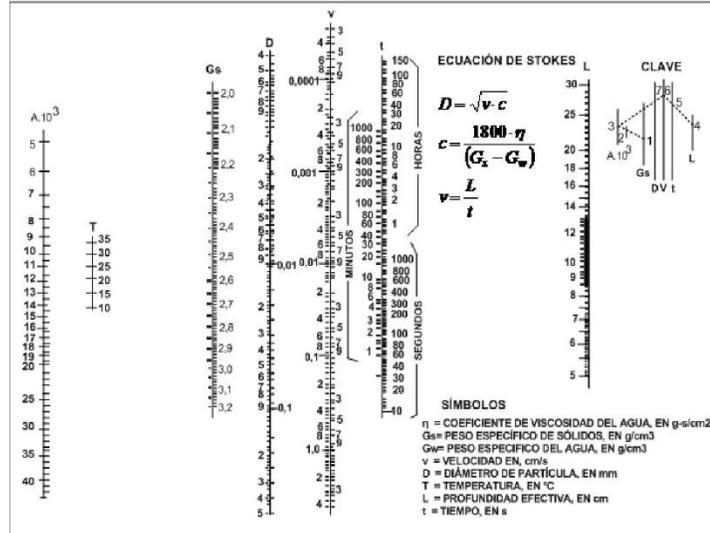


Figura 7: Nomograma para el cálculo del diámetro de partículas

OBSERVACIONES

7.1.4 Los siguientes errores posibles causarían determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por hidrómetro.

- Suelo secado al horno antes del ensayo. Excepto para el caso de suelos inorgánicos de resistencia seca baja, el secado al horno puede causar cambios permanentes en el tamaño de las partículas.

- Agente dispersante no satisfactorio o en cantidad insuficiente. Siempre y cuando se vayan a ensayar suelos nuevos o no usuales, es necesario realizar tanteos para determinar el tipo y la cantidad de compuesto químico que producirá la dispersión y de floculación más efectivas.

Tabla 3
Valores de K para el cálculo del diámetro de partículas en el análisis hidrométrico

| Tem | Peso específico de las partículas del suelo | | | | | | | | |
|-----|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2,45 | 2,50 | 2,55 | 2,60 | 2,65 | 2,70 | 2,75 | 2,80 | 2,85 |
| 10 | 0,01659 | 0,01631 | 0,01604 | 0,1583 | 0,1555 | 0,01532 | 0,01510 | 0,01488 | 0,01468 |
| 11 | 0,01636 | 0,01608 | 0,01582 | 0,01557 | 0,01533 | 0,01511 | 0,01489 | 0,01468 | 0,01448 |
| 12 | 0,01613 | 0,01586 | 0,01560 | 0,01535 | 0,01512 | 0,01490 | 0,01468 | 0,01448 | 0,01428 |
| 13 | 0,01591 | 0,01565 | 0,01539 | 0,01515 | 0,01492 | 0,01470 | 0,01449 | 0,01428 | 0,01409 |
| 14 | 0,01571 | 0,01544 | 0,01519 | 0,01495 | 0,01474 | 0,01451 | 0,01430 | 0,01410 | 0,01391 |
| 15 | 0,01551 | 0,01525 | 0,01500 | 0,01476 | 0,01454 | 0,01432 | 0,01412 | 0,01392 | 0,01373 |
| 16 | 0,01530 | 0,01505 | 0,01481 | 0,01457 | 0,01435 | 0,01414 | 0,01394 | 0,01374 | 0,01356 |
| 17 | 0,01521 | 0,01486 | 0,01462 | 0,01439 | 0,01417 | 0,01396 | 0,01376 | 0,01356 | 0,01338 |
| 18 | 0,01492 | 0,01467 | 0,01443 | 0,01421 | 0,01399 | 0,01378 | 0,01359 | 0,01339 | 0,01321 |
| 19 | 0,01437 | 0,01449 | 0,01425 | 0,01403 | 0,01382 | 0,01361 | 0,01342 | 0,01323 | 0,01305 |
| 20 | 0,01456 | 0,01431 | 0,01408 | 0,01386 | 0,01365 | 0,01344 | 0,01325 | 0,01307 | 0,01289 |
| 21 | 0,01438 | 0,01414 | 0,01391 | 0,01369 | 0,01348 | 0,01328 | 0,01309 | 0,01291 | 0,01273 |
| 22 | 0,01421 | 0,01397 | 0,01374 | 0,01353 | 0,01332 | 0,01312 | 0,01294 | 0,01276 | 0,01258 |
| 23 | 0,01404 | 0,01381 | 0,01358 | 0,01337 | 0,01317 | 0,01297 | 0,01279 | 0,01261 | 0,01243 |
| 24 | 0,01388 | 0,01365 | 0,01342 | 0,01321 | 0,01301 | 0,01282 | 0,01264 | 0,01246 | 0,01229 |
| 25 | 0,01372 | 0,01349 | 0,01327 | 0,01306 | 0,01286 | 0,01267 | 0,01249 | 0,01232 | 0,01215 |
| 26 | 0,01357 | 0,01334 | 0,01312 | 0,01291 | 0,01272 | 0,01253 | 0,01235 | 0,01219 | 0,01201 |
| 27 | 0,01342 | 0,01319 | 0,01297 | 0,01277 | 0,01258 | 0,01239 | 0,01221 | 0,01204 | 0,01188 |
| 28 | 0,01327 | 0,01304 | 0,01283 | 0,01264 | 0,01244 | 0,01225 | 0,01208 | 0,01191 | 0,01175 |
| 29 | 0,01312 | 0,01290 | 0,01269 | 0,01249 | 0,01230 | 0,01212 | 0,01195 | 0,01178 | 0,01162 |
| 30 | 0,01298 | 0,01276 | 0,01256 | 0,01236 | 0,01217 | 0,01199 | 0,01182 | 0,01165 | 0,01149 |

- Dispersión incompleta del suelo en la suspensión. Agitación insuficiente de la suspensión en el cilindro al comienzo del ensayo.

Demasiado suelo en suspensión. Los resultados del análisis hidrométrico serán afectados si el tamaño de la muestra excede las cantidades recomendadas.

Los valores tabulados fueron calculados por la expresión:

$$K = \sqrt{\frac{30 \mu}{980 (G - 1) \gamma_w}}$$

Donde:

- μ = viscosidad dinámica del agua en Poises
- G = peso específico de las partículas de suelo.
- γ_w = peso unitario del agua (gr/cm³)



Tabla 4
Valores del coeficiente de corrección para distintos pesos específicos de las partículas del suelo

| Peso Específico | Coeficiente "a" | Peso Específico | Coeficiente "a" | Peso Específico | Coeficiente "a" |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2,45 | 1,05 | 2,60 | 1,01 | 2,75 | 0,98 |
| 2,50 | 1,03 | 2,65 | 1,00 | 2,80 | 0,97 |
| 2,55 | 1,02 | 2,70 | 0,99 | 2,85 | 0,96 |

Perturbación de la suspensión cuando se introduce o se remueve el hidrómetro. Tal perturbación es muy corriente que ocurra cuando el hidrómetro se extrae rápido después de una lectura.

El hidrómetro no está suficientemente limpio. La presencia de polvo o grasa en el vástago del hidrómetro puede impedir el desarrollo de un menisco uniforme.

Calentamiento no uniforme de la suspensión. Variación excesiva de la temperatura de la suspensión durante el ensayo.

Pérdida de material después del ensayo. Si el peso del suelo secado al horno se obtiene después del ensayo, toda la suspensión debe ser lavada cuidadosamente del cilindro.

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

**NORMA MTC 110 & 111 / ASTM D
4318 “LIMITES DE ATTEBERG”**

MTC E 110

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS

1.0 OBJETO

- 1.1 Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.

Discusión: Se considera que la resistencia al corte no drenada del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi).

- 1.2 El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte
- 2.2 Los límites líquido y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que 2µm para determinar su número de actividad
- 2.3 Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera ser una medida de la susceptibilidad de la lutitas a la intemperización.
- 2.4 El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm (4 1/2") de diámetro aproximadamente.
- 4.1.3 Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 1.
De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 1. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.
- 4.1.4 Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 1.

- 4.1.5 Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de $10,00 \pm 0,2$ mm ($0,394 \pm 0,008$ " de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- 4.1.6 Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- 4.1.7 Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- 4.1.8 Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para secar la muestra.
- 4.2 MATERIALES
- 4.2.1 Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"- 4") de longitud y 20 mm ($\frac{3}{4}$ ") de ancho aproximadamente.
- 4.3 INSUMOS
- 4.3.1 Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz $425 \mu\text{m}$ (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchara y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

6.0 PROCEDIMIENTO

Multipunto

- 6.1 Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible. Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

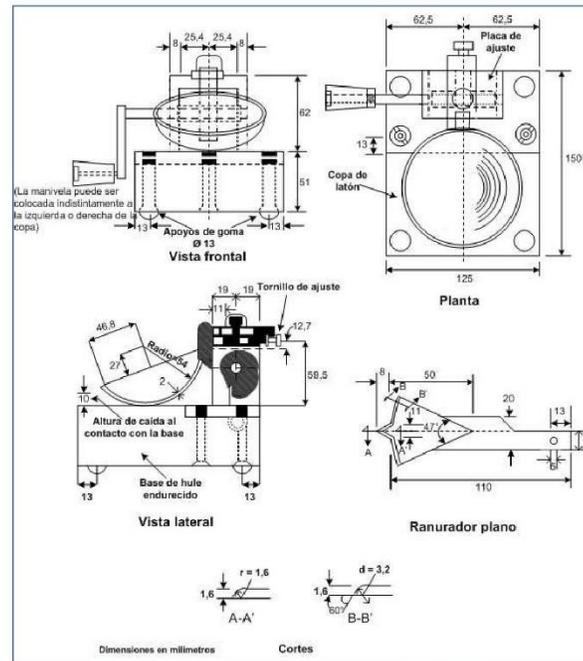
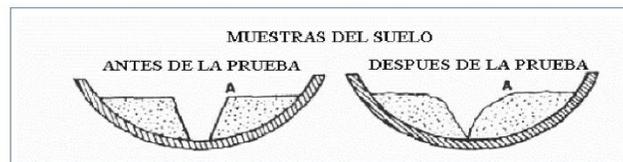


Figura 1: Aparato manual para límite líquido



- 6.1 Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
- 6.2 Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

Nota 1. Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).
- 6.3 Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con

la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.

- 6.4 Registrar el número de golpes, N, necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- 6.5 Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
- 6.6 Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- 6.7 Determinar el contenido de humedad, W^n , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción.

Un punto

- 6.8 El ensayo se efectúa en la misma

7.0 CALCULOS

(Multipunto)

- 7.1 Representar la relación entre el contenido de humedad, W^n , y el número de golpes correspondientes, N, de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- 7.2 Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido.

(Un punto)

- 7.3 Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

- N = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad,
- W^n = Contenido de humedad del suelo,
- K = factor dado en la tabla A.1

Tabla A -1

| N (Numero de golpes) | K (Factor para límite líquido) |
|----------------------|--------------------------------|
| 20 | 0,974 |
| 21 | 0,979 |
| 22 | 0,985 |
| 23 | 0,990 |
| 24 | 0,995 |
| 25 | 1,000 |
| 26 | 1,005 |
| 27 | 1,009 |
| 28 | 1,014 |
| 29 | 1,018 |
| 30 | 1,022 |

Tabla 1
Tabla de estimados de precisión.

| Índice de precisión y tipo de ensayo | Desviación Estándar | Rango Aceptable de dos resultados |
|--|---------------------|-----------------------------------|
| Precisión de un operador simple | | |
| Límite Líquido | 0,8 | 2,4 |
| Precisión Multilaboratorio | | |
| Límite Líquido | 3,5 | 9,9 |

8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

MTC E 111

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.)

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen
- 2.2 Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.
- 2.3 Los plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que 2µm para determinar su número de actividad

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" - 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- 4.1.2 Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- 4.1.3 Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- 4.1.4 Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a 110 ± 5 °C.
- 4.1.5 Tamiz, de 426 µm (N° 40).
- 4.1.6 Agua destilada.
- 4.1.7 Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- 4.1.8 Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

5.0 MUESTRA

- 5.1 Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 µm (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- 5.2 El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.
- 5.3 Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado

en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

6.0 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- 6.2 Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer una elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro.

El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.

- 6.3 Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- 6.4 Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 6.1, 6.2 y 6.3.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 CALCULOS

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

Tabla 1
Tabla de estimados de precisión.

| Índice de precisión y tipo de ensayo | Desviación Estándar | Rango Aceptable de dos resultados |
|--|---------------------|-----------------------------------|
| Precisión de un operador simple | | |
| Límite Plástico | 0,9 | 2,6 |
| Precisión Multilaboratorio | | |
| Límite Plástico | 3,7 | 10,6 |

El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

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

7.2 CALCULOS DE INDICE DE PLASTICIDAD

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

- L.L. = Límite Líquido
- P.L. = Límite Plástico
- L.L. y L.P., son números enteros

- Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).



8.0 PRECISION Y DISPERSION

8.1 PRECISION

8.1.1 El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de Límite Plástico obtenidos por este método de ensayo se da en la Tabla N° 1.

8.2 DISPERSION

8.2.1 Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

NORMA MTC E 131
“DETERMINACION DE LOS
PARAMETROS DE RESISTENCIA
AL CORTE MEDIANTE
COMPRESION TRIAXIAL”

MTC E 131

DETERMINACION DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE MEDIANTE COMPRESION TRIAXIAL

1.0 OBJETO

- 1.1 Se refieren, los métodos, a la determinación de los parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión triaxial. Los métodos descritos son: el ensayo de compresión triaxial consolidado no drenado (CU) con o sin medición de la presión de poros; el ensayo drenado (D), y el ensayo no consolidado no drenado (UU) con o sin medición de las presiones de poros. Los parámetros obtenidos son el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (C), y cuando se midan las presiones en los poros, podrán calcularse los valores efectivos de la fricción interna y la cohesión (ϕ y C). Los valores así obtenidos pueden emplearse en diferentes análisis de estabilidad como por ejemplo en fundaciones de estructuras, en cortes y taludes o en estructuras de retención, problemas en los cuales la resistencia del suelo a corto y largo plazo, tiene importancia significativa.
- 1.2 Cada uno de estos métodos requerirá el ensayo de un mínimo de tres probetas.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

TERMINOLOGIA

Falla – Es la condición de los esfuerzos durante la falla de un espécimen de prueba. La falla corresponde a la máxima diferencia del esfuerzo principal (el esfuerzo desviador) alcanzada ó la diferencia de los esfuerzos principales (el esfuerzo desviador) a la deformación axial al 15%, el que se obtiene primero durante el rendimiento de una prueba.

La resistencia a la compresión no drenada - no consolidada: Es el valor de la diferencia de los esfuerzos principales (el esfuerzo desviador) durante la falla.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

- 3.1 AASHTO T 296: Standard Method of Test for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression.
- 3.2 AASHTO T 297: Standard Method of Test for Consolidated Unconsolidated, Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- 3.3 ASTM T D 2850: Standard Method of Test Method for Unconsolidated - Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
- 3.4 ASTM D 4767: Standard Method of Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils

4.0 EQUIPOS, MATERIALES E INSUMOS

4.1 EQUIPOS

- 4.1.1 Dispositivo de carga axial. El dispositivo de carga axial puede ser cualquier aparato de compresión con la suficiente capacidad y el adecuado control, para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el numeral 6.1.1 y en el cual sean mínimas las vibraciones debidas a su operación.

A manera de ejemplo, se muestra en la Figura 1 un aparato para este propósito, el cual puede consistir de una báscula de plataforma con yugo de carga accionado por un gato de tornillo, un aparato de carga muerta, un dispositivo de carga hidráulica, un tornillo accionado por un motor de velocidad variable o cualquier otro sistema de compresión (de esfuerzo o de deformación controlada), que tenga la suficiente capacidad y precisión adecuada.

- 4.1.2 El dispositivo para medir la carga axial, puede consistir en un anillo de carga capaz de medir con aproximación de 1,1 N (0,25 lb) o a valores de carga dentro del 1,0 % de la carga anticipada, cualquiera que sea la mayor. Cuando se emplee un anillo de carga, normalmente éste se hallará montado en la parte exterior de la cámara de presión. Puede emplearse también una celda

electrónica para medir las cargas axiales aplicadas a la probeta de ensayo como se muestra en la Figura 2. Dicha celda deberá montarse en el interior de la cámara triaxial y, cuando se la emplee, se necesitará además el siguiente equipo electrónico accesorio para indicar la carga:

- Amplificador. Que aumente, las señales eléctricas de la cámara de carga de manera que sean suficientemente grandes para que puedan ser detectadas mediante un voltímetro digital o un registrador gráfico de tira.
- Fuente de potencia. De voltaje constante para excitar la celda de carga o el transductor de presión.
- Puente de balanceo. Para balancear los circuitos eléctricos del sistema de medida
- Voltímetro. Digital o registrador gráfico, para medición de la carga o presión.

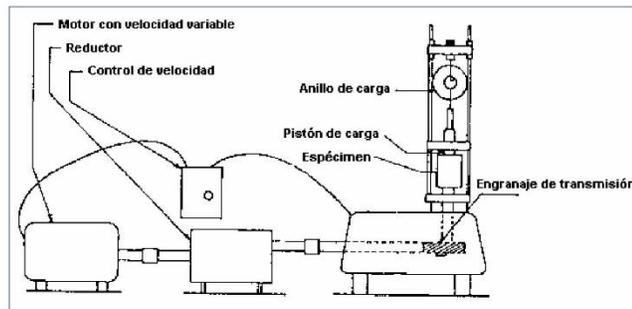


Figura 1: Dispositivo típico de carga

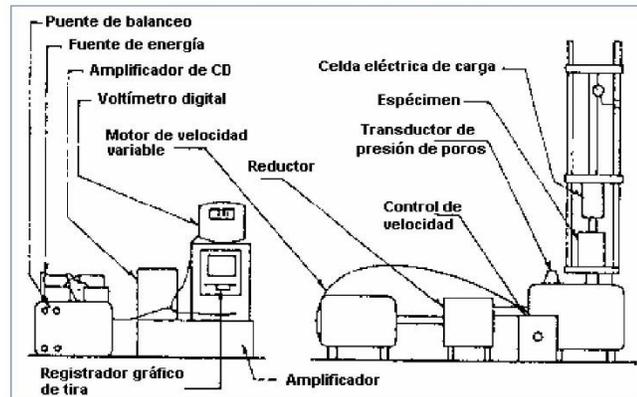


Figura 2: Aparato de carga con equipo electrónico accesorio

- 4.1.3 Indicador de Deformación. El indicador de deformación deberá ser un extensiómetro de dial con graduaciones equivalentes a 0,02 mm (0,001") y que tenga un recorrido mínimo del 20 % de la longitud de la probeta de ensayo u otro dispositivo de medida que cumpla con estos requisitos generales.
- 4.1.4 Equipo para tallar las probetas. Este equipo incluye un marco, herramientas apropiadas para desbastar y tallar, calibrador Vernier que pueda medir las dimensiones de la muestra con

aproximación a 0,25 mm (0,01"), un cortador de muestras, un dispositivo para cortar los extremos, y un extractor de muestras.

- 4.1.5 Aparato de presión de poros. Este aparato puede consistir en un manómetro cerrado, un indicador de cero presiones, o un transductor de presión. Cuando se emplee este último, podrá utilizarse con el mismo equipo electrónico usado para monitorear las cargas.
- 4.1.6 Estufa para secamiento. Un horno termostáticamente controlado que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ para determinar el contenido de humedad de los especímenes.
- 4.1.7 Balanzas. Para muestras cuyo peso sea inferior a 100 g, deberá utilizarse una balanza con precisión de 0,01 g, y para muestras de 100 g o más, una balanza con precisión de 0,1 g.
- 4.1.8 Cámara de compresión triaxial. Empleada para contener el espécimen y el fluido de confinamiento, durante el ensayo. Las partes accesorias asociadas con la cámara incluyen: placa para base de la muestra, piedra porosa, dos placas lubricadas para base, anillos en O u otro tipo de sellos, válvulas de cierre, placa superior, tubos de plástico para drenaje resistente a la temperatura, tapa superior, pistón de carga, membrana de caucho, papel de filtro, dial con su soporte, etc.
- 4.1.9 Misceláneos. Estos incluyen una bomba de vacío y un aparato de presión con sus respectivos manómetros y reguladores, un dilatador de membrana, recipientes para de determinaciones humedad, y los formatos de informe que se requieran.

5.0 MUESTRA

5.1 PREPARACIÓN DEL ENSAYO

- 5.1.1 Tamaño de la probeta. Los especímenes deberán tener un diámetro mínimo de 33 mm (1,3") y el mayor tamaño de partícula dentro de la muestra de ensayo deberá ser menor que 1/10 de su diámetro. Para muestras con diámetro de 71 mm (2,8") o más, la partícula mayor deberá ser menor que 1/6 del diámetro. Si después de la conclusión del ensayo de una muestra inalterada, se encuentran partículas de mayor tamaño, deberán hacerse las anotaciones correspondientes en el informe. La relación altura – diámetro (H/D) debe estar entre 2 y 2,5, siendo preferible 2, valor que puede disminuirse hasta 1,25 cuando se usen placas lubricadas. Deberán efectuarse las mediciones con aproximación a 0,10 mm (0,05") empleando un calibrador Vernier u otro dispositivo adecuado.
- 5.1.2 Muestras inalteradas. Pueden prepararse muestras inalteradas a partir de muestras de mayor tamaño o de muestras obtenidas de acuerdo con la norma MTC E120, Muestreo de suelos con tubos de pared delgada.

- Cuando se reciben tubos con muestras en el laboratorio, éstas se sacan por extrusión mediante una gata u otro método que no las altere.
- Se toman muestras para determinar la humedad, y se cortan especímenes de la longitud deseada; se identifica el suelo visualmente con ayuda de la Norma INV E-102-07 Procedimiento normal para la descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual y manual), y se recubren los especímenes con parafina, manteniéndolos en una cámara húmeda y fría hasta que vayan a ser ensayados.
- Corte:

Las muestras de tubo podrán ensayarse sin ser desbastadas, excepto para emparejar los extremos, si las condiciones de la muestra así lo exigen. Si es necesario desbastarlas, deberán manejarse con cuidado para evitar su alteración y cambios en la sección transversal o pérdida de humedad. El corte, en cuanto sea posible, deberá efectuarse en una cámara con humedad controlada procurando evitar a toda costa cualquier cambio en la humedad.

El molde del desbastador de muestras se construye en tal forma que el cortador cilíndricamente, sin movimiento horizontal alguno. El diámetro interior del cortador deberá ser alrededor de 0,13 mm (0,005") mayor que el diámetro deseado del espécimen de ensayo, excepto para una longitud de 3,2 mm (1/8") en el extremo del corte, donde dicho diámetro

deberá ser igual al de la probeta. Céntrese la muestra bajo el cortador y bájese hasta la parte deseada, aflojando las tuercas de las aletas.

Después de que este en posición, empújese el cortador lentamente hacia abajo dentro de la muestra, simultáneamente recórtese el exceso de suelo empleando un cuchillo para carne. Cuando se haya bajado el marco a su posición final y se halle el cortador lleno con suelo, remuévase éste y sáquese por extrusión el espécimen mediante el bloque de extrusión. Para asegurar la menor alteración posible, el cortador deberá tener un recubrimiento de baja fricción. Si la superficie de la muestra extraída no es lisa, se emplean pedazos de los recortes de suelo para llenar cualquier vacío.

Después de esto, empújese suavemente el cortador sobre la muestra para garantizar una vez más un espécimen del tamaño adecuado. Cualquier otro método de desbaste será aceptable siempre que, para el material ensayado, sólo produzca una alteración mínima en la muestra.

Colóquese el espécimen en el aparato para cortar los extremos y desbástese de manera que estos sean perpendiculares al eje longitudinal de la muestra circular uniforme.

- Efectúense varias medidas del diámetro (1 cada 120°) y de la altura (1 a cada ¼ de altura) de la muestra y determínese el peso del espécimen de ensayo. Si no se emplea la muestra completa para la determinación de humedad, tómese con este objeto una muestra representativa de los recortes y colóquese inmediatamente en un recipiente cubierto.

5.1.3 Muestras remoldeadas. Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra inalterada fallada o de una alterada. El método de moldeo y la compactación pueden variarse para producir el peso unitario, la humedad y la estructura del suelo deseadas.

Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido, el equipo empleado para desbastar muestras de suelo inalteradas puede emplearse también para las de material remoldeado. Cualquier método empleado para remoldear material que muestre resultados de ensayo similares, es satisfactorio.

6.0 PROCEDIMIENTO

6.1 METODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

El procedimiento siguiente se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A.

6.1.1 Prepárese el pedestal así:

- Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal.
- Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema deseado para las trayectorias del drenaje.

6.1.2 Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable; colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana a la altura del pedestal para proporcionar un sello u efectivo; colóquense tiras filtrantes adicionales, piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otro sello de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, para proporcionar un sello efectivo en la parte superior de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese. Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara por medio de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque, la depresión de la parte superior. Asegúrese el pistón con el dispositivo fijador.

6.1.3 Colóquese la cámara de ensayo con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Satúrese la línea de drenaje antes de comenzar el ensayo, aplicando vacío a una línea de drenaje mientras que el extremo de la otra se halle sumergido en un recipiente con agua. Esto extrae el aire atrapado entre la muestra y la membrana y llena las líneas de drenaje con agua del recipiente. Satúrense también los cabezotes.



Aplicase una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa (1 a 2 lb/pul²) mayor que la contrapresión, para hacer que fluya el agua lentamente de la línea de presión de poros. Conéctese la línea de presión de poros al aparato de medida. Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.

Manténgase la presión de la cámara aproximadamente 34,5 kPa (5 lb/pul²) mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana. Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta que la respuesta de la presión de poros indique saturación. Si no se requieren medidas de presión de poros, puede eliminarse esta etapa.

- 6.1.4 Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación. Se requiere un mínimo de tres presiones de consolidación diferentes para definir una envolvente de falla.

Permitase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en 70 kPa (10 lb/pul²) o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros (ΔP) con respecto al cambio de la presión de confinamiento ($\Delta \sigma_3$).

Para una muestra saturada: la condición es:

$$(\Delta P)/(\Delta \sigma_3)$$

- 6.1.5 Antes de aumentar la carga axial, ciérrase la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada. Deberá medirse cualquier cambio de volumen que ocurra durante la consolidación.

- 6.1.6 Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara. Anótese la lectura cero de los aparatos de medida de carga y deformación cuando el pistón se ponga en contacto con la placa superior.

Nota 1. Quítese el seguro del pistón antes de poner en movimiento el dispositivo de carga. Si la presión de la cámara no es suficiente para restringir la caída del pistón sobre el tope de la muestra, entonces la carga adicional aplicada a ésta mediante el pistón, deberá agregarse al esfuerzo desviador

- 6.1.7 En el ensayo triaxial, la razón de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros (si se mide) en el espécimen. Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. Proporciones de deformación cuya variación es de 1% / min. (para suelos plásticos) a 0,3%/min (para tierras deleznales) se han usado con éxito.
- 6.1.8 El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos puede adoptarse como criterio de falla.
- 6.1.9 Después de la falla, quítense todas las presiones y drénese el fluido de confinamiento de la cámara de ensayo. Desármese el conjunto, examínese el espécimen y hágase un esquema del modo de falla. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Aplíquese una pequeña contrapresión y una presión de cámara, aproximadamente entre 7 y 14 kPa (1 a 2 lb/pul²) mayor que la contrapresión, para hacer que fluya el agua lentamente de la línea de presión de poros. Conéctese la línea de presión de poros al aparato de medida. Auméntese la contrapresión y la presión de la cámara paulatinamente, hasta cuando la lectura de presión de poros indique que se ha logrado equilibrio en toda la muestra.

Manténgase la presión de la cámara aproximadamente 34,5 kPa (5 lb/pul²) mayor que la contrapresión para evitar flujo entre la muestra y la membrana. Continúese aumentando la contrapresión y la presión de confinamiento hasta que la respuesta de la presión de poros indique saturación. Si no se requieren medidas de presión de poros, puede eliminarse esta etapa.

- 6.1.4 Auméntese la presión de la cámara hasta que la diferencia entre ésta y la contrapresión iguale la presión deseada de consolidación. Se requiere un mínimo de tres presiones de consolidación diferentes para definir una envolvente de falla.

Permitase que la presión de consolidación se mantenga durante la noche o hasta que la lectura de presión de poros indique que se ha completado la fase de consolidación. Compruébese el grado de saturación antes de aplicar la carga axial cerrando la válvula de drenaje y aumentando la presión de confinamiento en 70 kPa (10 lb/pul²) o más. Calcúlese la relación del cambio de presión de poros (ΔP) con respecto al cambio de la presión de confinamiento ($\Delta\sigma_3$).

Para una muestra saturada: la condición es:

$$(\Delta P)/(\Delta\sigma_3)$$

- 6.1.5 Antes de aumentar la carga axial, ciérrase la válvula entre la cámara y la bureta, de manera que la muestra sea sometida a esfuerzo cortante en condición no drenada. Deberá medirse cualquier cambio de volumen que ocurra durante la consolidación.

- 6.1.6 Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar unos pocos minutos a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado por fricción del pistón o por empuje hacia arriba sobre el pistón, debido a la presión de la cámara. Anótese la lectura cero de los aparatos de medida de carga y deformación cuando el pistón se ponga en contacto con la placa superior.

Nota 1. Qúitese el seguro del pistón antes de poner en movimiento el dispositivo de carga. Si la presión de la cámara no es suficiente para restringir la caída del pistón sobre el tope de la muestra, entonces la carga adicional aplicada a ésta mediante el pistón, deberá agregarse al esfuerzo desviador

- 6.1.7 En el ensayo triaxial, la razón de deformación deberá ser de tal magnitud que permita la igualación de la presión de poros (si se mide) en el espécimen. Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. Proporciones de deformación cuya variación es de 1% / min. (para suelos plásticos) a 0,3%/min (para tierras deleznales) se han usado con éxito.
- 6.1.8 El criterio de falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo. En caso de que no se presente un máximo definido y que el esfuerzo desviador continúe en aumento con la deformación, deberá tomarse la falla como el esfuerzo desviador correspondiente al 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos puede adoptarse como criterio de falla.
- 6.1.9 Después de la falla, quítense todas las presiones y drénese el fluido de confinamiento de la cámara de ensayo. Desármese el conjunto, examínese el espécimen y hágase un esquema del modo de falla. Pésese la muestra y colóquese en un horno para secamiento con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

6.2 METODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

El siguiente procedimiento se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A. Prepárese el pedestal en la siguiente forma:

- 6.2.1 Colóquese una piedra porosa sobre el pedestal (véase la Nota 2 más adelante).
- 6.2.2 Colóquese un disco pulido de plexiglas o de teflón ligeramente mayor que la muestra sobre la piedra porosa en el pedestal y cúbrase tal disco con una película delgada de grasa de silicona. El disco engrasado se emplea para reducir la fricción entre la muestra y la tapa del extremo y permitir así una deformación más uniforme. Colóquese la muestra sobre este disco. (Nota 2). Si se usa una relación H/D de 2,0 o mayor, los discos pulidos no se necesitan.
- 6.2.3 Empleando un dilatador de membranas al vacío, colóquese sobre la muestra una membrana delgada e impermeable, asegurándola con anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquese un disco pulido, engrasado, una piedra porosa y el cabezote superior sobre el espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el extremo de la muestra. Colóquese el cilindro hueco sobre la base y asegúrese.

Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de la guía y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.
- 6.2.4 Colóquese la cámara con la muestra en el dispositivo de carga, y llénese con fluido. Aplíquese, mediante el regulador de presión, una presión lateral aproximadamente igual a la presión de confinamiento soportada por el suelo a la profundidad a la cual fue tomada la muestra.
- 6.2.5 Póngase en movimiento el aparato de carga y déjese funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier efecto separado o combinado, por fricción o por empuje, debido a la presión de la cámara.

Anótese la lectura cero de los dispositivos de medida de carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de compresión.

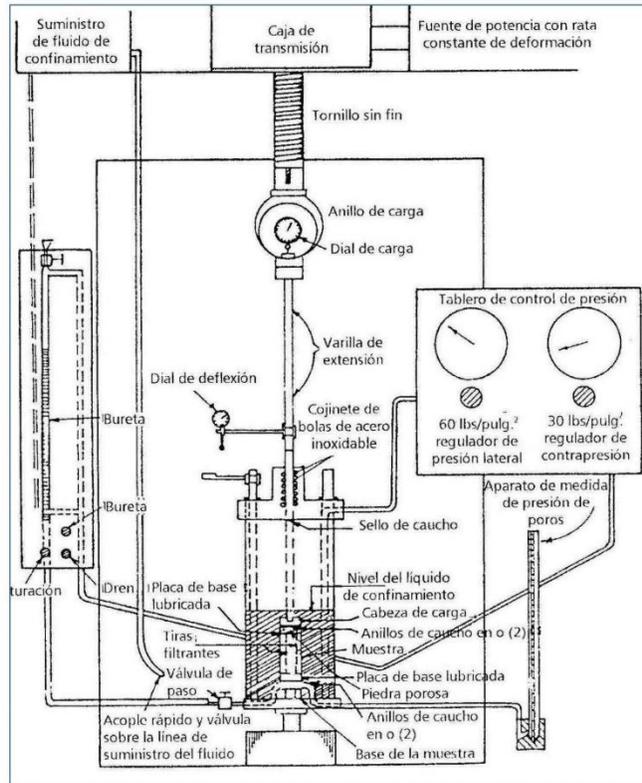


Figura 3. Esquema típico de un aparato de triaxial

6.2.6 Anótese las lecturas de carga y deformación a intervalos suficientemente pequeños, para definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. La razón de deformación deberá hallarse dentro del rango de 0,3 a 1,0 por ciento por minuto; se recomienda una rata de 0,5 por ciento. El criterio de falla deberá ser el del valor máximo del esfuerzo desviador en el supuesto de que ocurra un máximo.

Si no puede establecerse un máximo definido y el esfuerzo desviador continúa aumentando con la deformación, se toma la falla como el esfuerzo desviador a un 20 % de deformación. Si se miden presiones de poros, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos, puede adoptarse como criterio de falla.

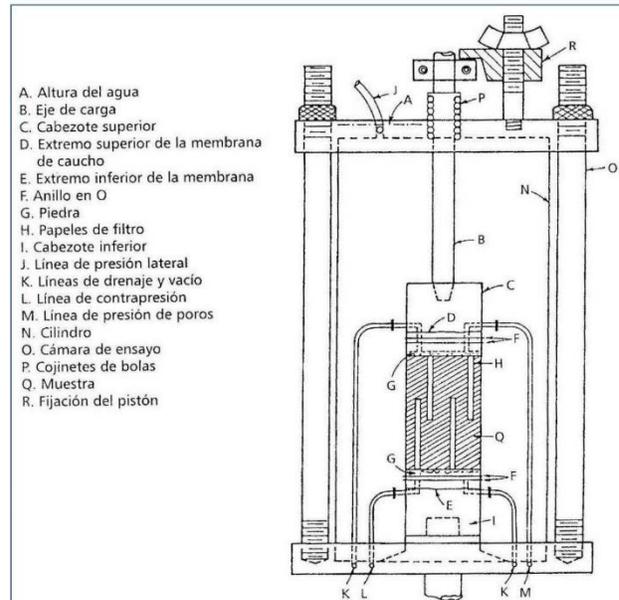


Figura 3A. Aparato para el ensayo triaxial

- 6.2.7 Después de la falla, quítese toda presión y drénesse el fluido de confinamiento de la cámara. Desmóntese el aparato de ensayo, examínese la muestra y hágase un esquema del tipo de falla; pésese para secarla con el fin de determinar la humedad y el peso unitario.

Nota 2. En lugar de la piedra porosa y de los discos pulidos requeridos en el numeral 6.2.1 podrá emplearse un espaciador adecuado de plexiglas pulido o de un material similar

6.3 METODO DEL ESFUERZO EFECTIVO NO CONSOLIDADO-NO DRENADO (UU)

Este método es el mismo del método consolidado no drenado (CU) con excepción de que no se deja consolidar la muestra. Esto también elimina el numeral 7.1.1

6.4 METODO DE ENSAYO DRENADO (D)

El procedimiento que sigue se refiere al equipo mostrado en las figuras 3 y 3A. Prepárese el pedestal así:

- 6.4.1 Colóquese sobre el pedestal una piedra porosa.
- 6.4.2 Colóquense tiras de papel de filtro saturadas sobre la piedra porosa.
- 6.4.3 Colóquese la muestra sobre la piedra porosa y adhiéranse tiras de papel de filtro a lo largo de los lados de la muestra, de manera que proporcionen el sistema de trayectorias de drenaje deseado.
- 6.4.4 Empleando un dilatador de membranas al vacío, Colóquese una membrana delgada e impermeable sobre la muestra. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana, a la altura del pedestal, para proporcionar un sello efectivo. Colóquense tiras de papel de filtro adicionales, una piedra porosa y el cabezote superior, sobre el extremo del espécimen. Colóquense anillos en O u otros sellos de presión alrededor de la membrana en el cabezote superior, con el fin de proporcionar un sello efectivo en el tope de la muestra. Colóquese el cilindro "hueco" sobre la base y asegúrese.

Colóquese el pistón de carga dentro de la cámara a través de las guías y bájese hasta que entre, pero sin que toque la depresión de la cabeza. Asegúrese el pistón de carga con el dispositivo de fijación.

- 6.4.5 Colóquese la cámara de presión con la muestra en el marco de carga y llénese con fluido. Satúrese la muestra como se describió en el numeral 6.1.1. Conéctese la línea de presión de poros a la bureta, la cual indicará el gasto debido al drenaje durante el ensayo.
- 6.4.6 Aplíquese la presión de confinamiento deseada por medio de un regulador de presión.
- 6.4.7 Antes de que la carga sea aplicada, ábrase la válvula entre la cámara y la bureta de manera que el espécimen sea sometido a esfuerzo cortante en una condición drenada.
- 6.4.8 El ensayo drenado deberá efectuarse lentamente para evitar que se desarrolle presión de poros. En algunos suelos esto puede tomar un tiempo excesivo. Cuando esto ocurra, puede ser deseable efectuar el ensayo mediante métodos de esfuerzos controlados. Se sugiere que la presión de poros en un extremo de la muestra sea medida periódicamente durante el ensayo, para asegurarse de que no se desarrollen presiones de poros.
- 6.4.9 Póngase en marcha el aparato de carga y permítasele funcionar por algunos minutos, a la velocidad de ensayo deseada, para compensar cualquier fricción del pistón, o empuje hacia arriba debido a la presión de la cámara, o por ambos efectos. Pónganse en cero las lecturas de los dispositivos para medir carga y deformación, cuando el pistón se ponga en contacto con la cabeza de presión.
- 6.4.10 Anótense las lecturas de carga, y deformación a intervalos suficientemente pequeños para poder definir exactamente la curva esfuerzo-deformación. El criterio para falla deberá ser el valor máximo del esfuerzo desviador, en el supuesto de que se produzca un máximo. En el caso de que no ocurra un máximo definido y que continúe aumentando el esfuerzo desviador con la deformación, se tomará la falla como el esfuerzo desviador al 20% de deformación. Si se miden las presiones de poros, se podrá usar como criterio de falla, la relación máxima de esfuerzos principales efectivos.
- 6.4.11 Después de la falla, elimínense todas las presiones y drénese el líquido de confinamiento de la cámara de presión. Desármese el aparato de ensayo, examínese la falla y hágase un esquema de la misma. Pésese la muestra y colóquese en un horno, para determinar la humedad y el peso unitario.

7.0 CALCULOS E INFORME

7.1 METODO CONSOLIDADO - NO DRENADO (CU)

- 7.1.1 Suponiendo que la muestra se deforma igualmente en todas direcciones durante la consolidación, la longitud de la muestra después de dicha consolidación podrá determinarse mediante la ecuación siguiente:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{3} \varepsilon_v$$

Donde:

ε_1 = Deformación axial = $\Delta L / L$.

ε_v = Deformación del volumen = $\Delta V / V$.

L = Longitud del espécimen determinada mediante medida física.

ΔL = Cambio de longitud del espécimen durante la consolidación.

V = Volumen original del espécimen.

ΔV = Cambio de volumen medido con la bureta.

- Como alternativa, el cambio en longitud de una muestra debido a la consolidación, puede medirse directamente.



7.1.2 Calcúlese la deformación axial para una carga aplicada así:

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

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
- L_0 = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.1.3 Calcúlese la sección transversal promedio, A, para una carga dada así:

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

Donde:

- A_0 = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
- ε = Deformación axial para una carga dada.
- El área A puede también calcularse a partir de dimensiones obtenidas por medición directa mediante un catetómetro, cuando las superficies del espécimen lo permiten.

7.1.4 El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

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

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
- A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.1.5 Gráficos. Prepárese un gráfico que muestre la relación entre la presión de poros y la deformación unitaria, si se midieron las presiones de poros.

Dibújese un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo desviador unitario (Como ordenada) y la deformación unitaria (como abscisa).

El valor máximo del esfuerzo desviador ($\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_2$) o la relación máxima de esfuerzos principales efectivos s_1/s_3 , se elige y se usa para dibujar los círculos de Mohr; si se midió la presión de poros U, réstese de los esfuerzos principales. Cuando todos los círculos de Mohr hayan sido dibujados, dibújese una línea que sea lo más tangente posible a todos los círculos. La intersección de esta línea con el eje de ordenadas, es el valor de la cohesión (efectiva si se midió U), C (C'), y el ángulo entre esta línea y la horizontal, es el ángulo de fricción interna, σ (σ') efectivo si se midió U.

7.2 METODO DEL ESFUERZO TOTAL NO CONSOLIDADO - NO DRENADO (UU)

7.2.1 Calcúlese la deformación axial, para una carga dada, así:

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

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
- L_0 = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.2.2 Calcúlese el área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:



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

Donde:

- A₀ = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
- ε = Deformación axial para una carga dada.

7.2.3. El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

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

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
- A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.2.4. Dibújese la curva esfuerzo-deformación con el esfuerzo desviador como ordenada y la correspondiente deformación como abscisa.

7.2.5. Utilícese el valor de s₁ - s₃ en el punto de falla para dibujar en el formato del ensayo, el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro del círculo de Mohr en un punto que tenga el valor de s₃ + ½ (s₁ - s₃) a lo largo del eje del esfuerzo total.

7.2.6. Ensáyense al menos tres muestras diferentes del material con distintas presiones laterales (s₃). Dibújense los círculos de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepté al eje vertical del esfuerzo de corte.

7.3 METODO DE ENSAYO DRENADO (D)

7.3.1 Calcúlese la deformación axial, ε , para una carga dada así:

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

Donde:

- ΔL = Cambio de longitud del espécimen determinado a partir del indicador de deformación
- L₀ = Longitud del espécimen después de la consolidación.

7.3.2 Calcúlese el área promedio de la sección transversal A, para una carga dada, así:

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

Donde:

- A₀ = Área inicial de la sección transversal promedio del espécimen, y
- ε = Deformación axial para una carga dada.

7.3.3 El esfuerzo desviador, por área unitaria, para una carga dada es:

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

Donde:

- P = Carga desviadora aplicada.
- A = Área promedio de la correspondiente sección transversal.

7.3.4 Gráficos. Dibújense las curvas de esfuerzo-deformación y la curva de deformación-lectura de bureta.

- 7.3.5 Utilícese el valor de $(s_1 - s_3)$ en el punto de falla para dibujar en la hoja de informe el diámetro del círculo de Mohr. Localícese el centro de dicho círculo en un punto que tenga un valor de $s_1 + \frac{1}{2}(s_1 - s_3)$ a lo largo del eje de esfuerzo total.
- 7.3.6. Ensáyense al menos tres muestras de materiales similares con presiones laterales diferentes (s_3). Dibújese el círculo de Mohr para cada muestra y trácese una línea tangente a los círculos que intercepte la línea del esfuerzo de corte.

7.4 INFORME

7.4.1 Para cada uno de los tres tipos de ensayo el informe incluirá lo siguiente:

- La cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos de acuerdo con el tipo del ensayo.
- Ensayo ejecutado (CU, UU, D) con indicación de si se midieron las presiones de poros.
- Tipo y forma del espécimen, esto es, inalterado, remoldeado, cilíndrico o prismático.
- Relación altura-diámetro.
- Descripción visual.
- Los valores del límite líquido y el límite plástico, si se determina,
- El valor del peso específico de los sólidos
- Peso unitario inicial, humedad y grado de saturación.
- Índices de Consistencia (ASTM D 4318)
- Rata promedio de deformación hasta la falla en porcentaje.
- Anótese cualquier condición anormal y datos que pudieran ser necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos.
- Dibújense los Círculos de Mohr y su envolvente correspondiente (línea \mathcal{AE}), como se ven en la Figura 4.
- Hágase un esquema de la falla.(fotografía o dibujo del falla del espécimen)
- Calcúlense para los especímenes en cada uno de los tres tipos de ensayos (CU, UU y D), los valores:

$$p = \frac{\nu 1 + \nu 3}{2} \quad \text{y} \quad q = \frac{\nu 1 + \nu 3}{2}$$

- 7.4.2 Para el tipo de ensayo correspondiente, dibújense entonces los respectivos puntos (p, q) colocando P como abscisa Q como ordenada únense con una línea suave (llamada trayectoria de esfuerzo o línea K), como puede verse en la Figura 4.
- 7.4.3 Tómese una línea promedio a través de la curva y mídase su pendiente a y la intersección a con el eje (valor de la ordenada).
- 7.4.4 Calcúlense ϕ con base en la relación $\text{sen } \phi = \tan a$ y la cohesión como sigue:

$$c = \frac{a}{\text{Cos } \phi}$$

- 7.4.5 Compárense los valores anteriores con los obtenidos a partir de los círculos de Mohr.
- 7.4.6 Comentarios y Observaciones Finales

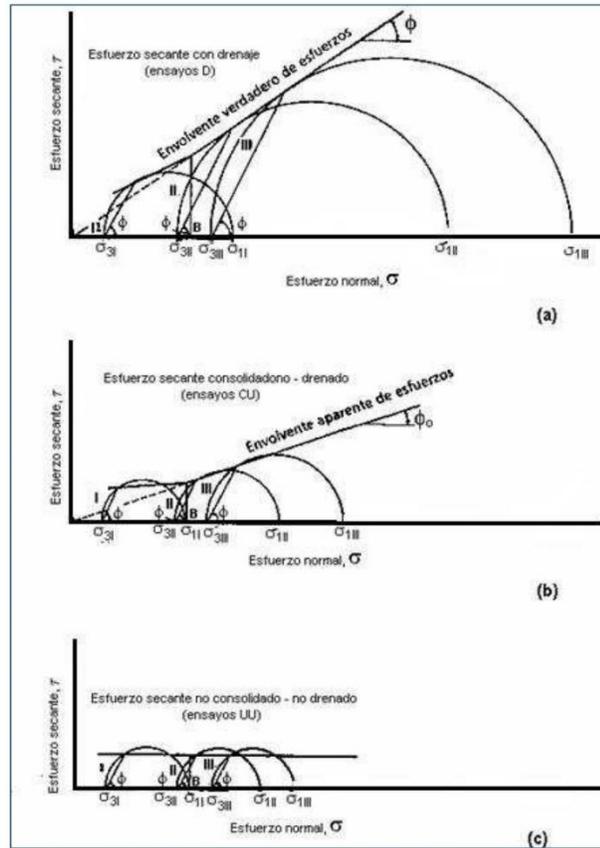


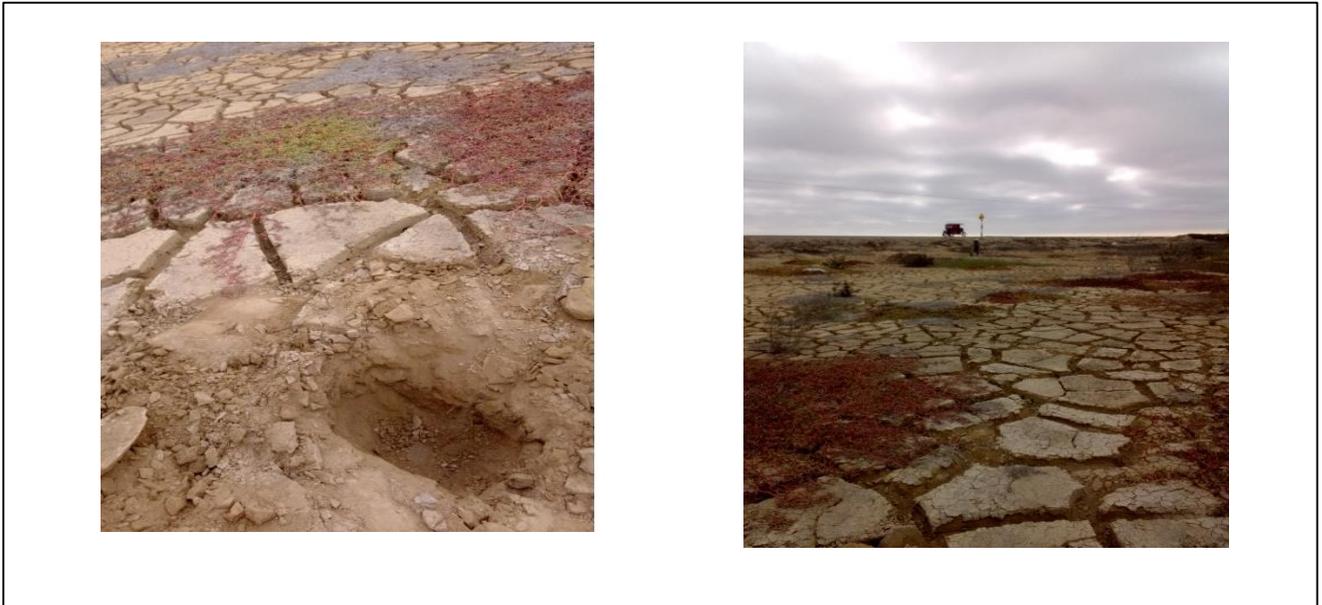
Figura 4. Ensayos de compresión triaxial en arcillas saturadas

8.0 PRECISION Y DISPERSION

- 8.1 Precisión. No se presentaron los datos de prueba sobre la precisión debido a la naturaleza de los materiales del suelo ensayados mediante este procedimiento.
- 8.2 Dispersión. No hay ningún valor de referencia aceptado para este método de prueba; por lo tanto, no se podrán determinar la dispersión.

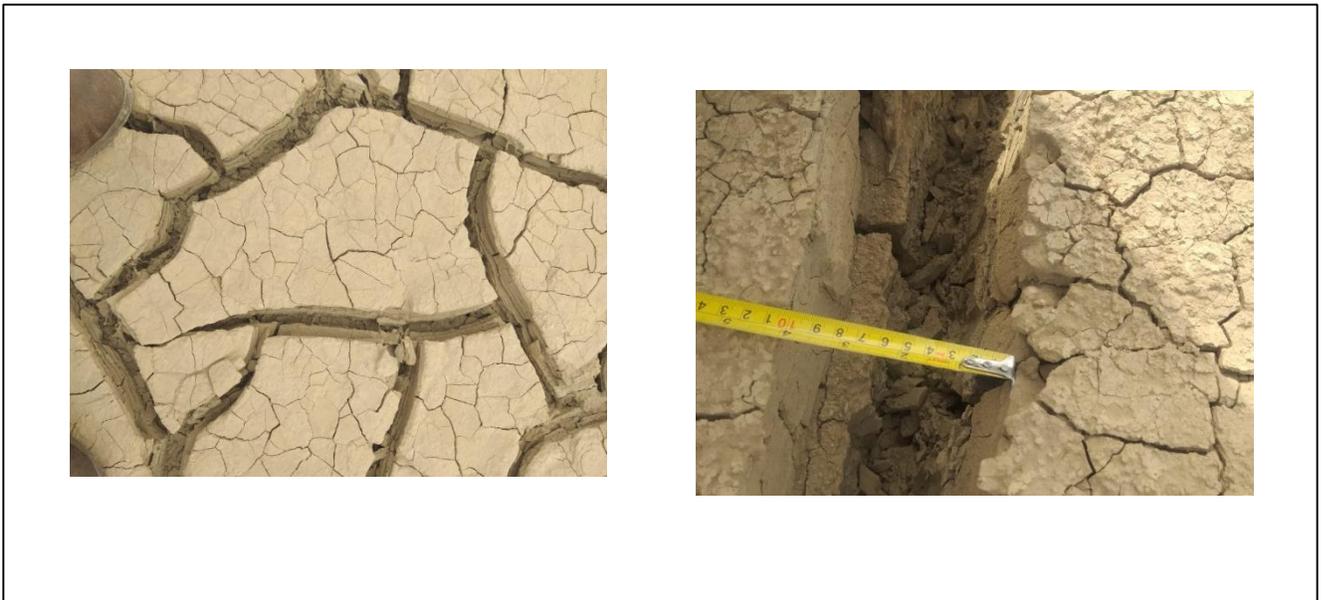
ANEXO N° 05
“PANEL FOTOGRAFICO”

Ilustración 30. Identificación de la zona para extracción de la muestra de suelo con características expansivas



Fuente: Elaboración propia,

Ilustración 31. Grietas formadas debido a la expansión del suelo



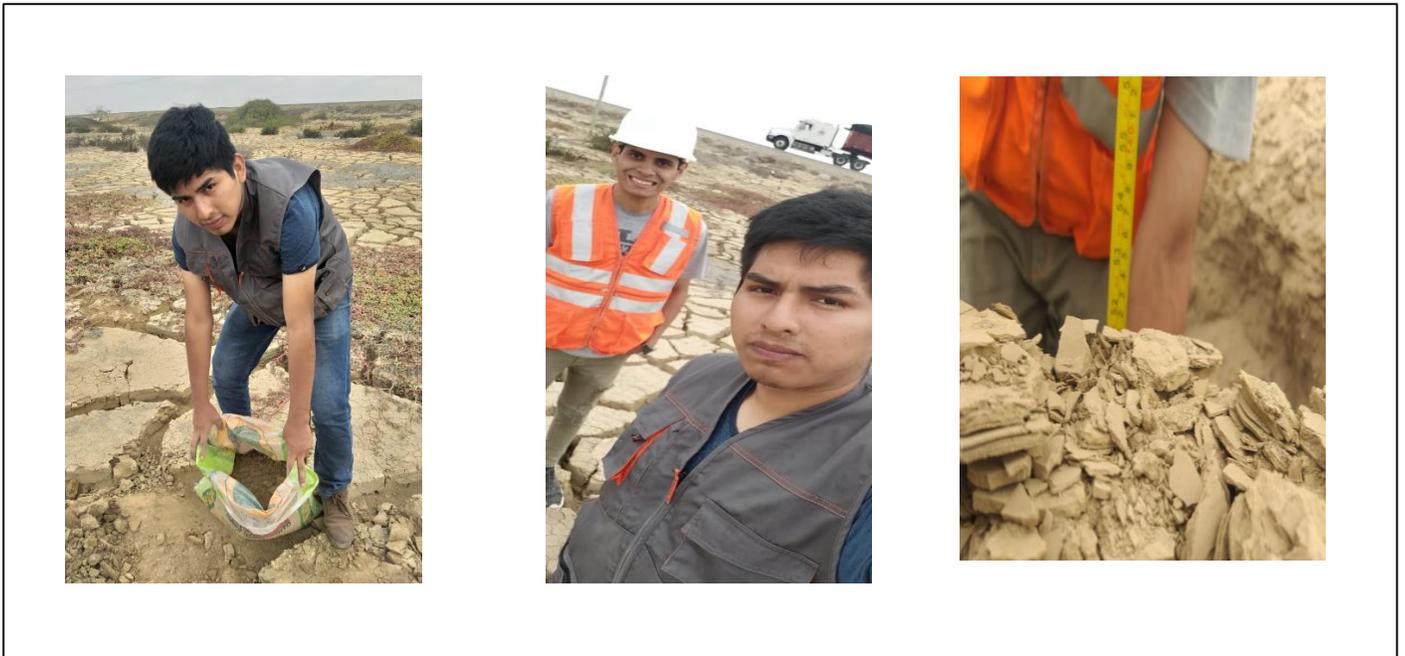
Fuente: Elaboración propia,

Ilustración 32. Trazado de la calicata



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 33. Extracción de la muestra a profundidad de 1.20 m



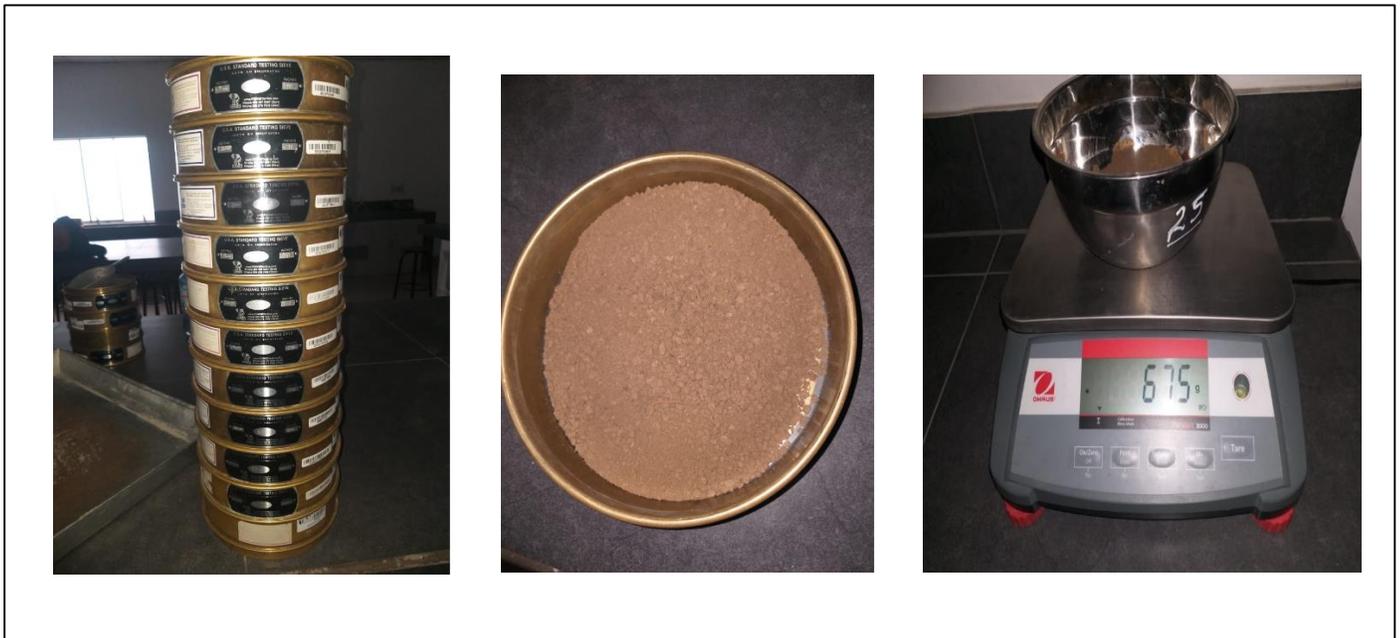
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34. Segunda Calicata de Extracción de muestra



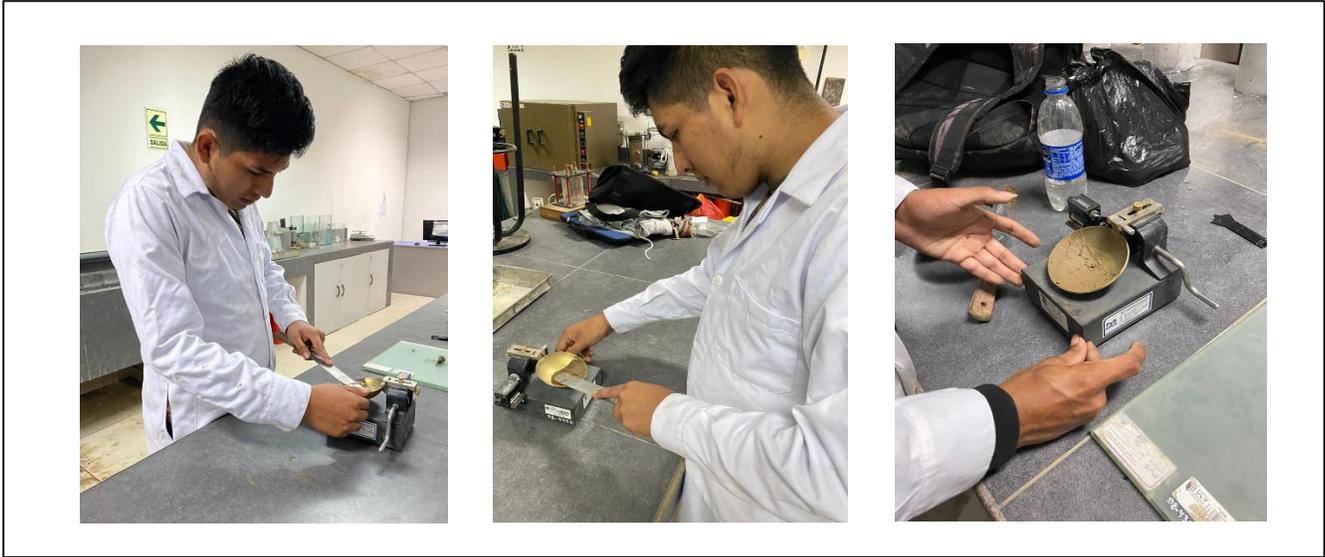
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35. Ensayo Granulométrico por tamizado



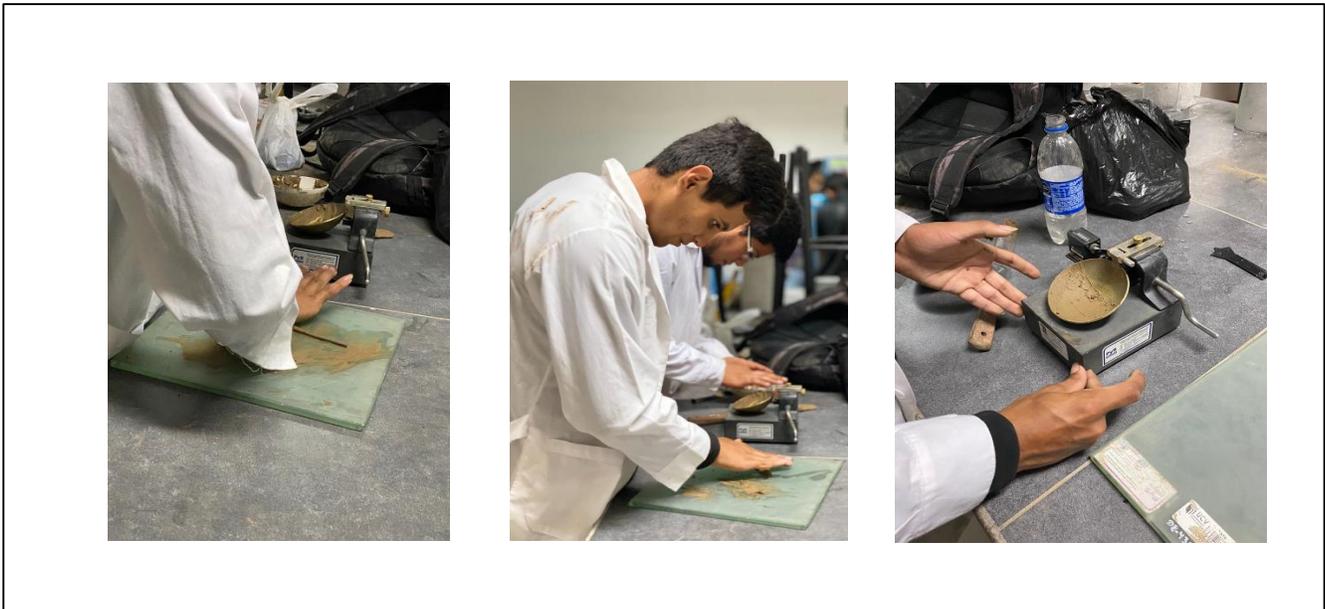
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 36. Ensayo de Limite Liquido



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 37. Ensayo de Limite Liquido



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 38. Ensayo de Limite de contracción



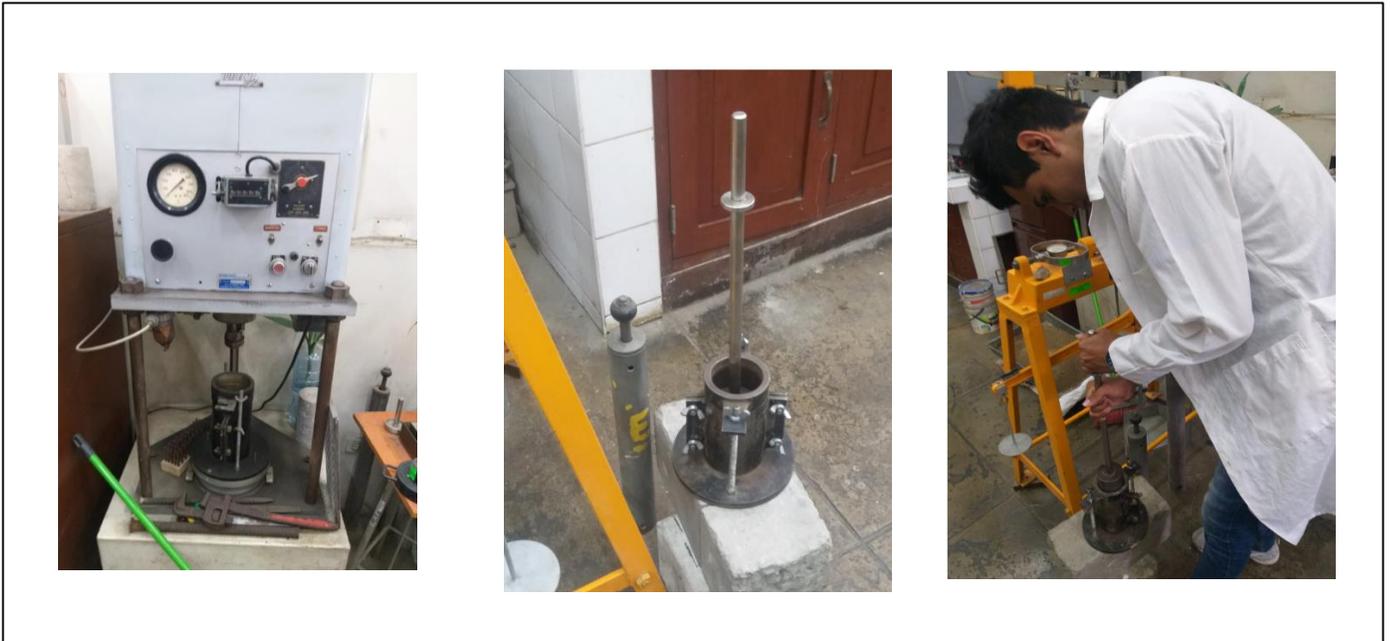
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 39. Equipo de ensayo triaxial (UU)



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 40. Equipo de consolidación



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41. Preparación de mezcla suelo - fibra



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42. Preparación de briqueta para ensayo triaxial



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 43. Ajuste de la muestra en la cámara de ensayo



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44. Presentación de la muestra una vez después de ser ensayada



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 45. Briquetas patrones ensayadas



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 46. Briquetas al 5% de adición de fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 47. Briquetas al 3% de adición de fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 48. Briquetas al 15% de adición de fibras de caucho



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 49. Análisis de falla en las briquetas mezcla suelo - fibras



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 50. Granulometría por tamizado de fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 51. Peso Específico fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 52. Ensayo de Absorción de las fibras de caucho reciclado



Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, ESCALANTE HERRERA VICTOR ALFREDO, QUINTERO TINCO MAX ANTHONY estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE CAUCHO RECICLADO EN LA RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO DE LOS SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

| Nombres y Apellidos | Firma |
|--|---|
| QUINTERO TINCO MAX ANTHONY DNI: 79051370 ORCID 0000-0002-6049-1775 | Firmado digitalmente por: MQINTEROT el 10-06-2021 16:36:25 |
| ESCALANTE HERRERA VICTOR ALFREDO DNI: 70131560 ORCID 0000-0003-4470-8628 | Firmado digitalmente por: VESCALANTEH el 22-03-2021 08:27:44 |

Código documento Trilce: INV - 0106469